



**AIR FORCE ACADEMY  
„HENRI COANDĂ”**

# *AFASES 2008*

***„SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION  
IN THE AIR FORCE”***



**I.S.B.N. 978-973-8415-56-0**

**16 – 17 MAY 2008  
BRAȘOV**

## **THE SCIENTIFIC COMMITTEE**

### **Honorary chairman:**

Lt.Gen. **Constantin CROITORU**  
- The Air Force Chief of Staff

### **Chairman:**

Cmdr.prof. **Gabriel-Florin MOISESCU, PhD**  
- Rector of the Air Force Academy „Henri Coanda”

### **Members:**

Prof. **Nicolae ANTONOAIIE, PhD** - „Transilvania” University of Brasov  
Associate prof.eng. **Valentina BĂLAȘ, PhD** - „Aurel Vlaicu” University of Arad  
Cpt.cmdr.prof.eng. **Ghiță BĂRSAN, PhD** - *The Land Forces Academy „Nicolae Balcescu”, Sibiu*  
Prof.eng. **Dan BIDIAN, PhD** - „Transilvania” University of Brasov  
*Lt.col.prof. Daniel DUMITRU, PhD - National University of Defence, Bucuresti*  
Prof.eng. **Ion DINESCU, PhD** - Air Force Academy „Henri Coanda”, Brasov  
Prof. **German A. DE LA REZA, PhD** - Unidad Azcapotzalco University, Mexic  
Associate prof.eng. **Sergiu IVANOV, PhD** - University of Craiova  
Prof.eng. **Teodor MACHEDON-PISU, PhD** - „Transilvania” University of Brasov  
Lt.col. Associate prof. **Jaromir MARES, PhD** - *University of Defence, Brno, Czech Republic*  
Prof.eng. **Olimpiu MUNTEANU, PhD** - „Transilvania” University of Brasov  
Col.prof.eng. **Ioan NICOLAESCU, PhD** - Military Technical Academy, Bucuresti  
Associate prof.eng. **Ilie NUCA, PhD** - Technical University of Moldova, Chisinau, Moldova  
Lt.col.eng. **Akos POROSZLAI** - University of Defence „Miklos Zrinyi”, Budapest, Hungary  
Cpt.cmdr.prof.eng. **Gheorghe SAMOILESCU, PhD** - „Mircea cel Batran” Naval Academy,  
Constanta  
Prof. mat. **Florentin SMARANDACHE, PhD** - University of New Mexico, Gallup, USA  
Associate prof.eng. **Alex STEFAN, PhD** - „Bloomfield” College, USA  
Col.prof.eng. **Adrian STOICA, PhD** - Military Technical Academy, Bucuresti  
Associate prof.eng. **Robert SZABOLCSI, PhD** National University of Defence „Miklos Zrinyi”,  
Budapest, Hungary  
Prof.eng. **Iuliu SZEKELY, PhD** - „Transilvania” University of Brasov  
Prof. eng. **Ioan VIDA-SIMITI, PhD** - Technical University of Cluj-Napoca



## ***ORGANIZING COMMITTEE***

### ***Chairman:***

Col.prof. **Stelian PÂNZARU**, PhD

### ***Vicechairman:***

Lt.col.associate prof.eng.  
**Marian PEARSICĂ**, PhD

### ***Members:***

Associate prof.eng. **Horia TÂRZIU**, PhD  
Lecturer eng. **Liliana MIRON**, PhD  
Associate prof.eng. **Lavinia GAVRILĂ**, PhD  
Lt.col.eng. **Mihai MIRON**, PhD  
Lecturer **Mihaela SMEADĂ**  
Cpt.cmdr.eng. **Marian BOBE**  
Assist.prof. **Magdalena SCAFARU**

**Vol. I**

**AIR FORCE**

Silviu BĂLUȚĂ, Marian PEARSICĂ TENDINȚE PE PLAN INTERNAȚIONAL PRIVIND REALIZAREA SISTEMELOR DIN CLASELE SHORAD ȘI VSHORAD	12
Ion CHIORCEA, Paul – Mugurel POLEANSCHI LUPTA AERIANĂ, COMPONENTĂ CRITICĂ A LUPTEI NAVALE	20
Liviu COȘEREANU , Cornel PLEȘA, Daniel TURCANU TARGET RECOGNITION ENHANCEMENT THROUGH EDUCATION	25
Dumitru DINU ASIGURAREA SUPTULUI PSIHOLGIC AL MILITARILOR DIN FORȚELE AERIENE PARTICIPANȚI LA OPERAȚIILE MILITARE DE STABILITATE	33
Daniel HURUBEAN HIPOXIA DE ALTITUDINE: REACȚII LA NIVELUL ORGANISMULUI ȘI EFECTE GENERATE ASUPRA PERFORMANȚELOR PROFESIONALE ALE PILOȚILOR MILITARI	42
Gabriel-Florin MOISESCU ACADEMIA FORȚELOR AERIENE “HENRI COANDĂ” – PREZENT ȘI PERSPECTIVĂ	49
Marius-Adrian NICOARA APARIȚIA, DEZVOLTAREA SI PRINCIPALELE CONCEPTE CARE AU GUVERNAT AERONAUTICA ROMÂNĂ CONSIDERAȚII CU PRIVIRE LA FUNCȚIONAREA ȘI VALIDAREA MODELULUI FORTELOR AERIENE ROMANE ÎN PERIOADA CELUI DE-AL DOILEA RĂZBOI MONDIAL	55 60
Mihai NICU, Titica VASILE UN MODEL MATEMATIC AL MIȘCĂRII PROIECTILULUI ÎN TUNUL ELECTROMAGNETIC CU BOBINĂ	66
Cornel PLEȘA, Liviu COȘEREANU , Daniel TURCANU ANALYZING OF AIRCRAFT TARGET PREDICTION USING A PROBABILISTIC MODE	74
Ionel POPA , Adrian POPA , Marian RISTEA CONSIDERATIONS ON RESCUE OPERATIONS BY AIR	80
Marcel PREDA, Eugen BOAMBĂ PLANIFICAREA ÎNTREBUIȚĂRII ÎN LUPTĂ A RACHETELOR SOL - AER	87
Marcel PREDA MODALITĂȚI DE ÎNTREBUIȚARE ÎN LUPTĂ A UNOR SISTEME DE RACHETE ANTIAERIENE	92
Marius ȘERBESZKI PERSPECTIVELE PARTENERIATULUI PUTERE AERIANĂ – PUTERE TERESTRĂ	98
Georgică SLĂMNOIU, Gabriel VLADU, Adrian CIUCULIN, Sorin PERICLEANU , Vasile IONAȘCU SISTEM DE CONTRAMĂSURI ELECTRONICE PENTRU AERONAVE, NAVE ȘI BLINDATE ȘANSĂ ÎN PLUS PILOTULUI	104 115
Adrian STOICA, Corneliu AXENTE CONSIDERATIONS ABOUT POSITION AND ATTITUDE DETERMINATION OF A UAV USING INS AND GPS	124
Adrian STOICA, Cătălin MORARU ELECTRONIC EQUIPMENT FOR COMBAT SEARCH AND RESCUE USED BY NATO FORCES	130
Florin- Radu SUCIU UN NOU MODEL MATEMATIC AL FENOMENULUI TRAGERII ÎNTR- O GURĂ DE FOC	136

Titica VASILE, Doru SAFTA, Cristian BARBU A MATHEMATICAL MODELLING OF PROJECTILE MOTION IN GUN WITH GROOVED BARREL	141
Cristian ZGREABĂN NOI METODE ÎN CREȘTEREA SIGURANȚEI ȘI SECURITĂȚII ZBORULUI <i>MECHANICAL ENGINEERING</i>	147
Ciprian BĂNCILĂ, Dumitru CUIBAR SOLUȚIE ALTERNATIVĂ PENTRU COMBUSTIBILII DIN TERMOCENTRALE	160
Ali BEAZIT, Ali HANDERIS DESIGN SENSITIVITY ANALYSIS AND SHIPS STERN HYDRODYNAMIC FLOW FIELD IMPROVEMENT BY USING SOME NEW STRICTLY ORIGINAL CONCEPTS AND IDEAS	166
Ali BEAZIT, Ali LEVENT ESTABLISHMENT OF CRITERION EQUATION OF WATER FLOW PHENOMENON AROUND THE SHIP	174
Victor BENCHE, Radu ȚĂRULESCU PARABOLIZI LICHIZI PENTRU TELESKOAPELE VIITORULUI	178
Victor BENCHE, Stelian ȚĂRULESCU CONTRIBUȚII ANALITICE LA DEFINIREA FUNCȚIONALĂ (DINAMICĂ) A UNOR VEHICULE RAPIDE, DESCHISE, AERIENE, DIN PARCURILE DE DISTRACTII CELEBRE ALE LUMII	183
Remus BOBOESCU, Ion SPOREA INVESTIGAȚII EXPERIMENTALE ASUPRA SUPRAFETELOR IRADIATE CU LASER	188
Ion BOSTAN, Valeriu DULGHERU TRANSMISII PLANETARE PRECESIONALE: ASPECTE TEORETICE ȘI APLICAȚII PRACTICE	194
Filip CIUTAC, Emanuel DIACONESCU COMPORTAREA LA CONTACT A UNEI PIESE INELARE DIN CAUCIUC FOLOSITĂ LA STINGĂTOARELE DE INCENDIU	202
Ionică CÎRCIU ÎMBUNĂTĂȚIREA RANDAMENTULUI APLICĂRII EFECTULUI COANDĂ LA ELICOPTERE	210
Ion CHIRA, Ruxandra IONICA, Ruxandra NEMES, Bogdan Constantin TEODORESCU PRELIMINARIES CONCERNING COMPUTER'S USAGE WITHIN FOUNDRIES	215
SOFT DEDICATED TO FOUNDRY TECHNOLOGIES	223
Ion COPACI, Bogdan TĂNĂSOIU DURATA DE VIAȚĂ A ELEMENTELOR ELASTICE METALICE, ARCURI ELICOIDALE, FOLOSITE LA SUSPENSIA VEHICULELOR FERROVIARE	232
Ion COPACI STUDIUL ASUPRA EVOLUȚIEI PARAMETRIILOR CINEMATICE ÎN TIMPUL ȘOCULUI PROVOCAT DE TAMPONAREA VEHICULELOR FERROVIARE	238
Dumitru CUIBAR, Ciprian BĂNCILĂ METODĂ COMPARATIVĂ PRIVIND STUDIUL EVOLUȚIEI UZĂRII ELEMENTELOR DE MĂCINARE LA O MOARĂ VENTILATOR	246
Ion DINESCU, Mihaela SMEADĂ PROPRIETĂȚI ALE OȚELURILOR UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIILE AERONAUTICE	251
Mihai Ciprian FODOR, Viorel DAN, George DRAGOȘ, Iosif Andrei FODOR UNELE ASPECTE CARE AU CONDUS LA IDEEA MATRIȚĂRII SEMIFABRICATELOR TURNATE DIN FONTĂ CU GRAFIT NODULAR	259
Lavinia GAVRILĂ ANALIZA DINAMICĂ A PALEI DE ELICOPTER	267

Cătălin – Eugen IONESCU ANALIZA REZULTATELOR EXPERIMENTALE ALE TRAGERILOR CU GLOANȚE PERFORANT – INCENDIARE ASUPRA BLINDAJELOR	<b>275</b>
ANALIZA MODELĂRII FENOMENULUI PERFORĂRII BLINDAJELOR DE CĂTRE GLOANȚE PERFORANT - INCENDIARE	<b>283</b>
Lucian ISTODE, Titica VASILE UNELE ASPECTE PRIVIND INFLUENȚA CATALIZATORILOR CHIMICI ASUPRA COMBUSTIEI PROPULSANȚILOR SOLIZI PENTRU MOTOARELE RACHETĂ	<b>290</b>
Vilhelm ITU, Iosif DUMITRESCU, Francisc TOTH, Răzvan Bogdan ITU DIAGNOSTICAREA MECANISMULUI DE FRÂNARE A MAȘINILOR DE EXTRACȚIE CU ROATĂ MOTOARE	<b>297</b>
Ciprian LARCO DETERMINAREA REZISTENȚEI ȘI MODULULUI DE ELASTICITATE UNUI COMPOZIT DIN FIBRE DE STICLĂ	<b>305</b>
VUE SUR LES ECOULEMENTS TRANSSONIQUES	<b>313</b>
Gheorghe MAREȘ APLICATII ALE IMPLANTATIEI IONICE IN DOMENIUL PRELUCRARI MATERIALELOR PENTRU SCULE ASCHIETOARE	<b>322</b>
APRECIERI PRIVIND PRELUCRAREA SUPRAFETELOR METALICE UTILIZAND LASERI	<b>327</b>
Marin MARINESCU, Longin IACOBESCU, Ioan FILIP MODERN TECHNIQUES ON NOISES ANALYSIS. SOLVING SOME PROBLEMS OF EXPERIMENTAL DATA PROCESSING USING ADVANCED SOFTWARE	<b>334</b>
Ștefan – Mircea MUSTAȚĂ , Mihai MIHĂILĂ – ANDRES UTILIZAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE ÎN OBTINEREA UNOR STRUCTURI MULTISTRAT PRIN PROCEDURELE DE PLACARE PRIN EXPLOZIE	<b>340</b>
Ionela NEGREA, Georgiana DRAGUSIN BLADES DESIGN ADAPTED TO THE CLIMATIC CONDITIONS FROM ROMANIA	<b>346</b>
Ioan-Liviu PITICARI, Mădălin BARBU TENDINȚE ACTUALE ÎN CONSTRUCȚIA PUȘTILOR DE ASALT	<b>351</b>
Mihai Alin POP MODELE CAVE PENTRU CONFEȚIONAREA FORMELOR DE TURNARE	<b>359</b>
CARACTERISTICI FIZICO-TEHNICE ALE MATERIALELOR COMPOZITE UTILIZATE LA CONFEȚIONAREA MODELELOR CAVE	<b>363</b>
Luminița I. POPA METODE DE CALCUL UTILIZATE IN SIMULARE CU AJUTORUL PROGRAMULUI SIMULINK	<b>367</b>
CREAREA MODELULUI BOBINEI ÎN SPAȚIUL 3-D CU AJUTORUL PROGRAMULUI ANSYS	<b>377</b>
Marian RISTEA, Ionel POPA , Adrian POPA EXHAUST EMISSIONS AND CONTROL FOR NAVAL ENGINES	<b>384</b>
Mihaela SMEADĂ , Ion DINESCU PROPRIETĂȚI ALE ALIAJELOR NEFEROASE UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIILE AERONAUTICE	<b>393</b>
Ionel STARETU, Marius IONESCU PYROTEHNIC ROBOT-CONSTRUCTIVE DESIGN AND COMMAND	<b>399</b>

Aurelia TĂNĂSOIU ASUPRA REZISTENȚEI ȘI FIABILITĂȚII AMORTIZORULUI CE ECHIPEAZĂ APARATUL DE TRACȚIUNE A VAGOANELOR DE CĂLĂTORI	405
ASUPRA REZISTENȚEI ȘI FIABILITĂȚII ARCURILOR METALICE ELICOIDALE Ø24,4mm ȘI Ø31mm UTILIZATE LA SUSPENSIA BOGHIULUI Y25 L <sub>sdi</sub> CE ECHIPEAZĂ VAGOANELE DE MARFĂ	410
Radu ȚĂRULESCU, Stelian ȚĂRULESCU SENZORI ULTRASONICI FOLOSIȚI LA NAVIGAȚIA ROBOȚILOR MOBILI	418
Horia TARZIU, Doru LUCULESCU METODE GRAFICE CU MIJLOACE CAD	424
Filis TULEI ORGANIZAREA UNUI TERMINAL DE CONTAINERE: POSIBILITĂȚI DE CREȘTERE A PRODUCTIVITĂȚII SISTEMULUI DE DESERVIRE AL NAVELOR DE DIMENSIUNI MARI	433
<b><i>ELECTRICAL AND ELECTRONICAL ENGINEERING</i></b>	
Cornel Ovidiu BADEA ASPECTE ALE REALIZĂRII CU FIBRĂ OPTICĂ A SISTEMELOR DE TRANSMITERE DE DATE PENTRU ANTENE ORIENTABILE CU COMANDĂ NUMERICĂ	440
Ioan BELE, Liviu Sevastian BOCÎI, Ioan STRĂINESCU, Valentin MÜLLER, Mihaela POPA CARACTERISTICILE DE FUNCȚIONARE PENTRU ECHIPAMENTELE DE ACȚIONARE A TROLEIBUZULUI CU MOTOR ASINCRON	448
Marius Dan BENȚA, Csilla FARKAS, Petre Nicolae MOGAN MĂSURĂRI MICRO ȘI NANOMETRICE AL SUPRAFEȚELOR MATERIALELOR METALICE MĂSURATE LA INTERCȚIUNEA SENZOR-SUPRAFAȚĂ	456
Marius Dan BENȚA, Viorel ENE METODE MODERNE DE MĂSURARE ȘI PRELUCRARE A DATELOR APLICATE ÎN INGINERIA SUPRAFEȚELOR	461
Octavian-Ioan BOGDAN POSIBILITĂȚI DE REALIZARE A FILTRELOR ACTIVE CU MOD DE LUCRU ÎN CURENT DIN FILTRE DE ACELAȘI TIP CU MOD DE LUCRU ÎN TENSIUNE	446
Gigi-Daniel BUDARIU, Constantin GROZEA, Mihai MARIN EVALUAREA STATISTICĂ A PROPRIETĂȚII DE DIFUZIE A ALGORITMILOR DE TIP BLOC	474
Aurelian CRĂCIUNESCU, Valentin NĂVRĂPESCU, Cornel Ovidiu BADEA AVANTAJELE INTRODUCERII COMENZII NUMERICE LA COMANDA ANTENELOR ORIENTABILE	478
Eleonora Darie, Emanuel Darie, Garibald Popescu THE DISTURBANCE IN THE AIRCRAFT ELECTRIC SYSTEM	486
Petre-Daniel DINESCU, Dinu COMĂNESCU, Adriana COMĂNESCU TEHNOLOGII SI SOLUȚII CONSTRUCTIVE DEDICATE RĂCIRII PROCESOARELOR DIN COMPONENTA NOTEBOOK-URILOR	492
Viorel ENE, Marius Dan BENȚA ACHIZIȚIA ȘI PRELUCRAREA DATELOR MĂSURATE LA INTERACȚIUNEA SENZOR-SUPRAFAȚĂ AL DIVERSELOR SUPRAFEȚE	500
Csilla FARKAS, Marius Dan BENȚA, Cătălin PLOSCARIU METODE DE MĂSURARE A DIFERITELOR SUPRAFEȚE PRIN INTERACȚIUNI DE TIP AFM	506
Dan FILIP, Marilena LAZĂR THE PROTECTION OF CARDS USING BIOMETRIC AND PKI TECHNOLOGIES	512
Laurian GHERMAN APLICAȚIILE LEVITAȚIEI MAGNETICE ÎN TEHNICA MILITARĂ	516
CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND TUNUL ELECTROMAGNETIC	524

Mihai MACHEDON-PISU, Csaba-Zoltán KERTÉSZ FORMAREA UNEI REȚELE WIRELESS ÎN BANDA ISM CARE SĂ FIE OPTIMĂ ȘI SIGURĂ PENTRU TRANSMISII DE DATE	532
Mihai MARIN, Florin RĂSTOCEANU USING MATHEMATICA 6 FOR EVALUATING CRYPTOGRAPHIC RISKS OF RSA IMPLEMENTATION	540
Adrian Marian MĂȚOI, Elena HELEREA INVESTIGAREA MEDIULUI ELECTROMAGNETIC DIN ZONE URBANE	546
Cătălin MIHAI, Elena HELEREA, Adrian MUNTEANU ANALIZA ȘI PROGNOZA DEFECTELOR ÎN INSTALAȚIILE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE	554
Mihai MIRON, Liliana MIRON MATHCAD MODELLING OF THE DC-DC BUCK CONVERTER	562
Valentin MÜLLER CONSIDERAȚII MATEMATICE ASUPRA REGIMULUI TRANZITORIU LA MAȘINA DE INDUCȚIE TRIFAZATĂ	567
Radu MUȘAT , Elena HELEREA MODELE DE EVALUARE A CONFORTULUI TERMIC ÎN AUTOVEHICULE	572
Emil Dumitru POPESCU , Florin BUȘE , Gheorghe GAVRILĂ, Traian ZAHARESCU MODIFICATIONS OF ELECTRICAL AND CHEMICAL RESISTANCE OF LOW DENSITY POLYETHYLENE FOR CABLE INSULATIONS	580
Ana-Maria PUȘCAȘ, Gheorghe PANĂ SIMULAREA SPICE A UNUI SISTEM ELECTRONIC DE MONITORIZARE A ACTIVITĂȚII INIMII	588
Gheorghe RAȚIU ANALIZE COMPARATIVE ALE COMPORTAMENTULUI ELEMENTELOR ELASTICE CU ACUMULARE DE ENERGIE DE TIP CILINDRIC DIN COMPONENTA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE LA TEMPERATURI ÎNALTE	594
ANALIZE COMPARATIVE ALE ELEMENTELOR ELASTICE CU ACUMULARE DE ENERGIE DE TIP CONIC DIN COMPONENTA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE LA DIFERITE TEMPERATURI	600
Gheorghe SAMOILESCU, Alina BARBU MICROCENTRALĂ HIDROPNEUMATICĂ PENTRU CAPTAREA ȘI CONVERSIA ENERGIEI VALURILOR	606
PĂTRUNDEREA ȘI MODELAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC DIN DIFERITE MEDII ALE UNEI NAVE MARITIME	612
Constantin STRÎMBU, Laura COZLOV COMUTAȚIA PERIODICĂ ÎN CURENT ALTERNATIV A TRANSFORMATORULUI MONOFAZAT (schema simplificată KAPP) CU SARCINĂ CAPACITIVĂ	619
STUDIUL FUNCȚIONĂRII TRANSFORMATORULUI MONOFAZAT (schema simplificată KAPP) CU SARCINĂ CAPACITIVĂ	625
Alexandru STEFAN MICROWAVE CIRCUIT ANALIZE USING SPACE MAPPING RLC MICROWAVE MODELS	630
Róbert SZABOLCSI, György MÉSZÁROS COMPUTER AIDED PRELIMINARY DESIGN OF THE HEIGHT CONTROL SYSTEMS	635
Dan George TONȚ , Gabriela TONȚ CALCULUL CÂMPULUI MAGNETIC AL UNEI BOBINE DE FORMĂ OARECARE	650
CALCULUL CÂMPULUI MAGNETIC AL UNEI PERECHI DE BOBINE CIRCULARE ȘI AL UNEI BARE RECTILINII PARCURSĂ DE CURENT	656

Felix TOTIR, Bebe IONAȘCU, Ștefan POPA MIXING SIGNAL PROCESSING AND DYNAMICAL SYSTEMS IN RESEARCH <i>MATHEMATICS - INFORMATICS</i>	662
Gheorghe ANTON, Gheorghe RADU THE DIFFERENCE RATIONAL EQUATION. SOLUTIONS CONVERGING TO ZERO	669
Mihaela BRUT IMAGES AND AUDIO AUTOMATIC INDEXING TECHNIQUES	674
Mădălina CĂRBUREANU , Irina TUDOR UN EXEMPLU DE SISTEM MULTI-AGENT PENTRU MODELAREA PROCESULUI DIDACTIC	682
Corina CHIRIAC ITERATIVE ALGORITHM FOR SOLVING QUASI-VARIATIONAL INEQUALITIES IN BANACH SPACES	690
Daniela DAMIAN COMMON PROBABILISTIC REPARTITION FOR PRODUCTION FACTOR AND COST OF PRODUCTION LEVEL	695
Nicoleta DAVID CONSIDERAȚII ASUPRA ENTROPIEI ȘI APLICAȚII	699
Iuliana DOBRE AN INTEGRATED SYSTEM FOR LEARNING AND STUDENTS EVALUATION IN E-LEARNING ENVIRONMENTS	705
Robert DRMOLA APPLICATION MOODLE AT THE UNIVERSITY OF DEFENCE IN CZECH REPUBLIC	711
Gabriela – Simona DUMITRESCU THE SHORTEST SPANNING TREE (SST) OF GRAPH	716
THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM	724
Olivia FLOREA STABILITY STUDY OF A SYSTEM EQUIPPED WITH A HYDRAULIC VALVE	732
Tamarina FLOREA INDICATORI FOLOSITI ÎN ANALIZA ASISTATA DE CALCULATOR A DEGRADĂRII UNEI IMAGINI ȘI IMPLEMENTAREA ÎN SOFTWARE MATLAB A ALGORITMILOR DE CALCUL AFERENȚI	740
Monica FODOR , Monica ȘTEFU , Lorentz JANTSCHI , Mircea DIUDEA TILING OF SURFACES	747
Constantin GHIȚĂ THE HEAT EXTRACTION IN A TECHNOLOGICAL PROCESS AS A NONLINEAR PROBLEM	755
Marian-Silviu GÎRNIȚĂ COMBINARE DE LOGICĂ FUZZY ȘI REȚELE NEURONALE ÎNTR-O ARHITECTURĂ DE FUZIUNE SENZORI ȘI URMĂRIRE	761
Luminița GIURGIU, Ghiță BĂRSAN CHANGING THE WAY CONTENT IS DISTRIBUTED, VALUED AND CONSUMED BY THE POWER OF RSS	769
Miroslav HRUBÝ INFORMATION TECHNOLOGY AS A TOOL FOR MODERN EDUCATION	775
Ioan MAXIM, Ioan Tiberiu SOCACIU-LENDVAI TEHNICI DE IMPLEMENTARE A FEED-BACKULUI ÎN PROIECTAREA SOFT-URILOR EDUCATIONALE	781
Marketa MAZALKOVA EDUCATION BY E-LEARNING AT COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS DEPARTMENT	787



Gabriela MOGOS	
QUANTUM ENCRYPTION USING PRIVATE KEYS	792
QUANTUM ORACLES	796
Bogdan Gheorghe MUNTEANU	
NOUA APROXIMARE A DISTRIBUTIEI TIMPULUI DE VIATA A UNUI SISTEM	804
Ștefan NEDELCU, Mircea LUPU	
INFLUENTA STRUCTURALA A FORTELOR ASUPRA STABILITATII SISTEMELOR DINAMICE(CU APLICATII) IN CAZUL MODELARII LAGARELOR IN REGIM HIDRO-AERODINAMIC	808
Gabriel NEPOTU	
AN INTRODUCTION IN THE ASYMPTOTIC STUDY OF NON-LINEAR STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE FIELD OF OSCILLATIONS	816
Maria-Carmen PÂNGĂLEANU	
OPTIMIZING QUERIES	819
Dinu PASCALE, Tulei FILIS	
DEZVOLTAREA SISTEMELOR INFORMATICE PORTUARE INTEGRATE – O NECESITATE STRINGENTĂ PENTRU CREȘTEREA PERFORMANȚELOR PORTUARE	827
Alexandrina Maria PROCA	
APPLICATIONS OF EXTREMAL VALUE THEORY TO RELIABILITY. SIZE EFFECT ON STRENGTH OF PAPER STRIPS	836
Adrian-Gelu RADU, Anca HARABAGIU	
GENERAREA FRACTALILOR DE TIP “PLASMA” ȘI AFIȘAREA ACESTORA ÎNTR-UN MEDIU 3D	842
RENDERIZAREA FRACTALILOR JULIA PRIN VIZUALIZAREA PROPRIETĂȚILOR 4D	850
Gheorghe RADU, Gheorghe ANTON	
AN OPERATIONAL METHOD FOR SOLVING LINEAR DIFFERENCE EQUATIONS	859
Ioan-Gheorghe RAȚIU	
CONCEPTE DE BAZĂ PRIVIND SISTEMELE DE BAZE DE DATE	865
Adela SASU	
K NEAREST NEIGHBOR PENTRU PREDICȚIA SERIILOR DE TIMP	875
Petru SCURTU	
METODE DE CALCUL A FUNCȚIEI DE INTERCORELAȚIE BIDIMENSIONALĂ	879
Ioan Tiberiu SOCACIU-LENDVAI, Ioan MAXIM	
COMPLEXITATEA UNOR ALGORITMI IN REZOLVAREA PROBLEMEI GENERALIZATE A TURNURILOR DIN HANOI	884
Alexandru STEFAN	
CREATING YOUR E-LEARNING 2.0 STRATEGY UNDER THE WEB 2.0 DEVELOPMENT	890
Nadia Elena STOICUȚA	
IMPLEMENTAREA ÎN MATLAB A ALGORITMULUI METODEI RADIALE REGRESIVE PENTRU TEORIA DE CURGERE $J_2$ PENTRU CAZUL ECRUISĂRII IZOTROPE NELINIARE	895
Miroslav ȘTOLPA	
TESTING OF NETWORK'S SECURITY DEVICES	903
Florența Violeta TRIPȘA	
CONJUGATA FUNCȚIILOR CONVEXE	909
Cezar VASILESCU	
ESTIMAREA ȘI PREDICȚIA FIABILITĂȚII SISTEMELOR DE COMANDĂ ȘI CONTROL PE BAZA PROFILELOR OPERAȚIONALE	913
APLICAREA METODOLOGIEI DE ESTIMARE ȘI PREDICȚIE A FIABILITĂȚII PE BAZA PROFILELOR OPERAȚIONALE LA SISTEMELE C4ISR	920

## TENDINȚE PE PLAN INTERNAȚIONAL PRIVIND REALIZAREA SISTEMELOR DIN CLASELE SHORAD ȘI VSHORAD

Silviu BĂLUȚĂ\*  
Marian PEARSICĂ\*\*

*Abstract: The nature of air defence is changing, as manned aircraft (both aero-planes and helicopters) are increasingly armed with low flying stand-off precision-guided missiles that may employ supersonic speed and/or low observables to make interception more difficult. The protection of high-value ground targets against attacks by fixed- and rotary-wing aircraft and cruise missiles demands an integrated, multilayer air defence system. In this paper are presented the basic trends which characterize the evolution of land-based VSHORAD and SHORAD systems.*

*Keywords: air defence, air threats, missiles, SHORAD.*

### I. Aspecte introductive

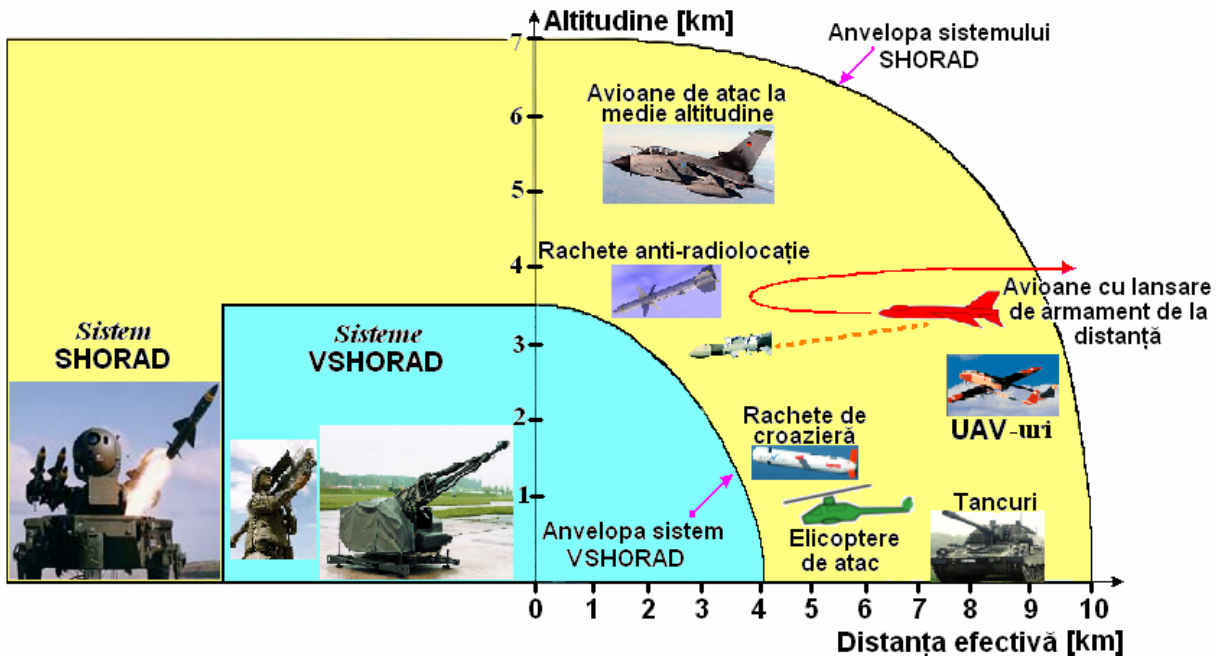
*Destinația* sistemelor SHORAD-VSHORAD o reprezintă apărarea antiaeriană nemijlocită a aerodromurilor, elementelor de dispozitiv operativ, punctelor obligate de trecere, precum și altor obiective, împotriva unui inamic aerian ce acționează la înălțimi mici și medii, folosind intens manevra și bruiajul radioelectronic, în orice condiții meteo, ziua și noaptea. De asemenea, pot fi folosite pentru acoperirea golurilor din zonele de angajare a sistemelor de rachete sol-aer cu bătaie medie sau mare. Raza de acțiune eficace a sistemelor de tip VSHORAD este de circa 4-5 km și, respectiv de aproximativ 10-15 km pentru sistemele de tip SHORAD.

Dezvoltarea componentelor de lovire –rachete de croazieră, rachete balistice tactice, avioane de lovire fără pilot (UCAV), muniții inteligente și rachete de aviație cu rază de acțiune de peste 10 Km– precum și perfecționarea procedeeleor de acțiune (procedeele de atac STAND OFF -lansarea munițiilor din afara zonelor de acțiune a sistemelor de arme sol-aer - și POP-UP - apropierea de obiectiv la înălțimi mici cu folosirea acoperirilor din teren și lansarea munițiilor după o intrare scurtă în zona de angajare) impune realizarea capacităților de angajare atât a platformei purtătoare cât și a muniției. Principalele elemente caracteristice ale mijloacelor actuale de lovire / atac din aer sunt:

- acțiunea la înălțimi mici sau foarte mici, sub acoperirea elementelor caracteristice ale terenului și / sau bruiajului;

- suprafața efectivă de reflexie mică, inclusiv prin folosirea tehnologiilor STEALTH;
- utilizarea munițiilor de înaltă precizie.

Performanțele sistemelor de lovire cu și fără pilot (avioane, elicoptere, rachete de croazieră, UAV / UCAV) cumulate cu creșterea pericolului desfășurării acțiunilor teroriste cu mijloace aeriene (mijloace artizanale, deturnarea aeronavelor civile etc.) implică dezvoltarea capacităților de apărare aeriană la înălțime mică și medie, cu timp de reacție redus.



**Fig.1:** Tipuri de ținte combătute și anvelopele de acțiune caracteristice sistemelor din clasele SHORAD / VSHORAD.

Cerințele generale de capacitate ale acestor sisteme sunt următoarele:

- nimicirea țintelor aeriene pe căile nemijlocite de atac la obiectiv în condițiile întrebunțării contramăsurilor radioelectronice (ECM, CHAFF, FLARE) și a rachetelor antiradiolocație (ARM);
- angajarea simultană a unui număr mare de ținte aeriene ce atacă pe aceeași direcție sau direcții apropiate;
- timp redus de reacție;
- integrarea în sistemul de comandă – control aerian (ACCS);
- identificarea activă și sigură a țintei (aparatură IFF);
- apărare omnidirecțională ( $360^{\circ}$ );
- transportabilitate aeriană;
- mobilitate tactică;
- cost operațional redus (personal redus).

## II. Structuri de sistem integrat SHORAD-VSHORAD

Combinarea a două sisteme, unul de tip SHORAD și altul de tip VSHORAD, într-o entitate *integrată* sub aspect tactic și operațional, reprezintă una dintre tendințele notabile care caracterizează evoluția acestor sisteme de apărare. Astfel, un *sistem integrat de arme SHORAD - VSHORAD* este definit prin ansamblul de componente SHORAD și VSHORAD integrate acțional și funcțional prin intermediul unui centru de conducere a focului (FDC) într-

o entitate de tragere care să dispună de capacități de conectare cu sisteme de comandă-control aerian (ACCS). Apariția și dezvoltarea de sisteme integrate SHORAD -VSHORAD este influențată în principiu de următorii factori:

- pe timpul desfășurării unității SHORAD, trebuie asigurată o apărare imediată prin dislocarea inițială de unități VSHORAD (cu rachete și/sau tunuri AA) având capacități de tip C2 (comandă-control);
- posibilitățile de luptă ale componentelor sistemelor trebuie să se completeze reciproc, în scopul creșterii eficienței acțiunilor împotriva inamicului aerian, ziua și noaptea, în orice condiții meteo.

În cele ce urmează vor fi trecute în revistă posibilitățile de a realiza astfel de structuri de sisteme integrate SHORAD –VSHORAD.

### 2.1 Structuri de sistem integrat având componenta SHORAD realizată cu rachete, iar componenta VSHORAD -cu tunuri antiaeriene

Asemenea structuri sunt cunoscute în principiu sub denumirea de sisteme antiaeriene mixte tun-rachetă. Realizarea acestei structuri este determinată în principiu de faptul că, sub aspectul probabilității de nimicire, sistemele de *tunuri* și cele de *rachete* prezintă o complementaritate. Astfel, componenta VSHORAD de tip *tun* este eficientă la distanțe foarte mici (0-1000 m), distanțe la care racheta nu poate acționa, ea având o zonă moartă cuprinsă între 200 și 1000 m, în funcție de tipul rachetei, datorită timpului necesar a intra în etapa de dirijare. În același timp, tunul prezintă avantajele:

- proiectilul de tun nu poate fi bruiat, spre deosebire de racheta dirijată;
- tunul este mai ieftin decât instalația de rachete dirijate.

În cazul forțelor antiaeriene din cadrul alianței NATO sunt cunoscute următoarele sisteme integrate de tunuri antiaeriene cu instalații de rachete SHORAD:

- sistemul *Skyguard-Sparrow*, având în componere: subsistemul radiotehnic -tip *Skyguard*, tunul antiaerian cu 2 țevi tip *GDF-005* și instalația de lansare a rachetelor tip *Sparrow*;
- sistemul *Skyguard –Aspide* –similar cu sistemul *Skyguard-Sparrow*, cunoscut sub numele de *Spada* (în Italia) și respectiv *Toledo* (în Spania); acest sistem folosește rachete *Aspide*;
- sistemul *Skyshield-ADATS*, compus din sistemul de tunuri *Skyshield* (tip *Revolver gun*) și platforma de lansare rachete *ADATS*.



**Fig.2:** Platformă *ADATS* (a) de lansare rachete și integrarea acesteia (b), prin intermediul unității de comandă a focului (*FCU*), în cadrul sistemului de tunuri antiaeriene *Skyshield*



Rusia, spre deosebire de alianța nord-atlantică, s-a orientat spre realizarea de astfel de sisteme *autopropulsate*, precum:

- sistemul *PANTSYR-SI*, montat în principiu pe un șasiu auto (tip Ural);
- sistemul *TUNGUSKA*, montat pe un vehicul șenilat.



Fig.3: Sistemele rusești *PANTSYR-SI* (a) și respectiv *TUNGUSKA* (b)

## 2.2 Structuri de sistem integrat având ambele componente -SHORAD și VSHORAD- realizate cu rachete

Principalele avantaje ale acestei configurații de integrare sunt:

- este o configurație simplă sub aspectul suportului logistic;
- dislocabilitate crescută pentru ambele componente (SHORAD și VSHORAD);
- este necesar un singur radar la nivelul unei structuri de divizion;
- componenta VSHORAD fiind de tip rachetă are o precizie ridicată, iar timpul de trecere din poziția de marș în cea de luptă este mic.

Dezavantajul principal al acestei structuri constă în activitatea de interfațare dintre cele două sisteme (SHORAD + VSHORAD), care trebuie să funcționeze ca un tot unitar. În cazul structurii euroatlantice sisteme performante cu rachete dirijate sunt:

- Sisteme *SHORAD*: VL-MICA, CROTAL NG, SL-AMRAAM, ASRAD, SPYDER.
- Sisteme *VSHORAD*: STINGER, MISTRAL, STARSTREAK.

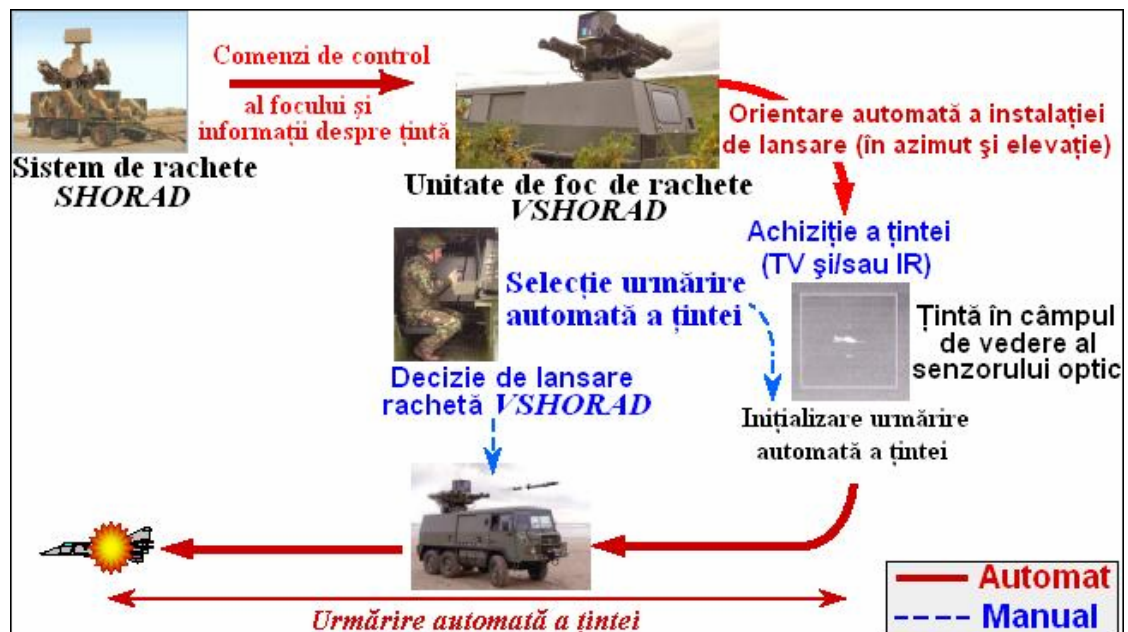


Fig.4: Exemplu de secvență de operațiuni (automate și manuale) specifice procesului de angajare a unei ținte de către un sistem integrat de rachete SHORAD / VSHORAD

### III. Reliefare a unor tendințe pe plan internațional care caracterizează evoluția sistemelor de apărare antiaeriană de tip SHORAD și VSHORAD

Principalele tendințe pe plan internațional, în domeniul dezvoltării și perfecționării sistemelor de apărare antiaeriană, sunt următoarele:

- folosirea sistemelor tridimensionale pentru determinarea coordonatelor țintelor aeriene;
- posibilitatea detașării postului de comandă (CP -Command Post) de unitatea de cercetare a spațiului (SU –Sensor Unit), în vederea protejării echipajului care deservește sistemul la acțiunea rachetelor antiradiolație;



**Fig.5:** Modalitate de comandă a armamentului dintr-un adăpost, folosită la sistemul *ASRAD-R*, prin intermediul unui cablu de legătură

- *creșterea mobilității*; această tendință este o consențință directă a necesității ca sistemul antiaerian să răspundă la următoarele cerințe:
  - » sistemul să aibă capacitatea de a ajunge rapid în teatrul de operații în vederea îndeplinirii în timp util a misiunii primite; în acest sens sistemul va trebui să poată fi aero-transportabil, iar posibilitatea ca acesta să fie autopropulsat constituie un avantaj major;
  - » să aibă un timp redus de trecere din poziția de marș în cea de luptă;
  - » timp redus de reîncărcare a rampelor de lansare.
- posibilitatea montării pe platforma lansatorului a unor diferite tipuri de rachete; spre exemplu sistemul *ASRAD* are capacitatea lansării de rachete *Stinger*, *Igla*, *RBS70* și *Bolide*; un alt exemplu îl constituie sistemul *Red Sky*, care permite integrarea cu diferite tipuri de sisteme de rachete, incluzând pe cele americane (*Stinger*) și rusești (*Strela*, *Igla* etc.);
- posibilitatea conducerii unor categorii diverse de mijloace de foc, de către același sistem, respectiv tunuri antiaeriene și rachete antiaeriene; în acest sens, instalarea pe aceeași platformă a sistemului SHORAD (VSHORAD) și a altor categorii de mijloace de foc (mitraliere, tunuri, rachete), conduce la eficientizarea (creșterea probabilității de nimicire) și diversificării atacului. Asemenea platforme sunt în principiu specifice sistemelor autopropulsate mixte tun-rachetă, precum
  - sistemele rusești *Tunguska* (dotat cu tunuri automate tip 2A38M, calibrul 30mm) și *Pantsyr-S1* (dotat cu tunul automat 2A38M)
  - sistemul *Avenger*, produs de firma Boeing, care poate fi echipat și cu un tun automat M3P de calibrul 12,7 mm;
  - sistemul de rachete *ADATS*, care fiind conceput să poată fi integrat cu ușurință pe o varietate de platforme, poate fi realizat și în configurație mixtă –caz în care este dotat cu tunuri de 25 mm;

- o montarea pe turela sistemului Gepard a unor instalații de lansare rachete Stinger (4 rachete gata de tragere).



**Fig.6:** Sistem mixt Gepard-Stinger (a) și ADATS-tun 25 mm (b)

- în vederea eficientizării acțiunii combative funcție de condițiile meteo, unele sisteme SHORAD permit lansarea de rachete dirijate în IR sau RF; astfel, racheta *MICA* (sistemul *VL-MICA*) se prezintă în două variante : cu coordonator IR, respectiv RF; în mod similar, sistemul *Spyder* poate folosi atât rachete autodirijate în IR (racheta *Python 5*), cât și rachetele *Derby* -dirijate radar activ;



**Fig.7:** Coordonatoare *IR* și *RF* –caracteristice rachetelor lansate de sistemul *VL-MICA*

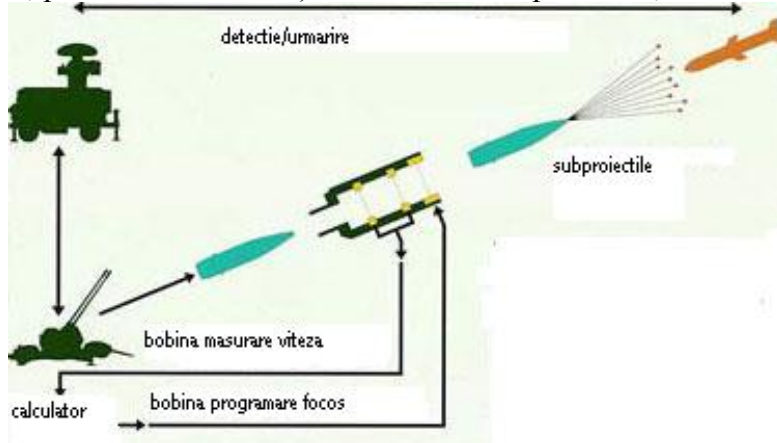
- preocuparea pentru recunoașterea formelor de radiolocație; vectorul n-dimensional ce caracterizează imaginea de radiolocație este comparat cu vectorii memorați în computer, în scopul identificării țintei;
- minimizarea timpului de reacție prin folosirea unor instalații de rachete cu *lansare verticală*, eliminându-se astfel timpul de orientare al instalației de lansare, specific metodelor clasice;



**Fig.8:** Sistemul de lansare verticală pentru rachete *Barak*



- Folosirea de către sistemele de dirijare a rachetelor, funcție de zona în care se află ținta înaintea lansării, a două moduri de operare: *LOBL* (Lock-On-Before-Launch) și respectiv *LOAL* (Lock-On-After-Launch), cum este cazul sistemului *Spyder*;
- Creșterea substanțială a probabilității de nimicire a țintelor în tragerile executate cu antiaeriene, prin folosirea muniției *AHEAD* cu subproiectile;



**Fig.9:** Angajarea țintei de către sistemul Skyguard-tun 35 mm (GDF-005), prin folosirea muniției *AHEAD*.

• Extinderea capabilităților acelor platforme care sunt limitate la capabilitățile operatorului uman, asemenea platforme fiind în general cele de tip MANPADS. Astfel, deși rachetele precum *Strela* (SA-7) și *Igla* (SA-16/18) pot angaja ținte dincolo de 5 km, totuși acestea sunt de obicei lansate doar la o distanță de 1,5-2 km, atunci când de fapt operatorul poate identifica în condiții de siguranță ținta și execută toate operațiunile premergătoare lansării. Un exemplu de asemenea sistem care realizează extinderea capabilităților mai-sus menționate, îl constituie sistemul *Red Sky* produs în Israel, care efectuează detecția și identificarea țintei la distanța efectivă de acțiune a rachetei.



**Fig.9:** Sistemul *Red Sky*

- posibilitatea integrării unor sisteme a.a. de bătaie scurtă pe platforme diferite; ca exemple în acest sens pot fi date sistemele:
  - sistemul canadian *ADATS*, care este conceput astfel încât să poate fi montat pe o varietate de platforme mobile, cum ar fi autovehiculele blindate, sau poate fi montat în configurație fixă ; sistemul poate fi realizat și în configurație mixtă, putând fi dotat cu tunuri de 25 mm;
  - sistemul rusesc *Pantsyr-S1* care poate fi integrat pe platforme precum: autocamion, transportor blindat, transportor șenilat (conform figurii de mai jos).



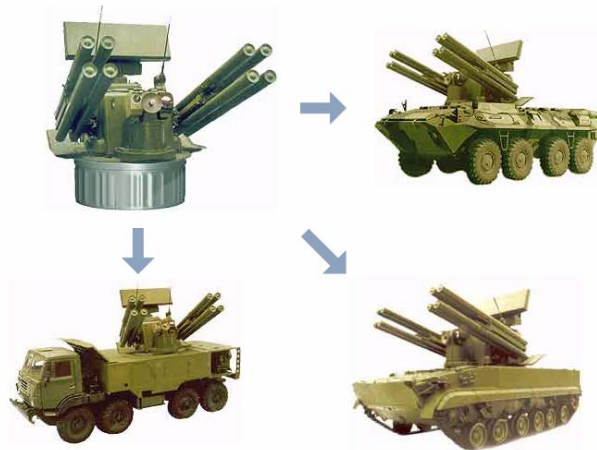


Fig.10: Sistemul Pantsyr-S1 montat pe diferite platforme

#### IV. Concluzii

- ✓ Dinamica dezvoltării sistemelor de apărare SHORAD / VSHORAD este una deosebit de amplă, ea fiind influențată de doi factori esențiali:
  - creșterea performanțelor tehnice și diversificarea procedeeilor de acțiune specifice mijloacelor de atac aerian;
  - necesitatea ca aceste sisteme să poată acționa rapid în orice condiții de vreme și în condițiile întrebunțării de contramăsuri radioelectronice.
- ✓ Apariția sistemelor integrate SHORAD / VSHORAD a condus la obținerea unei eficiențe crescute a acțiunilor împotriva inamicului aerian, în special pe timpul desfășurării unităților de tip SHORAD.
- ✓ În cazul sistemelor de rachete de tip MANPADS, ale căror capacități sunt în principiu limitate la capacitățile operatorului uman care le deservește, se urmărește extinderea capacităților acestora.
- ✓ Sistemele rusești similare, precum Pantsyr-S1 și Tunguska, au capacități tehnico-operaționale care merită atenție în sensul cunoașterii acestora.

#### Bibliografie

- [1] ACTTM: „Sistem antiaerian mixt tun-rachetă” –studiu de concept, 2003.
- [2] ACTTM: „Sistem antiaerian integrat de arme SHORAD-VSHORAD” –studiu de concept, 2005.
- [3] Jane’s Land-Based Air Defence 2002, London
- [4] „Land-based Vshorad and Shorad Systems” – Armada International, nr.2/2002;
- [5] [www.army-technology.com/projects/](http://www.army-technology.com/projects/)
- [6] <http://www.defence-update.com>
- [7] [www.gbad.org](http://www.gbad.org)
- [8] [www.israeli-weapons.com/](http://www.israeli-weapons.com/)

\* Silviu Băluță, CS III dr. ing., Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii Militare, București, tel. 0214233058/263, e-mail: [sbaluta@acttm.ro](mailto:sbaluta@acttm.ro)

\*\* Marian Pearsică, conferențiar univ. dr. ing., Academia Forțelor Aeriene, Brașov, Mihai Viteazu nr. 160, e-mail: [marianpearsica@yahoo.com](mailto:marianpearsica@yahoo.com).

## LUPTA AERIANĂ, COMPONENTĂ CRITICĂ A LUPTEI NAVALE

Ion CHIORCEA \*

Paul – Mugurel POLEANSCHI \*\*

*Lupta navală a cunoscut, timp de secole, transformări dramatice. Demon și diavol, marina comercială și militară au ridicat și au coborât imperii, au adus dezvoltare prin comerț și distrugere prin forță. Bătăliile navale au fost câștigate, de-a lungul vremii, prin manevre ingenioase și dezvoltare tehnologică mărind, mereu și mereu, distanța de la care navele se puteau lovi reciproc. Ziua de 21 octombrie 1967 a transformat în mod radical viitorul luptei navale transformând-o, pentru prima dată în istorie, într-o luptă aeriană. De atunci, în conflictele navale, pericolul principal vine din aer, sub forma celei mai avansate tehnologii: racheta anti – navă.*

### INTRODUCERE

Enciclopedia Britanică definește termenul de *luptă aeriană* ca reprezentând „tactica operațiilor militare executată de avioane, elicoptere sau orice alt vehicul care se deplasează prin aer. Acțiunea luptei aeriene poate fi îndreptată împotriva unui alt avion, a unor ținte terestre, împotriva țintelor aflate la suprafața mării sau sub apă.”<sup>1</sup>

Pornind de la această definiție, putem afirma faptul că adversarul aerian reprezintă o amenințare importantă, materializată prin aviația de vânătoare, vânătoare – bombardament și bombardament, elicoptere și, specific pentru operațiile maritime, de navele de luptă și submarine, prin rachetele navă – navă.

Lupta navală modernă a transformat clasică și demodată confruntare directă între nave și submarine, dusă cu tunuri și torpile, într-o luptă aeriană, în care navele sunt eventual vizualizate numai ca puncte pe indicatorul de radiolocație. Lupta navală este acum decisă de rachete, pe de o parte, și sistemele de armament de la bordul navelor de luptă, de cealaltă parte. Distanțele din ce în ce mai mari de la care sunt lansate, viteza mare de deplasare, precum și timpul limitat avut la dispoziție de navă să reacționeze, transformă lupta aeriană în cea mai importantă și periculoasă situație tactică pe care o au de înfruntat navele de luptă.

Lupta aeriană din cadrul războiului naval este extrem de provocatoare, datorită mijloacelor și instrumentelor pe care vectorii – avioane, elicoptere, nave și submarine, rachetele și navele le au la dispoziție pe durata confruntării. Într-o descriere sumară, este vorba despre radarele de cercetare de suprafață și aeriene, de radarele de conducere a focului,

---

<sup>1</sup> Enciclopedia Britanică Online, <http://www.britannica.com/eb/article-9110194/air-warfare>

de instrumentele de război electronic (pasive și active), precum și de mijloacele de combatere a acestora de la bordul navelor (rachete și artilerie antiaeriană).

Sistemele de armament, amplasate în general în locuri diferite la bordul navelor, trebuie să acționeze integrat, unitar și, în mod obligatoriu, sub o comandă unică. De aceea, rolul comandantului și echipajului navei sunt cruciale pentru lupta împotriva adversarului aerian. Dacă la această combinație de oameni și tehnică, adăugăm și condițiile hidro – meteorologice, cu modificări bruște, de la mare calmă la vânturi puternice și valuri uriașe, avem o imagine generală a caracteristicilor componenteii luptei aeriene, din cadrul luptei navale.

În cele ce urmează, vom descrie pe scurt principalele elemente ce influențează lupta aeriană pe mare, cu accent pe trinomul *purtător – rachetă – navă*. Prin aceasta, încercăm să oferim o perspectivă asupra specificității și complexității componenteii aeriene din cadrul luptei navale, prin analizarea elementelor acesteia. Astăzi, lupta navală poate fi decisă, într-o manieră absolut convingătoare, mai mult din aer decât de pe apă sau din adâncuri.

În evaluarea situației tactice, purtătorii sunt considerați în general ca platforme de lansare a rachetelor anti – navă; se consideră ca fiind mai puțin probabil un atac direct al aviației asupra navelor de luptă cu bombe, torpile sau cu artileria de la bord, datorită sistemelor antiaeriene de la bordul navelor, ce pun în pericol viața piloților.

Din acest motiv, atunci când vorbim despre vectorii aeriени purtători ai rachetelor anti-navă, nu vom discuta despre siguranța pilotului și calitățile aerodinamice ale aparatului de zbor. De asemenea, în cazul navelor și submarinelor, nu ne vom referi la calitățile nautice, la viteza de deplasare, la mărimea echipajului sau la alte elemente ale platformei, ci vom pune accent pe tipul rachetelor, caracteristicile și numărul de rachete aflate la bord, precum și distanța de lansare; acestea constituie, de altfel, elementele care oferă o imagine de ansamblu asupra capacității combative a unui purtător.

Dintr-o altă perspectivă, este dificilă tratarea separată a platformelor de cea a rachetelor, deoarece acestea sunt constituite în sisteme de luptă integrate. De aceea, vom prezenta împreună rachetele anti – navă și platformele.

## RACHETELE ANTI – NAVĂ ȘI PURTĂTORII

În lume, există un număr limitat de producători de rachete anti-navă; rachetele însă, sunt utilizate pe scară largă de multe națiuni, datorită calităților deosebite pe care le oferă: distanța de lansare, viteza mare de zbor și de impact, altitudinea joasă de zbor, suprafața mică de reflexie radar, sistemul de navigație și căutare, numărul de puncte de întoarcere pe traiectorie.

Statele Unite au dezvoltat un singur tip de rachetă anti-navă – GM 84 Harpoon, produsă de corporația Boeing (ex McDonnell Douglas) în diferite variante (inclusiv antiradar) și exportată în întreaga lume. Harpoon are viteza de croazieră de 0.9 M, distanța de lansare de peste 60 mile marine (100 km), diametrul de 35 cm iar altitudinea de zbor este considerată ca fiind practic la nivelul mării (sea-skimming).<sup>2</sup> De altfel, aceasta este o caracteristică generală a rachetelor anti – navă moderne. Harpoon poate fi lansată de pe avioane de vânătoare – bombardament și bombardament, precum și de pe nave de luptă (fregate, distrugătoare și crucișătoare) și submarine de atac<sup>3</sup>.

Competitorul vest-european este reprezentat de MBDA (proprietate comună a BAE Systems, EADS și Finmeccanica). Principalele rachete anti-navă produse în prezent de concernul european sunt AM – 39 (lansată de pe avion), MM – 38 și MM – 40 (lansate de pe

<sup>2</sup> <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/agm-84.htm>

<sup>3</sup> <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/agm-84.htm>

nave) și SM – 39 (lansată de pe submarine)<sup>4</sup>. Caracteristicile rachetelor sunt aceleași, indiferent de platforma de lansare, și anume: viteza de croazieră este de 0.9 M, distanța de lansare de 40 mile marine (aproximativ 70 km), altitudinea de zbor este la nivelul mării iar diametrul este de 35 cm.

Marinele militare NATO și multe din națiunile lumii sunt dotate cu aceste rachete subsonice anti – navă, de diferite generații, fiind practic principalele sisteme dezvoltate în domeniu. În plus, din clasa de rachete subsonice mai fac parte rachetele anti – navă din clasa GABRIEL (fabricate de Israel), rachetele RBS 15 (fabricate de SAAB) și rachetele KONGSBERG tip *stealth* (produse în Norvegia)<sup>5</sup>.

Prima rachetă rusească anti – navă construită și încă larg răspândită în lume este SSC – 3 „STYX”. Folosite pentru prima dată în luptă în data de 21 octombrie 1967, atunci când două nave egiptene au scufundat un distrugător israelian, rachetele STYX au deschis era luptei aeriene pe mare, între nave de luptă. Vândute în 27 de țări din întreaga lume și fiind încă una din cele mai răspândite rachete anti – navă de pe glob, rachetele STYX au o distanță maximă de lansare de 43 mile marine (80 km) și o viteză de croazieră de 0.8 – 0.9 Mach.

Racheta 3M82 „Mosquito” (nume de cod NATO „SS-N-22 SUNBURN”) este prima rachetă din lume cu viteză supersonică, are o viteză de croazieră de 3 Mach, are un diametru de 625 mm și o viteză de impact deasupra nivelului mării de 2.5 Mach, și poate fi lansată de la 90 mile marine (peste 160 km). SS-N-22 SUNBURN poate avea încărcătură de luptă clasică sau nucleară și echipează nave rusești (distrugătoare și nave purtătoare de rachete), chinezești, iraniene, precum și avioane Sukhoi 27 K navalizate.

O altă rachetă din clasa de rachete supersonice este 3M55 OMKIS (SS-N-26), capabilă să fie lansată de la o distanță minimă de 27 mile marine (50 km) și maximă de 165 mile marine (300 km), cu o viteză de croazieră de 2.6 Mach la altitudine ridicată (150 m) și de 2 Mach pe ultima fază a traiectoriei (5 – 15 metri deasupra nivelului mării).

Ultima rachetă prezentată este 3M54E KLUB (cod NATO SS-N-27). Aflată în stadiu de proiect și echipată în diferite variante, racheta va asigura o viteză de croazieră de 0.6 – 0.8 Mach, iar motorul suplimentar îi va permite să atingă, pe ultima porțiune a traiectoriei de zbor, viteza de 3 Mach. Va putea fi lansată de pe nave și submarine, de la distanța maximă de 120 mile marine (200 km)<sup>6</sup>.

## SISTEMELE ANTIAERIENE DE LA BORDUL NAVELOR

Odată cu apariția și dezvoltarea rachetelor anti – navă, marinele lumii au fost nevoite să dezvolte sisteme anti – rachetă, capabile să asigure protecția navei și echipajului pe durata conflictelor militare. Practic, există o cursă permanentă de dezvoltare între sistemele de rachete și cele de combatere a acestora. Pe de o parte, proiectanții asigură rachetelor anti – navă caracteristici tehnice și de zbor care să le permită să fie puțin vizibile și să ofere navei țintă timpuri mici de reacție, iar de cealaltă parte, navele sunt dotate cu sisteme din ce în ce mai sofisticate de detecție și distrugere.

Dacă în cazul rachetelor anti – navă există o strânsă legătură cu purtătorul, la nave există o conexiune extrem de importantă între sistemele de radiolocație și cele de tragere. Datorită dimensiunilor reduse ale rachetelor, a distanțelor de lansare și a vitezelor de croazieră, descoperirea timpurie a acestora este crucială. În mod practic, pentru rachete cu viteza de croazieră de 0.8 – 0.9 Mach, timpul de reacție pentru navă este de 150 – 120 secunde, în timp ce, în cazul rachetelor supersonice, timpul de reacție este redus la 25 – 30 secunde.

<sup>4</sup> [http://www.mbd-systems.com/mbda/site/FO/scripts/siteFO\\_contenu.php?lang=EN&noeu\\_id=105](http://www.mbd-systems.com/mbda/site/FO/scripts/siteFO_contenu.php?lang=EN&noeu_id=105)

<sup>5</sup> <http://www.defenseindustrydaily.com/ships-ahoy-the-harpoon-missile-family-02718/#missiles>

<sup>6</sup> [http://www.missilethreat.com/cruise/id.104/cruise\\_detail.asp](http://www.missilethreat.com/cruise/id.104/cruise_detail.asp)

Principalele sisteme utilizate de nave pentru lupta împotriva rachetelor sunt radiolocația (de cercetare de suprafață – 2D și aeriană – 3D), sistemele de luptă radio – electronică (cu subsistemele de bruij pasiv și activ și de cercetare pasivă de radiolocație) și sistemele de armament (rachete și artilerie antiaeriană).

Există un algoritm standard de activități executate pentru apărarea împotriva rachetelor anti – navă, a căror succesiune și precizie în execuție pot face diferența dintre supraviețuire sau distrugerea navei. Distanța de descoperire a purtătorului constituie (dacă purtătorul a fost descoperit prin radiolocație, dacă interogarea IFF permite clasificarea contactului și evaluarea situației tactice este corectă) momentul „zero” pentru toate celelalte activități.

În timpul scurt avut la dispoziție, așa cum aminteam anterior (de la maxim 150 la 25 secunde), se lansează rachetele împotriva purtătorului, a rachetei (după lansare), se lansează contramăsurile pasive (chaff, decoys și flares), se execută manevra navei (pentru a oferi capului de autodirijare al rachetei o suprafață de reflexie cât mai mică și pentru a permite, în același timp, utilizarea armamentului antiaerian de la bord), se execută bruijajul sistemului de ghidare al rachetei, se lansează rachetele antiaeriene și se execută tragerea cu armamentul antiaerian de la bord.

Principalele sisteme de rachete de la bordul navelor sunt sistemul STANDARD (SUA), RAM (SUA și Germania), SEA DART (Marea Britanie), familia de sisteme SAN – GOA (Federația Rusă) și sistemul SEA SPARROW (NATO). Acestea integrează radiolocația de cercetare aeriană și de suprafață, radiolocația de tragere și sistemul de rachete, permit lansarea rachetelor simultan pe mai multe ținte aeriene iar unele dintre acestea, au integrate și sistemele de bruij pasiv și activ. Distanțele de descoperire și lansare acoperă distanțe de la 5 mile marine (9 km) până la 100 mile marine (180 km), iar vitezele de zbor sunt cuprinse între 2 și 3 Mach.

Sistemele de artilerie antiaeriană (Vulcan Phalanx – SUA, Goalkeeper – Olanda și AK 630 – Federația Rusă) integrează de regulă aceleași sisteme de radiolocație și bruij activ și pasiv, au distanțe de tragere de la 2 la 3.6 km, calibre de 20 sau 30 mm și cadența între 3.000 și 4.000 proiectile pe minut.

Ultimele dezvoltări tehnologice în domeniul apărării antiaeriene aparțin Federației Ruse, cu sistemul KASHTAN, care integrează în același sistem, rachetele și artileria antiaeriană. În acest fel, prin același proces de comandă control, se acționează în sistem dual împotriva aceleași rachete<sup>7</sup>.

## Concluzii

Data de 21 octombrie 1967 reprezintă data în care războiul naval și-a schimbat în mod radical metodele de acțiune; din acea zi, lupta clasică dusă de aviația de vânătoare – bombardament sau de nave și-a modificat distanța, la adăpostul rachetelor anti – navă. Și tot de atunci, a început cursa între dezvoltarea rachetelor și a sistemelor antirachetă.

Chiar și numai în urma unei analize sumare, se poate observa că atacatorul deține o multitudine de avantaje în fața navei – țintă. Acesta deține inițiativa, surpriza, distanța de la care poate lovi fără să fie lovit, indiferent de tipul purtătorului. Avionul deține superioritate prin viteza de zbor, suprafața mică de reflexie radar și distanța de lansare; nava de luptă avantajul distanței de lansare și surpriza lansării, iar submarinul poate beneficia de avantajul „invizibilității”, de distanța de lansare și de surpriza lansării.

Iar de cealaltă parte, nava are secunde pentru a reacționa și o serie de sisteme pentru protecția proprie. Și un echipaj care le deservește.

---

<sup>7</sup> [http://www.tulamash.ru/en/prod\\_kashtan.htm](http://www.tulamash.ru/en/prod_kashtan.htm)

\* Cpt. cdor. Ion CHIORCEA, lector universitar doctor, Universitatea Națională de Apărare „Carol I”, București, Str. Panduri nr. 68-72, sector 5, tel. centrala:319.48.80, e-mail: chiorcea44@yahoo.com

\*\* Lt. cdor. Paul – Mugurel POLEANSCHI, masterand la Universitatea Națională de Apărare „Carol I”, București, Str. Panduri nr. 68-72, sector 5, tel. centrala:319.48.80, e-mail: mpoleanschi@yahoo.com

## TARGET RECOGNITION ENHANCEMENT THROUGH EDUCATION

Liviu COȘEREANU \*  
Cornel PLEȘA \*  
Daniel TURCANU \*

### **Abstract:**

*Training is a key factor in target recognition enhancement. This paper presents the main directions to be reached in a target recognition training session, in both laboratory and real tactical field conditions. This paper has highlighted some of the dilemmas that must be attended to when creating a combat vehicle or aircraft recognition training package, and has given direction to individuals interested in creating a package that offers benefits over and above that which can be taught in traditional ways.*

### I. INTRODUCTION

Thermal cameras can be nowadays considered as standard military equipment in surveillance applications for air force, navy, ground troops or paramilitary organizations like borders guards, or police. Effectiveness of these imaging systems depends significantly on their operators. There are usually no special problems with training military operators or pilots for use of TV cameras as these systems generate images similar to images generated by human eyes. However, training of the operators in use of thermal cameras is much more difficult and time consuming because of four basic reasons.

First, because of different spectral range of thermal cameras in comparison to the spectral range of human eyes, the thermal image differs very significantly to the visible image of the same scenario.

Second, at least at present, thermal cameras are not stereoscopic systems like human eyes, field glasses or some image intensifier goggles and is difficult to visually percept different objects seen in the thermal image.

Third, there are no shades in thermal images even when the scenario is illuminated by the Sun, the moon or other artificial sources.

Fourth, training operators of thermal cameras is costly due to high price of consumable blocks like the cooler and the high costs of time consuming field training.

Due to the reasons mentioned above, the interpretation of thermal images is often difficult for thermal cameras operators or pilots. Novice operators often are not sure whether



they see real military targets of interest in the obtained thermal image or only typical natural objects. They have also difficulties with recognition and identification of the detected objects or to determine the distance to these objects. Due to military demands it became a constant need to develop hardware/software image generators and to perfectly match training guidelines suitable for air force, navy, ground troops or paramilitary organizations.

All these conclude to a probability definition for a target in the optoelectronic field of view to be resolved. This aspect will be discussed bellow, from the theoretically point of view.

Talking about education as a key factor in target recognition enhancement, means to describe an entire process, with its hardware/software parts, trainers, subjects, instruction periods with respect to thermal cameras, well defined laboratory conditions and guidelines to be followed by the subjects being trained.

Generally, a training program should enable simulation of any factor presented in diagram shown in Fig. 1.

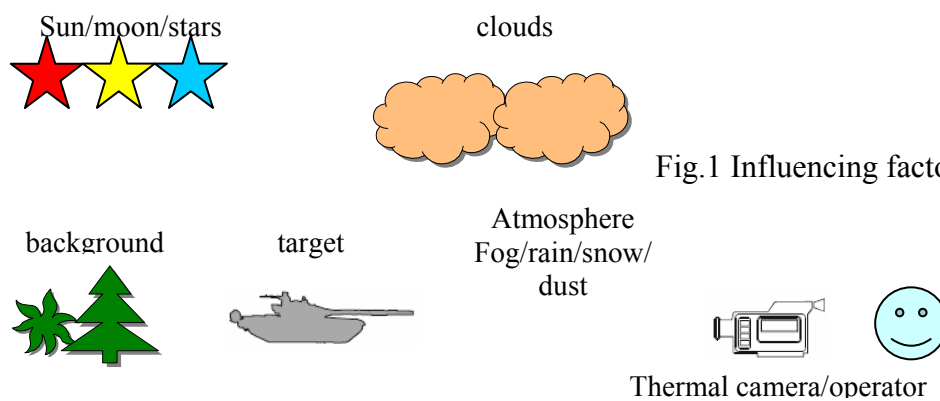


Fig.1 Influencing factors diagram

Therefore the software should possess the following features.

First, it should enable generation of thousands realistic 3-dimensional dynamic thermal and visible images of different military targets at different backgrounds.

Second, it should simulate influence of the observation conditions like the distance to the observed object, the background temperature and emissivity, and the transmittance and emittance of the atmosphere on the output image.

Third, it should enable simulation of the influence of typical parameters or settings of thermal cameras on the output image (the temperature resolution, the spatial resolution, field of view, or such settings like contrast, brightness, polarity of the image).

First, very expensive and time consuming field testing is needed to prepare a large base of realistic 3-dimensional base of interesting targets at different scenarios.

Second, only powerful specialized computers are able to render in the real time dynamic 3-dimensional realistic scalable images. At present typical PCs are able to render only simplified images similar to images used in software games.

Quality of images generated by typical thermal cameras is not high; typically is similar to quality of images from video cameras. However, when we want to simulate realistic thermal images we must generate images of a few times better resolution and simulate realistically noise and blur effects. Practically, this means a requirement for real time generation of photo-realistic 3D images and puts high requirements on required computing power.



Third, sophisticated mathematical models are needed to simulate quantitatively influence of the observation conditions, and parameter and setting of the simulated camera on the generated image.

In order to start training program, having a **training strategy** is a must. The generic training strategy recommended for vehicle or aircraft recognition and identification skills must have the following core elements:

- ❖ Pretesting to determine where training should start.
- ❖ Teaching critical concepts and information that underlie the skill to be acquired.
- ❖ Training that starts at the soldier's skill level (basic or advanced) as determined by pretests, includes performance feedback and progresses from general to specific and from easy to difficult.
- ❖ Checking on skill progression with embedded or spot tests.
- ❖ Continuing with training as indicated by skill status.
- ❖ Conducting assessments of performance that include testing for transfer of skill.
- ❖ Providing spaced review of vehicles learned previously in conjunction with training on new vehicles.

The success of vehicle or aircraft recognition and identification training depends greatly on the images available for the training. By success, we mean that soldiers acquire skills transferable to new imagery in the database itself and ideally to field settings with real vehicles as well. Training success does not mean that soldiers simply memorize the images presented during training. To accomplish this goal, a large database must be established, which can be a very costly part of the development process.

At a minimum, the following factors should be considered when wondering what type of IR imagery should be used:

- ❖ General considerations
  - High fidelity images with respect to the sensor(s) under consideration;
  - Imagery with few, if any, incidental cues;
  - Vehicles consonant with the soldiers' mission;
- ❖ Vehicle-specific considerations
  - Images of each vehicle or aircraft from different viewing angles;
  - Images of each vehicle or aircraft at different ranges (from a close-up distance to distances where target detection should occur);
  - Images scaled by actual vehicle size at different ranges;
  - Stationary and moving views;
  - Day and night time views;
  - Black-hot and white-hot views;
  - Non tactical views;
  - Tactical views (through smoke or dust, live-fire, turret facing forward);
  - Imagery taken at different times of the year, in different climates, or both;
  - Imagery showing thermal signature changes as a function of vehicle operating time;
  - Imagery for test purposes;
  - Color photos of each vehicle for comparison with the thermal images.

An image database with these factors provides soldiers with a wide variety of examples. Soldiers need many examples in order to learn "the vehicle" and not "the image" or "the picture". In addition, they are more likely to transfer their skill to field conditions if they have seen vehicles or aircrafts in a variety of conditions during training.

## II. KEY FACTORS IN TRAINING PROCESS

The above shown factors to consider when both obtaining and using imagery for training thermal signatures can be also presented as follows:

- regarding to target and background: vehicle or aircraft aspect, incidental cues, different types of background (tree line, desert, open field, etc.), congestion coefficient, target area, area to be analyzed.
- regarding to atmosphere: night and day, sunny and overcast, range to target, climatic conditions (dust, smoke, rain, fog, transmittance, emittance, etc.).
- regarding to sensors: sensor type, image fidelity, sensor polarity.
- regarding to operators: observing time, image scanning techniques, knowledge of thermal technology, knowing thermal features of vehicle or aircraft classes.
- regarding to instructor: presentation of specific vehicles or aircraft and their cues, training exercise formats and strategies, target positioning in scene, target solving probability calculus, the equation for optimum distance from the observer to the display and the time needed for a single scanning process.

### 2.1 *Vehicle or aircraft aspect*

Aspect is important as it strongly influences the ease with which a vehicle or aircraft can be identified. It is well known that vehicle or aircraft identification is easiest with flank views, more difficult with oblique aspects and hardest with front and rear views. Appreciation for aspect angle has an interdependent effect on vehicle or aircraft identification. For instance, if subjects can determine that they are looking at the left front oblique of a vehicle or aircraft; this has important implications for ascertaining the identity of that vehicle. Knowing the aspect angle also allows subjects to evaluate the level of risk present in a combat situation and to prioritize their attention.

#### *Incidental cues*

Incidental cues in the training imagery present a great threat to ensuring that soldiers can identify vehicles or aircraft in an operational environment. An obvious attempt is often made to conceal any incidental markings or cues as insignias, an atypical vehicle or aircraft configuration, the presence of a soldier and distinctive backgrounds in the scene. Subjects are likely to focus on these incidental cues rather than the characteristics of the vehicle itself.

#### *Congestion coefficient, target area, area to be analyzed*

Congestion coefficient represents the attribute of the whole image presented to the subjects. Ranged from 1 to 10, this factor will be lowered when subjects will have only few targets in the scene and increased when multiple targets will be shown. All of them affect the probability to resolve the target.

### 2.2 *Night and day*

For thermal signature training, it is critical to have imagery taken during the night and the day. Thermal sensors are often the primary target acquisition system regardless of time of day, and day and night signatures differ dramatically due to solar loading during the day. For instance, parts of the hull or turret may be cool at night and very difficult to detect, whereas during the day these components are quite visible because they have been heated from exposure to the sun. During the day, tracks and wheels often appear less hot relative to the rest of the vehicle. If the vehicle has been operating, the engine and exhaust will still be hot, but their signatures will not be as distinct when the hull and turret are also hot.

#### *Range to target*

The thermal signature changes with range. More detail is visible at closer ranges. Fewer gradations in vehicle temperature are visible at longer ranges although the hottest spots still

stand out. In combat, soldiers and leaders should engage targets at the farthest range possible, maximizing their weapon's stand-off capability. The literature suggests that soldiers can identify vehicles at tactical distances, particularly with flank and oblique views. But the most efficient training is on close-up images first, particularly with soldiers who have low initial skills. Advanced skill training should involve vehicles at greater and greater distances. Therefore, the image database must contain images of vehicles at different ranges. We think that 4 ranges will be OK, but 5 or 6 would work as well. More ranges would probably yield unnecessarily redundant information with each increment in range; fewer ranges would probably provide a change too great in the thermal signature with each increment.

### **2.3 Image fidelity**

Image fidelity depends on resolution, contrast and luminance. A compromise must be found between these characteristics in order to achieve an image with a good fidelity.

#### *Sensor polarity*

Most thermal sensors have reverse polarity, where the hotter spots can be displayed as black (black-hot) or as white (white-hot). Switching from one polarity to the other helps the soldiers to discern critical features. By using both polarities, soldiers frequently are able to discern different pieces of information, which, collectively, help them, identify the vehicle.

### **2.4 Observing time**

Observing time is also an important characteristic that has to be correctly evaluated. The minimum observing time is calculated as the time necessary to scan the whole image. The value obtained can be an acceptable value for the observing time. Experiments revealed that a value for the observing time greater than 20s is useless and a plot will be presented below as example of how the probability of resolving the depends with observing time.

#### *Image scanning techniques*

The human eye searches a display by aiming the fovea at different locations in an image, rapidly moving from one fixation point to another. Each fixation lasts about a third of a second on the average. The large jumps are called *saccades*; a saccade plus a fixation is termed *a glimpse*. The saccades last only a few milliseconds and can reach speeds of 1000 deg/s. During the saccadic motion, vision is greatly reduced.

The speed and length of the saccade are dependent on the task, being faster for situations where, for example, the allowed time to perform the search is limited to a short interval, and being physically shorter when the density of information in the image is higher. For more complicated scenes, the fovea will tend to interrogate areas of high information content. The choice of the areas to interrogate will be governed in part by the observer's expectations and by the information desired from the image. Obviously the characteristic motion of the eye will play a central role in the ability of an observer to perform visual search; therefore, models of visual search must explicitly or implicitly account for some aspects of typical eye motion.

There are numerous factors which influence an observer's ability to acquire a target. Only some of the major considerations are discussed here.

For competition search, as would be expected, the more the target differs from the nontargets in contrast, shape, or size, the faster the target will be found. This assumes that other factors such as the number of targets and the target density are kept constant. Any other factors that would act to increase the target discriminability would also lead to decreased mean search times.

Also, as might be expected, increasing the number of false targets, their homogeneity, or the size of the search field will generally result in increased mean search times. Any change

to the displayed image that would require an observer either to examine more objects, or to examine the objects in greater detail, will lengthen the search process.

Some authors found that an observer, while first training on a set of targets (in their case, letters of the alphabet), will scan more slowly while searching through a list for one of many targets. Others point out that after learning the target set thoroughly an observer can scan through a list looking for one of many targets in a target set just as fast as when scanning for a single target. There are also authors who state that even though the scan rate for multiple targets may be the same after learning, the error rates increase. Practice also can improve the performance of tasks such as threshold detection that do not involve learning the shapes or characteristic features of targets.

If the observer has been pre-briefed so that he or she knows probable positions or states of the target, mean search times will be shorter. On the other hand, if a target does not appear very much like the mental image of the target that has been learned by the observer, the search process will be more difficult. If the target is camouflaged or partially occluded, the target discriminability from background decreases and the search process becomes correspondingly more difficult.

#### *Knowledge of thermal technology*

The better subjects understand the nature of FLIR and the parameters that affect what is seen through a thermal sight, the more adept they become at interpreting thermal signatures. This knowledge will also facilitate transfer from night to day images, to new tactical images, to interpreting objects in the terrain, and to detecting targets.

#### *Knowing thermal features of vehicle or aircraft classes*

It is obvious that vehicles or aircraft within a certain class or certain type have similarities (tanks are tracked, have a main gun and a turret and typically the engine is in the rear). In addition, there are some distinctions among classes or types. Basic instruction on vehicle or aircraft types or classes should precede training on naming individual vehicles or aircrafts, as knowledge of these features helps narrow a soldier's choices considerably.

### **2.5 Presentation of specific vehicles or aircrafts and their cues**

When soldiers are first exposed to a set of vehicles or aircraft, they need to be presented with images that help them internalize the "thermal representations" of those vehicles or aircraft. There are many ways to accomplish that goal. Critical to this instruction are the following visual displays for each vehicle:

- Comparison of thermal and visible (color) images
- Displays that allow a 360 degrees view
- Displays showing changes in thermal signature with distance
- Videos of the vehicle moving at tactical speeds

Side by side visible and thermal displays help soldiers relate daylight to thermal images. These displays provide connection between the "known" and the "unknown". Another technique can be to mix the images: a visible image of the vehicle or aircraft is shown, which turns then into a series of white-hot and black-hot thermal images, and then back to the original visible image.

The program (software) should point out the specific thermal features as the images are displayed. Conduct this instruction with near images. Cues common to most vehicles (engine, tread friction and exhaust heat) and cues associated with vehicle classes (large, prominent turrets on tanks) should be pointed out for each vehicle. And finally, the features that give each vehicle its unique thermal signature must be stressed. This signature is impacted by the vehicle's shape, its hot spots, the arrangement of these hot spots and the other temperature differences on the vehicle that are typically less distinct, yet integral to its signature.

### *Training exercise formats and strategies*

To most operators, the vehicle identification task is intrinsically motivating. And if the training exercises are highly interactive, are progressively challenging, provide timely feedback and stress the perceptual nature of the task, operators will learn while also enjoying the training experience. Many exercise formats are possible, but in all cases it is important to keep the following in mind:

- The skills to be trained

More than one skill can be of concern: determining the vehicle's class, identifying the vehicle by name, determining vehicle angle or aspect, responding quickly as well as accurately, etc.;

- Integration of initial instruction with interactive practice

Instruction on each vehicle's characteristics should be well integrated with the vehicle sets and part-task training schedule;

- Advanced skill training

Develop additional exercises to improve soldier skills with more challenging imagery (but not that imagery included in the initial instruction and practice sessions);

- Performance feedback

Feedback that provides diagnostic information is invaluable. Good feedback will prevent learning plateaus, help soldiers transfer and retain skill and make the learning process meaningful.

### *Target positioning in scene*

A central positioning of the target should be avoided and the range variances should be done without centering the target in the image. The operators are often tempted to spend more attention on the centre of the image and doing so they lose quite lot of information from the edges of the image.

## 3. CONCLUSIONS

This paper has highlighted some of the dilemmas that must be attended to when creating a combat vehicle or aircraft recognition training package, and has given direction to individuals interested in creating a package that offers benefits over and above that which can be taught in traditional ways. Such a program (software) must provide immediate and individually feedback, employ appropriate exercise formats, adapt to individual differences in skill and rate of learning and provide practical, realistic training that truly prepares soldiers to identify vehicles in battle situations. It is also important to strike an even balance between speed and accuracy. Although emphasizing speed in training ensures soldiers learn to react quickly in combat, if accuracy is not equivalently emphasized, many of those rapid reactions can result in misjudgments and fatal errors.

To become proficient in thermal combat vehicle or aircraft identification is to learn a way to think about vehicles or aircraft and their respective heat signatures. The instruction and training must balance the use of images and words to facilitate soldiers' understanding of the vehicle's or aircraft's thermal signature. Because thermal imagery is dynamic and battle situations contain factors that cannot be totally anticipated in any training package, the soldier must leave training with a comprehensive and systematic way in which to think about vehicle's or aircraft's heat signatures.

The extent to which these goals can be achieved is not limited by the multi-media training medium. Rather it depends on our knowledge of how individuals best learn the thermal signatures of vehicles and our ability to apply these lessons learned to the instructional software. **Therein lays the art of training.**

## Bibliography

- [1] Michael C. Dudzik, „*Electro-Optical Systems Design, Analysis, and Testing*”, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington USA, 1996
- [2] E.D. Turcanu, C. Plesa, L. Cosereanu, “*Training – A Key Factor in Target Recognition Enhancement*”, *D&D Symposium*, Mons, Belgium

---

\* Col. conf. univ. dr. ing. Coşereanu Liviu , Mr.dr.ing. Pleşa Cornel , Lt. drd. ing. Turcanu Daniel - Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii Militare, Str. Aeroportului nr. 16, CP19 OP BRAGADIRU, județ Ilfov cod 077025, [liviuc@actm.ro](mailto:liviuc@actm.ro), [cpleasa@actm.ro](mailto:cpleasa@actm.ro), [edturcanu@actm.ro](mailto:edturcanu@actm.ro)



## ASIGURAREA SUPTULUI PSIHOLOGIC AL MILITARILOR DIN FORȚELE AERIENE PARTICIPANȚI LA OPERAȚIILE MILITARE DE STABILITATE

Dumitru DINU\*

**Abstract:** *As a result of Romania's joining the NATO structure, throughout the past years, more and more Romanian military people belonging to the Air Force have participated in military stability operations, mainly in the Balkans and the Middle East. This study attempts to focus both on general aspects of stability operations and on particular psychological involvement of such operations and also to stress upon the necessity of performing certain operations, for the purpose of providing the psychological support to military personnel selected to take part in and accomplish missions in the multinational military operation theatres. Designing a proper psychological support for the Air Force participants in stability operations can effectively contribute to the accomplishment of the assigned military operations objectives of the structures involved in the military theatres.*

### **Generalități privind operațiile militare de stabilitate**

**Operațiile militare de stabilitate** reprezintă acțiuni militare care se concentrează pe prevenirea războiului, acționând asupra cauzelor care-l pot genera și pentru promovarea păcii.

Operațiile militare de stabilitate pot fi declanșate și executate în următoarele situații: *înaintea începerii ostilităților, în situații de criză, pe timpul ostilităților și după ostilități.*

**Scopurile generale** ale acestor operații militare sunt: sprijinirea autorităților naționale; prevenirea producerii unui conflict intern; revenirea la situația de pace socială dorită.

Aceste tipuri de operații militare pot fi generate de apariția unor crize și au, de cele mai multe ori, aspectul unor acțiuni de răspuns. Amenințarea se poate manifesta în interiorul Alianței sau se poate adresa unui aliat, în ambele cazuri acționându-se printr-o reacție rapidă, pentru descurajarea forței sau a crizei care amenință stabilitatea internă sau pe cea externă. Operațiile militare de stabilitate au și scopul de a preveni agravarea situației și apariția nevoii de a desfășura forțe mult mai importante, într-o stare de conflict acutizat.

Uneori, prezența forțelor militare este necesară pentru asigurarea sau impunerea respectării înțelegerilor postconflict sau pentru prevenirea degenerării crizei într-un război.

Operațiile militare de stabilitate se desfășoară după principii specifice, cu respectarea, în funcție de situație, a principiilor generale ce caracterizează lupta armată.

**Principiile specifice** ale operațiilor militare de stabilitate sunt:

- *unitatea de efort;*
- *siguranța operațiilor;*

- *restricționarea;*
- *legitimitatea;*
- *perseverența;*
- *utilizarea forței militare în mod selectiv;*
- *acțiunea decisivă pentru prevenirea escaladării;*
- *înțelegerea potențialului pentru consecințe nedorite ale acțiunii individuale ale unităților mici;*
- *etalonarea capacității de a folosi forța militară.*

Tipurile de **operații militare de stabilitate** sunt:

- a) operațiile pentru pace;
- b) apărarea internă cu sprijin extern;
- c) asistența în probleme de securitate;
- d) asistența umanitară și civică;
- e) sprijinul insurgențelor;
- f) sprijinul operațiilor antidrog;
- g) combaterea terorismului;
- h) operațiile de evacuare a necombatanților;
- i) controlul armamentelor;
- j) demonstrația de forță;
- k) operațiile de sprijin.

Se poate afirma că, **operațiile militare de stabilitate** se caracterizează, în principal, prin: demasificarea forțelor militare; concentrarea forțelor în punctele decisive; operațiile militare vor fi întrunite și prioritar multinaționale; reacție rapidă și descurajantă; capacitate sporită de manevră la toate eșaloanele.

### **Asigurarea suportului psihologic în operațiile militare de stabilitate**

Viitorul cere imperios un militar inteligent, cerebral, bine antrenat fizic și psihic, foarte bine educat, instruit și motivat, în măsură să fie compatibil cerințelor tot mai sofisticate ale „câmpului de luptă”, constituindu-se ca „forță tampon” de descurajare a escaladării violenței.

Operațiile sau acțiunile militare de gestionare a unor situații de criză beneficiază de un suport psihologic consistent, existând, bineînțeles, diferențieri în abordarea acestei problematice, în funcție de locul de desfășurare a crizei (teritoriul național sau teritoriul unui stat străin).

**Activitățile de suport psihologic** desfășurate în operațiile militare de stabilitate au drept scop sprijinirea prin mijloace și metode adecvate a misiunii generale și a obiectivelor stabilite pentru marile unități și unitățile aflate în teatrele de operații. Desfășurate la **nivel operativ și tactic**, aceste activități, sunt planificate și executate ca parte integrantă a întregii operațiuni, în strictă concordanță cu obiectivele strategice urmărite. Activitățile de suport psihologic al operațiilor militare de stabilitate sunt exercitate atât asupra părților aflate în conflict, cât și asupra populației civile din zona de operații, cu scopul realizării unei atmosfere favorabile trupelor proprii și aliate, voinței de a coopera, precum și protejării unităților proprii și a celor aliate.

Imposibilitatea contactului cu specificul „luptei armate” nu înseamnă că unele misiuni pe care le poate executa un militar pe timp de pace (participarea la misiuni de salvare-evacuare după producerea unor incidente critice; misiuni de grup sau individuale, în situații periculoase sau potențial periculoase, pe teritoriul național sau în cadrul unor operații de



stabilitate, accidente grave, etc.) nu ar ridica probleme sau dificultăți majore, pentru care este necesară o pregătire prealabilă.

De aceea, în aceste ipostaze, militarii aparținând F.A.R. se pot confrunta cu:

- instruire insuficientă pentru situații limită (salvare, evacuare, transport și îngrijire a răniților, etc.);
- informații incomplete și, de multe ori, contradictorii;
- aprovizionare și sprijin precare sau chiar lipsa totală a acestora;
- modificări drastice și instantanee ale condițiilor de viață (hrănire, îngrijire și igienă corporală, somn, etc.);
- condiții de mediu modificate sau dificile;
- periclitarea sănătății și a vieții proprii;
- salvarea și/sau evacuarea muribunzilor, precum și evacuarea unui număr mare de morți;
- imagini dezolante, oripilante ale locurilor incidentelor critice.

Astfel, pregătirea psihică a militarilor aparținând Forțelor Aeriene atrage o serie de cerințe circumscrise *domeniului*, cum ar fi:

- creșterea profesionalismului luptătorilor, promovarea valorilor și lucrului în echipă, crearea unui climat de muncă rațional și onest;
- dezvoltarea calităților intelectuale, psihice și fizice;
- formarea trăsăturilor psihomorale pentru a acționa oportun în situații limită;
- formarea, la întreg personalul F.A.R., participant la operații de stabilitate multinaționale, a unor convingeri bazate pe recunoașterea conștientă a necesității îndeplinirii misiunilor, creșterea încrederii în forțele proprii, asigurarea însușirii și respectării valorilor și normelor militare;
- cunoașterea și respectarea de către întreg personalul aparținând Statului Major al F.A.R. participant la misiuni multinaționale a prevederilor acordurilor/memorandumurilor și tratatelor încheiate în baza cărora se desfășoară misiunea (Memorandumul de înțelegere – **MOA**; Aranjamentul tehnic; Acordului privind Statutul Forțelor Armate - **SOFA**), a prevederilor regulilor de angajare (Rules of Engagement - **ROE**), a legislației internaționale privind conflictele armate, a dreptului internațional umanitar, a regulilor de comportare în teatrul de operații, etc.;
- contracararea acțiunilor de influențare psihologică;
- realizarea coeziunii și operaționalizarea structurilor militare aparținând F.A.R. participante la misiuni de stabilitate multinaționale;
- realizarea unui climat de exigență și corectitudine în relațiile interumane.

În linii generale, pe timpul operațiilor de stabilitate, trebuie **să se realizeze pacea** (prin negocieri și medieri), după care trebuie **să se construiască pacea** (prin schimbări sociale, dezvoltare economică și reconstrucție). De aceea, operațiile de stabilitate se desfășoară pe baza principiului „*consensului sau cererii*” națiunii gazdă.

### **Caracteristici psihosociologice ale operațiilor militare de stabilitate**

În urma studiilor efectuate, precum și a observațiilor rezultate în urma acestora privind misiunile la care au participat efectivele Armatei României, se poate afirma că, indiferent de tipul acestora, din punct de vedere psihologic, militarii s-au confruntat cu aspecte de cele mai multe ori asemănătoare, reacțiile lor de răspuns fiind în consecință.

Vom aborda aspectele psihologice specifice operațiilor militare de stabilitate din perspectiva a două criterii, pe care le considerăm ca fiind printre cele mai importante: **contextul desfășurării și efectele sau urmările misiunii.**

#### ➤ Contextul desfășurării

Experiența și evidențierea principalelor caracteristici psihosociologice ale unor zone de conflict din lume, a stărilor de anotimp și climă, a diverselor genuri de risc, a tradițiilor și culturii specifice atât a militarilor care alcătuiesc Forța Multinațională, cât și a popoarelor din zonele de desfășurare a operațiilor contribuie la formarea unor imagini cât mai apropiate de realitate despre acel „*necunoscut*”, pregătind o „*pavăză spirituală, psihologică*” sau, dimpotrivă, creând un „*disconfort*” psihologic.

În cadrul operațiilor de stabilitate care **nu presupun utilizarea forței sau amenințarea cu folosirea acesteia** (operații de menținere a păcii, operații de asistență umanitară, operații de salvare-evacuare, escortarea convoaielor de ajutoare umanitare, etc.), principalele aspecte psihologice rezultă din:

- existența în zona acțiunilor a instabilității și a potențialelor amenințări, care reclamă păstrarea unei capacități militare puternice, suficient de flexibilă în executarea întregului spectru de operații militare;
- necesitatea ca, pentru obținerea acceptului, credibilității, siguranței și a neutralității, Forța să fie, de regulă, în componere multinațională;
- starea psihică a populației, care în asemenea condiții va declanșa implicit o serie de cerințe cu privire la condițiile de viață, la nemulțumirile personale, la activitatea organelor politice „*implicate*” în criză sau conflict și, nu o dată, va fi amplificată, din păcate, de către „*specialiștii*” în diversiune;
- adevărata „*bătălie*” pentru imagine, ceea ce, din punct de vedere psihologic, face ca informațiile vehiculate să explice și să justifice cu prioritate intervenția militară;
- faptul că intervenția militară se desfășoară, atât ziua cât și pe timp de noapte, ceea ce duce la oboseală și chiar la epuizare fizică și psihică.

**Când acțiunile se execută într-un mediu ostil**, ele se pot desfășura fie **clandestin** (acoperit), fie **la vedere** (descoperit), ceea ce impune adoptarea unor măsuri de protecție și de acțiune în ascuns, exploatându-se succesul oferit de efectele realizării surprinderii și căutându-se menținerea unei superiorități relative a capacității combative pe o perioadă determinată de timp sau într-o zonă limitată.

**Când se execută într-un mediu permisiv sau cooperant**, acțiunile sunt planificate atunci când statul, pe teritoriul căruia se desfășoară, nu posedă mijloacele necesare pentru a acorda asistența necesară și solicită ajutoare externe.

Caracteristici psihologice aparte s-au identificat în misiunile din Afganistan și Irak, unde războiul declanșat de coaliția antiteroristă a scos în evidență aspecte psihologice care, dincolo de specificul local, au nota lor de generalitate, astfel:

- există elementul internațional de influențare prin amenințarea cu violența, prin lansarea premeditată a unor zvonuri, a unor alarme false pentru crearea stărilor de tensiune psihică, nesiguranță, derută și panică în rândul unei mase mari de oameni;
- operarea cu adevărate „*informații-șoc*” și falsuri informaționale (documente fabricate, insinuări, amenințări, etc.) ce au ca efect scăderea capacității de orientare, selecție sau reacție adecvată la provocări;
- generalizarea, sub multiple forme, în rândul populației, a unui puternic sentiment de insecuritate;
- utilizarea, în mod deliberat, sistematic și concret a mijloacelor de natură să provoace teroarea în vederea atingerii unor scopuri criminale;

- intimidarea, prin acte de cruzime extremă, răpiri, asasinare sau alte forme ale violenței oarbe (exploziile, incendierile, distrugerea unor edificii publice, sabotarea mijloacelor de comunicații fiind fapte cotidiene).

Trăsătura principală rămâne, astfel, teroarea, climatul de teamă, pericolul general, teama de necunoscut ce mărește senzația de insecuritate generată de orice acțiune teroristă și sporește astfel „șocul psihologic”.

Implicațiile psihologice sunt deosebite, situația concretă fiind în aceste misiuni aproape o stare „lipsită de normalitate”, în care se dereglează atât sistemul prin care oamenii sunt informați corect și la timp asupra celor întâmplate, cât și căile prin care au acces la datele necesare supraviețuirii, schimbările rapide de situații ducând de la stări depresive la extaz sau invers, deopotrivă în rândul celor implicați direct, cât și a celorlalți militari aflați în misiune.

În concluzie, se poate aprecia că operațiile de stabilitate desfășurate într-un mediu și context specific, presupun o îmbinare armonioasă de măsuri de ordin politic, administrativ, economic, militar și, nu în ultimul rând, **psihologic**, precum și relații de comunicare eficiente pentru a anihila rapid efectele crizei și a scurta timpul de implicare a forțelor armate.

#### ➤ Efectele sau urmările misiunii

Efectivele participante la astfel de misiuni înregistrează, de regulă, alături de răniții somatici și tulburări psihice sau „răniți psihic”, care sunt victime ale „teatrului de acțiune”, victime ce sunt marcate, mai mult sau mai puțin, de unele evenimente produse.

Evaluarea „dimensiunii psihosociale” a evenimentelor, inventarierea diferitelor probleme psihice prezentate de cei implicați, examinarea reacțiilor colective (panica, inhibarea colectivă, exodul, zvonul, etc.), cercetarea reacțiilor emoționale ale factorilor de decizie și de salvare pe timpul gestionării unor crize ne obligă să subliniem principalele aspecte cu care se pot confrunta efectivele F.A.R. care pot participa la executarea unor misiuni de stabilitate în cadrul unor forțe multinaționale. Trebuie cunoscut că în asemenea situații putem avea de-a face cu:

- „răniții somatici” (arși, striviți, traumatizați, mutilați, tec.) care, în plus, sunt afectați și psihic datorită stresului post-traumatic la care au fost supuși;

- „victimele psihice pure” (fără răni somatice), ce prezintă reacții emoționale mai mult sau mai puțin durabile, reacții nevrotice, isterii, etc. În astfel de cazuri, stresul acumulat până la salvarea acestora poate duce la manifestări neașteptate, chiar neconștientizate, de cele mai multe ori, de victimă (agățarea de salvatori, lacrimi, proteste nejustificate, indiferență la toate eforturile salvatorilor, nereceptivitate la toate încurajările acestora sau chiar refuzul, din frică, la cooperare cu cei veniți să-i salveze, etc.). Oricine este aflat în centrul unui „dezastru” este victima unui stres psihic intens, raportat la spaimă, surprindere sau imposibilitatea de a „înțelege” ce s-a întâmplat. În plan emoțional, „spectacolul” morții celor apropiați, eventualul contact cu cadavrele lor, când este constrâns să supraviețuiască sub dărâmături sau blocat în epavele unor aeronave prăbușite, disperarea de a nu fi salvat, în ciuda tuturor apelurilor făcute, precum și convingerea iminenței decesului epuizează forțele și ruinează rezistența psiho-fizică;

- „implicații” care, fără să prezinte manifestări patologice în mod expres, nu sunt în starea lor normală. Fiind tulburați de prezența haosului, neliniștiți, în căutarea celor apropiați sau sperați de pierderea bunurilor personale, aceștia vor prezenta, mai târziu, „sechele post-traumatice” însoțite de coșmaruri, regresia curajului, marcate de amintirea experienței traumatizante trăite;

- „leziunea colectivă” (fenomene colective de agitație și panică), observată în catastrofele brutale, neașteptate, este o reacție deosebit de contagioasă și violentă, ce pune în pericol, de cele mai multe ori, operația militară. Consecințele unor astfel de „accidente” mobilizează toate conștiințele asupra unei preocupări urgente, de moment, care generează o deviere a comportamentelor de la schemele complementare de salvare și de ajutor reciproc,

generând impulsuri arhaice de fugă panicată, de agitație violentă, de inhibiție colectivă, sau de încremenire;

- „lovirea” sistemelor vitale care asigură supraviețuirea societății umane: sistemul de hrană; sistemul de alimentare cu apă potabilă; sistemul de sănătate publică; sistemul de învățământ și educație; sistemul de menținere a ordinii publice; sistemul de liberă circulație a persoanelor și bunurilor; sistemul de informare și comunicare, etc.

Salvarea „vieții” capătă valențe deosebite și trăiri intense, care solicită un consum mare de energie, încărcătura emoțională fiind foarte puternică. Tablourile dezolante sau macabre (număr mare de morți, desfigurați, răniți aflați în agonie, etc.), constatarea decesului sau rănirii unor cunoscuți care produc uneori așa-zisele „căderi nervoase”, duc în final la stări depresive, imposibilitatea de a acționa, neputință, accidente datorate scăderii atenției sau preciziei în executarea unor operațiuni. Aceste fapte impun realizarea cu responsabilitate a pregătirii psihice și fizice a efectivelor participante la astfel de misiuni.

*Efectul psihologic al acțiunilor teroriste* este deosebit de puternic, deoarece se poate genera următoarele efecte:

- deteriorarea funcțiilor cognitive ale psihicului, instaurarea unui sentiment profund de teamă și frică la gândul iminenței unor atentate teroriste;
- emoție dominată de frica de necunoscut;
- existența unui anumit „control” asupra indivizilor și mulțimilor de către „terorist” prin producerea (exploatarea) unor fenomene psiho-sociale;
- indivizii, grupurile și mulțimile supuse „terorii” sunt deturnate către acțiuni care nu sunt conforme cu propriile interese, motivații și voințe;
- este afectată normalitatea psiho-socială a „grupului”, producându-se deseori schimbări de judecăți, atitudini, credințe, cei speriați având o reacție excesivă și o atitudine de defetism;
- lipsiți de ajutor, au așteptări exagerate din partea celorlalți și o vulnerabilitate deosebită la dezamăgire.

Pentru aceasta, pot spune că, din punct de vedere psihologic, militarii implicați în operații multinaționale de stabilitate trebuie să dea dovadă de:

- neutralitate politică, impusă prin lege militarilor, ceea ce crează o echidistanță strict necesară și, totodată, compatibilitatea de a interveni în mod profesional și specializat;
- păstrarea stăpânirii de sine pentru a nu se lăsa dominat/ acaparat de emoție;
- consecvență în aplicarea și susținerea măsurilor specifice;
- solitudine în ascultarea cu multă răbdare și atenție a tuturor celor implicați, pentru soluționarea pașnică și operativă, fără violență, a diferendelor și pentru îndeplinirea misiunii militare;
- calități deosebite de negociator și mediator, etc.

Militarii români sunt recunoscuți de către comunitatea internațională ca parteneri de bază în efortul internațional pentru stingerea focarelor de conflict și intrarea în normalitate a vieții economico-sociale din regiunile afectate.

Militarii din cadrul F.A.R. au demonstrat că pot participa, în condiții foarte bune, la misiunile multinaționale, la nivelul standardelor cerute.

Executarea unor astfel de misiuni obligă efectivele participante să gândească mai mult, să dea dovadă de abilitate în acțiune și comunicare, să demonstreze că nu sunt „brute înarmate”, ci adevărați „soldați ai păcii”, în condițiile în care misiunile reale, indiferent de natura lor, reprezintă un test absolut necesar pentru un militar profesionist al secolului XXI.

**Asigurarea suportului psihologic al efectivelor din F.A.R.** participante la astfel de misiuni vizează trei momente distincte și trebuie să cuprindă o serie de activități specifice fiecărui moment. Cele trei momente sunt:

- **înainte de plecare în misiune** în teatre de operații multinaționale;
- **pe timpul executării misiunii** în teatre de operații multinaționale;
- **după întoarcerea din misiunea executată** în teatre de operații multinaționale.

### **Asigurarea suportului psihologic înainte de plecarea în misiune în teatre de operații militare multinaționale**

Înainte de plecarea în misiune, se vor desfășura un set de activități cu militarii din structurile Statului Major al Forțelor Aeriene care și-au exprimat dorința, prin rapoarte personale, să participe și au fost selecționați să facă parte din detașamente care urmează să execute misiuni multinaționale.

Activitățile specifice de suport psihologic care se vor desfășura ulterior încheierii procesului de selecție se vor executa sub coordonarea structurilor specializate de acțiuni psihologice desemnate, urmărindu-se specificul tipului de operație militară (misiunea) la care urmează să participe militarii detașamentului.

Imediat după constituirea detașamentului, militarii încep un program de instruire care cuprinde, pe lângă temele de pregătire militară generală, educație fizică, pregătire de specialitate și **programele de pregătire psihică „specifică”** pentru tipul de misiune la care urmează să participe. Aceste programe pot fi de: **sine stătătoare**, teoretice și practice, sau „**modulate**”, pe celelalte discipline de pregătire.

**Obiectivele** ce urmează a fi atinse în urma parcurgerii acestor programe de pregătire trebuie să urmărească următoarea ordine:

- întărirea și diversificarea structurii motivaționale a fiecărui militar, ce va constitui suportul tonusului moral general pe timpul îndeplinirii misiunii și al coeziunii militarilor detașamentului;
- cunoașterea și înțelegerea specificului local, a tradițiilor, a elementelor definitorii ale culturii și religiei din zona de dislocare și din cea de operații;
- cunoașterea istoricului conflictului (situației), a părților beligerante, a facțiunilor ostile și a celorlalte contingente naționale participante la misiune;
- cunoașterea prevederilor de bază ale legislației interne sau internaționale, ale tratatelor și înțelegerilor în baza cărora se desfășoară misiunea, ale regulilor concrete de angajare (funcție de specificul și locul de desfășurare al misiunii);
- cunoașterea factorilor de risc și a manifestărilor specifice stresului asociat acestor tipuri de misiuni;
- însușirea unor elemente de bază cu privire la managementul stresului;
- însușirea unor tehnici simple de negociere (în special pentru ofițeri și comandanți);
- întărirea coeziunii echipajelor, subunităților și a detașamentului;
- învățarea unor cuvinte și expresii de bază în limba vorbită de populația din zona de dislocare și de operații;
- automatizarea unor metode comportamentale, precum și a unor deprinderi indispensabile îndeplinirii cu succes a misiunilor ce vor trebui executate.

Un rol important în îndeplinirea obiectivelor amintite îl joacă studiile de țară sau de regiune (militare sau de cooperare civili-militari - CIMIC), care sunt prezentate participanților la misiunile multinaționale, în părțile ce-i privesc, de către echipe mobile de instructori din cadrul unor unități specializate (de operațiuni psihologice sau de cooperare civili-militari) în perioada de pregătire a misiunii, pe baza unor expuneri teoretice (elemente privind geografia, istoria și diversitatea culturală, specificul local și tradițiile, elementele definitorii ale culturii și

religiei din zona de operații, etc.), sau pe baza unor ședințe practice (de negocieri și medieri, sau de aplicarea regulilor de angajare).

În această etapă, militarilor li se prezintă „*Codul/Ghidul de conduită*” (**Code of conduct**) sau „*Regulile de comportament*” (**Rules of behaviour**), pentru teatrul de operații în care urmează să fie dislocați. Aceste documente, care sunt puse la dispoziția fiecărui militar din cadrul Forței Multinaționale, au la baza întocmirii lor studiile, evaluările și estimările efectuate de elemente specializate ale Forței, cu privire atât la zona de responsabilitate, cât și la zonele de interes ale acesteia.

Documentele pot fi realizate în formă grafică și text, nu sunt voluminoase, pot fi purtat în buzunar de către fiecare militar și cuprind într-o formă sintetizată principalele reguli și norme de conduită pe care militarii forței multinaționale trebuie să le respecte atât timp cât sunt dislocați în acea zonă de operații, precum și alte informații care sunt considerate a fi utile.

Activitățile de suport psihologic nemijlocit vor urmări îndeosebi: cunoașterea documentelor în baza cărora a fost instituită misiunea; conștientizarea personalului detașamentelor asupra importanței și specificului misiunii; diversificarea și amplificarea motivațiilor pentru participarea la misiune, dincolo de interesele materiale (financiare, în special); înțelegerea răspunderii ce le revin ca reprezentanți ai Statului Major al Forțelor Aeriene Române; cunoașterea riscurilor previzibile și a specificului zonei de dislocare și de operații; formarea deprinderilor necesare pentru a acționa oportun, în situații limită; cunoașterea tradițiilor și a obiceiurilor locale; identificarea elementelor distinctive ale altor armate participante la misiune; însușirea unor tehnici de confort și control psihomoral.

La acestea se adaugă instruirea privind asigurarea igienei personale și colective, protecția faunei și a florei, precum și a măsurilor ce trebuie luate în zonele ce nu oferă condiții civilizate de viață sau sunt greu accesibile.

### **Asigurarea suportului psihologic pe timpul executării misiunii în teatre de operații militare multinaționale**

Pe timpul executării misiunii, principalele activități sunt menite să asigure o bună coeziune și un moral ridicat, controlul și reducerea stresului. Aceste activități ar putea să fie:

- întărirea și menținerea coeziunii detașamentului;
- menținerea moralului detașamentului la un nivel ridicat;
- contracararea propagandei și acțiunilor ostile;
- managementul stresului și intervenția pentru reducerea acestuia, dacă este cazul, prin desfășurarea următoarelor activități:
  - realizarea unor emisiuni radio în țară (știri de ultimă oră din domeniile de interes, politică, muzică, sport, noutăți, etc.) special pentru militarii aflați în misiune și transmiterea acesteia către zona de dislocare a detașamentului;
  - asigurarea unor canale de comunicare rapidă și facilă a militarilor cu familiile din țară (servicii poștale, legături telefonice, etc.);
  - analiza organizațională și intervenția corectivă.

### **Asigurarea suportului psihologic după întoarcerea din misiuni executate în teatre de operații militare multinaționale**

După întoarcerea din misiune, este recomandat să se desfășoare un set de activități specifice care vizează în mod special: reacomodarea militarilor care au participat la misiune, reintegrarea lor familială și reinsertia profesională în unitatea din care au plecat; executarea unor controale medicale amănunțite; discuții de grup despre problemele întâmpinate și soluțiile care s-au adoptat pentru rezolvarea acestora; încurajarea implicării active a tuturor



militarilor participanți la misiune prin propuneri, soluții și împărtășirea experienței, pentru pregătirea mai bună a unor misiuni similare viitoare.

De asemenea, se va acorda o atenție deosebită recuperării militarilor care au prezentat pe parcursul misiunii sau prezintă la încheierea acesteia, după întoarcerea în țară, manifestări specifice tabloului clinic al unor tulburări psihice.

Integrarea armatei noastre în NATO presupune și participarea unui număr tot mai mare de militari români în misiuni militare internaționale, în teatre de operații precum sunt cele din Balcani, Afganistan, Irak și altele. Este cunoscut că războiul și câmpul de luptă, izolarea și depărtarea de cei dragi pot genera probleme de natură psihologică deosebit de complexe.

Deși unii dintre participanții la astfel de misiuni nu vor să recunoască sau le este greu să accepte că trăirile și sentimentele lor au suportat modificări, investigațiile întreprinse de specialiști, lecțiile învățate desprinse la încheierea fiecărei misiuni arată că numărul persoanelor cu afecțiuni psihice este semnificativ, suferințele psihice fiind, uneori, mai grele decât cele fizice, persoanele afectate constituindu-se în surse destabilizatoare ale grupurilor din care fac parte.

Dar, cel mai important este faptul că la încheierea misiunilor internaționale, **fiecare militar și familia acestuia** trebuie să parcurgă un program de recuperare psihofiziologică.

#### **Sfaturi pentru cei care se întorc acasă**

- Ia-o încetșor, nu încerca să compensezi cele șase luni de absență într-un singur weekend; prea multe activități desfășurate într-o singură zi măresc nivelul stresului.
- Petrece mai mult timp cu familia ta. Amână hobby-urile (vezi pescuitul), sau poate vei reuși să-i atragi și pe cei din familie să fie participanți sau martori.
- Ai grijă pe ce cheltuiești. Evită dorința de a fi cheltuitor și risipitor.
- Consumul de alcool sau de droguri să nu devină refugiu sau obișnuință.
- Stabilește-ți și delimitează foarte clar prioritățile profesionale de cele personale.
- Ai în atenție faptul că unele probleme apărute înaintea dislocării, probabil, continuă să se manifeste și că există posibilitatea instalării anxietății și a depresiei.

Prin urmare:

- dacă simptomele depresiei durează mai mult de două săptămâni, trebuie să te prezinți neapărat la specialist;
- lipsa poftei de mâncare și tulburările somnului, pentru perioade mai mari, reprezintă primele semne ale stresului post-traumatic;
- solicită neîntârziat consiliere de specialitate, dacă apare pericolul suicidar.

#### **BIBLIOGRAFIE:**

- \* \* \* - Doctrina pentru Operații Întrunite Multinaționale, Centrul Tehnic-Editorial al Armatei, București, 2001;
- \* \* \* - Regulamentul Acțiunilor Psihologice (Psi-1), Centru Tehnic-Editorial al Armatei, București, 1999;
- Bumbuș, D. – *Sprijinul psihologic în operații neconvenționale*, Editura Academiei de Înalte Studii Militare, București, 2003;
- Bumbuș, D. – *Asigurarea sprijinului psihologic al efectivelor care participă la acțiuni militare altele decât războiul*, Buletinul Academiei de Înalte Studii Militare Nr. 4, Editura Academiei de Înalte Studii Militare, București, 2001.

---

\* Lt.col.asist.univ. Dumitru DINU, Accademia Forțelor Aeriene, “Henri Coandă”, Brașov

## **HIPOXIA DE ALTITUDINE: REACȚII LA NIVELUL ORGANISMULUI ȘI EFECTE GENERATE ASUPRA PERFORMANȚELOR PROFESIONALE ALE PILOȚILOR MILITARI**

Daniel HURUBEAN\*

### **ASPECTE GENERALE**

Fiecare celulă vie din organism, trebuie să primească în permanență oxigenul necesar metabolismului propriu și să elimine dioxidul de carbon pe care acesta îl produce. Acest proces este asigurat prin funcția respiratorie.

Organismul funcționează printr-un sistem de schimb de gaze, care comportă 3 etape: ventilația, circulația și schimburile tisulare. Mecanismele puse în joc sunt active: convecția ventilatorie și circulatorie, și pasive: difuzia tisulară. Debitele de gaze schimbate cu mediul ambiant trebuie să satisfacă cererile energetice, ceea ce implică o capacitate de adaptare aplicată regimului de funcționare a întregului sistem. În termeni cantitativi, aprovizionarea cu oxigen este măsurată prin presiunea sa parțială (P<sub>IO<sub>2</sub></sub>) care reprezintă aproximativ numărul de molecule de oxigen disponibil în unitatea de volum.

Conform legii lui Dalton, într-un amestec de gaze, presiunea totală este egală cu suma presiunilor parțiale a gazelor ce compun amestecul, cunoscând presiunea aerului (760mmHg la niv. mării) și volumul procentual al oxigenului (21%), se poate calcula presiunea parțială a oxigenului în aer, după formula:

$$P \text{ oxigenului} = (760 \times 21) : 100 = 160 \text{ mmHg}$$

Altitudine (metri)	Presiunea barometrică (mmHg)	Pres. parțială a O <sub>2</sub> (mmHg)
0	760	159,2
2500	565	118,3
4500	429	89,9
5500	380	79,5
6100	350	73,4
6700	321	67,2
7600	282	59,1

## CLASIFICAREA HIPOXIEI

P. Dejours a propus o clasificare a diferitelor stări de hipoxie în funcție de cauzele de apariție. Această clasificare distinge clar mecanismele care pot fi implicate la fiecare nivel al sistemului de schimburi de gaze. În primele 5 tipuri de hipoxie, presiunea parțială a oxigenului din sângele arterial și saturația hemoglobinei sunt scăzute, iar aceste stări sunt în mod obișnuit atribuite hipoxiei hipoxice și hipoxemice. Aceste tipuri de hipoxii sunt: hipoxia prin scăderea presiunii parțiale a oxigenului, hipoxia prin hipoventilația alveolară, hipoxia prin perturbarea raportului dintre ventilație și perfuzie, hipoxia prin perturbarea difuziunii oxigenului, hipoxia prin contaminare venoasă, hipoxia hemoglobinică, hipoxia prin ischemie, hipoxia tisulară prin edem, hipoxia tisulară histotoxică, hipoxia tisulară prin utilizare excesivă.

### Pragurile de reacție cauzate de hipoxie

Metri	Praguri	Presiunea oxigenului atm.	HbO2 (%)	Denumire
6700	Prag critic	67	< 65	Zona mortală
		101	65-86	Zona compensării incomplete
3600	Prag de tulburari	129	86-98	Zona compensării complete
2100	Prag de reacție	160	96-98	Zona indiferentă

**Zona indiferentă:** măsurată de la nivelul mării (0) până la aproximativ 2100 m. În această zonă, deși presiunea oxigenului scade în aer și implicit în aerul din alveole, gradul de saturare cu oxigen al Hb scade nesemnificativ, utilizarea de către țesuturi a oxigenului rămânând optimă. Singura modificare se manifestă la aproximativ 1500 m, tradusă prin scăderea capacității vizuale nocturne. Pragul de reacție, se manifestă la o înălțime de aproximativ 2100 m, materializată prin adaptarea fiziologică a respirației și circulației, ca răspuns de apărare împotriva efectelor hipoxiei. Aceasta adaptare se produce până la aproximativ 3600 m și de aceea, zona cuprinsă între 0-3600 m se numește zona de compensare completă.

**Zona de compensare completă:** aici apare creșterea frecvenței cardiace, a numărului de respirații pe minut, a tensiunii arteriale. În funcție de toleranța individuală pot apărea oboseala, iritabilitatea, diminuarea capacității de judecată și atenție sau chiar afectarea moderată a coordonării musculare. Pragul de apariție a tulburărilor, este situat la circa 3600 m și marchează limita la care mecanismele de compensare fiziologică încep să devină inefficiente.

**Zona de compensare incompletă:** manifestările hipoxiei nu mai pot fi prevenite fără un echipament ce asigură aportul suplimentar de oxigen. Subiectiv, personalul navigant acuză dureri de cap, oboseală, somnolență, amețeală, foame de aer, euforie. Pragul critic se atinge la 6700 m. De la acest nivel, mecanismele compensatorii sunt total depășite.

**Zona critică sau zona mortală,** incapacitatea mentală și fizică este aproape completă, conducând spre pierderea rapidă a conștienței, apariția de convulsii și în final, insuficiența respiratorie și moartea.

**Manifestări clinice generate de hipoxie în condiții de laborator**

<b>SIMPTOMELE HIPOXIEI</b>	
<b>Observator</b>	<b>Persoana supusa hipoxiei</b>
<b>Mental:</b>	<b>Mental:</b>
Euforie	Euforie
Performanțe scăzute	Performanțe bune
Confuzie	
Judecata afectată	
<b>Fiziologic:</b>	<b>Fiziologic:</b>
Amplificarea respirației	Amețelă
Coordonare slabă	Greață
Stare de inconștiență	Dureri de cap
	Furnicături
<b>Comportamental:</b>	
Agresivitate	
	<b>Vizual:</b>
	Vedere neclară
	Reducerea câmpului vizual
	periferic

În condiții de laborator, efectele date de hipoxie sunt diferit percepute de către observator și persoana supusa hipoxiei. Manifestările cele mai evidente sunt cele de la nivel mental și comportamental.

### **EFECTELE HIPOXIEI MANIFESTATE LA NIVELUL APARATELOR ȘI SISTEMELOR ORGANISMULUI UMAN**

#### **Efectele hipoxiei asupra funcției respiratorii**

Scăderea presiunii barometrice  $P_b$  la altitudine antrenează diminuarea presiunii parțiale inspiratorie de oxigen și a presiunii parțiale alveolare a oxigenului, deci cea a presiunii parțiale de oxigen a sângelui arterial. Hipoxia antrenează o stimulare a chemoreceptorilor arteriali, carotidieni și aortici, a căror creștere a transmiterii potențialelor de acțiune antrenează o creștere a ventilației. De fapt, stimularea hipoxică a chemoreceptorilor nu începe să provoace o hiperventilare semnificativă decât în momentul în care presiunea parțială a oxigenului din sângele arterial devine mai mică decât 75mmHg, valoare întâlnită la pacientul sănătos care se află la o altitudine de 2500 m. Acest fapt explică absența reacției ventilatorii până la o altitudine de 2000-2500 m, pragul apariției unei hiperventilări care crește progresiv în funcție de altitudine.

Creșterea ventilației pulmonare în funcție de atitudine, la un subiect care respiră aer și a cărui hipocapnie nu este compensată

Altitudine ( metri)	Creșterea ventilației ( în procente )
1500	0
3000	4
4000	14
5000	24
6000	33
7000	50

Hipocapnia indusă prin hiperventilație reduce diferența presiunii parțiale a oxigenului dintre aerul inspirat și gazul alveolar, diminuând răspunsul hiperventilatoriu la hipoxie. În ceea ce privește rolul hipocapniei asupra comenzii de ventilare, stimularea chemoreceptorilor arteriali și centrali de către dioxidul de carbon este mediată în primul rând de sensibilitatea la pH-ul sângelui arterial și de lichidul cefalo-rahidian și lichidul interstițial cerebral în al doilea rând.

#### **Acțiunea hipoxiei asupra funcției cardio-vasculare**

Hipoxia provoacă o creștere a frecvenței cardiace, care apare între 1500 și 2000 metri. În timpul repausului, frecvența cardiacă crește cu aproximativ 10% la 3000 m, cu 15% la 4500 m și cu 25% la 6000 m. Însă chiar în timpul unei stări hipoxice foarte severe, frecvența cardiacă nu atinge niciodată valori foarte ridicate, rămânând limitată la o valoare de 130 b/min. Debitul cardiac crește în timpul repausului sub efectul hipoxiei și în timpul exercițiului fizic, creșterea sa fiind mult mai mare la altitudine decât la nivelul mării. Electrocardiograma, în afara creșterii frecvenței, arată tulburări de ritm, extrasistole ventriculare și rar atriale. În același timp poate fi remarcată o deviație a axului electric la dreapta, proporțională cu altitudinea, o applatizare sau o inversare a undei T și o reducere a segmentului ST.

#### **Acțiunea hipoxiei asupra sistemului nervos**

Efectele hipoxiei asupra sistemului nervos sunt dominate de afectarea precoce a cortexului. În concluzie, dintre toate țesuturile organismului, țesutul nervos este cel care suportă cel mai puțin bine lipsa de oxigen. De exemplu, țesutul cartilajinos este capabil să suporte, fără a fi afectat, mai multe ore de anoxie completă. Țesutul nervos nu suportă anoxia decât câteva minute, cu modificarea funcționării celulare și cu tulburări la toate nivelele funcționării sistemului nervos central: neuromuscular, timic și cognitiv. Degradarea judecății provocată de hipoxie, face ca această situație să fie foarte periculoasă în aeronautică. În condiții speciale de expunere la altitudine, în aeronautică putem vorbi de hipoxie hipocapnică.

Hipoxia se traduce și prin tulburări la nivelul comportamentului. Uneori aceste tulburări se exprimă sub o formă apropiată de beția alcoolică. Subiectul hipoxic trece printr-o fază de euforie, cu senzație de forță și autosatisfacție care poate să-l conducă spre acte dezordonate sau absurde. Frecvent, hipoxia se traduce sub forma depresiei, însoțită de modificări de tonus: pacientul care era hilar mai devreme, poate deveni morocanos și certăreț, chiar combativ și periculos. Aceste schimbări de comportament sunt ignorate de către

subiectul care își pierde complet judecata și autocritica. El poate avea de asemenea senzația că judecata sa este perfect clară, deși el întreprinde acțiuni lipsite de logică și împotriva propriei securități. În egală măsură s-au observat pierderi de atenție și de memorie care agravează consecințele necoordonării neuromusculare.

### Acțiunea hipoxiei asupra motricității

Hipoxia provoacă asupra masei musculare o prelungire a duratei și amplitudinii contracției, o prelungire a perioadei refractare și o diminuare a excitabilității. După o ușoară exagerare a reflexelor tendinoase, observată între 2000-2500 m, urmează o diminuare a reflexelor până la aproximativ 6000 m. Dincolo de această altitudine, acestea se accentuează din nou.

Dintre numeroasele teste de rezistență la hipoxie amintim: testul Omega, testul scrierii, peg-moving-test. De menționat că testul scrierii este un excelent test cu privire la pierderea judecății, subiectul fiind ignorant în ceea ce privește deformarea scrierii lui, considerându-l firesc.

### Modificarea textului scris sub acțiunea hipoxiei cerebrale

TEMPS (min)	1000	111	115	117	116	115	114	113
	112	111	110	109	108	107	106	105
	104	103	102	101	100	99	98	97
0 -	96	95	94	93	92	91	90	89
	88	87	86	85	84	83	82	81
	80	79	78	77	76	75	74	73
1 -	72	71	70	69	68	67	66	65
	64	63	62	61	60	59	58	57
	56	55	54	53	52	51	50	49
2 -	48	47	46	45	44	43	42	41
	40	39	38	37	36	35	34	33
	32	31	30	29	28	27	26	25
3 -	24	23	22	21	20	19	18	17
	16	15	14	13	12	11	10	9
4 -	8	7	6	5	4	3	2	1
	0							
5 -								
6 -								



## TOLERANTA LA ALTITUDINE ÎN FUNCȚIE DE TIMP. TIMPI DE AUTOSALVARE

Hipoxia care intervine după o pierdere a presurizării cabinei sau după întreruperea alimentării cu oxigen, se traduce printr-o înlănțuire de simptomatologii în funcție de timpul scurs. Plecând de la momentul accidentului pot fi distinse: o fază de indiferență, în cursul căreia organismul nu este afectat, apoi urmează o fază de compensare completă, în timpul căreia reacțiile organismului reușesc să compenseze hipoxia, urmată de o fază de compensare incompletă, în timpul căreia simptomul dat de hipoxie se manifestă suficient de grav încât să pună pilotul în incapacitate de execuție, urmând ulterior pierderea conștienței. Aceste faze se succed rapid una după alta, la altitudini mari fiind de ordinul secundelor.

### Timpii de conștiență utilă după decompresia rapidă

Altitudine ( metri )	Subiectul inhaleaza oxigen		Subiectul inhaleaza aer	
	repaus	activitate moderată	repaus	activitate moderată
7000	10 min	5 min	5 min	2 min ½
8000	5 min	2 min ½	2 min	1 min
8500	2 min ½	1 min	1 min	30 s
9000	1 min ½	45 s	45 s	20 s
10500	45 s	30 s	30 s	15 s
12000	30 s	20 s	20 s	15 s
13500	15 s	12 s	15 s	12 s
16000	15 s	12 s	15 s	12 s
20000	12 s	12 s	12 s	12 s

Acești timpi reprezintă timpii de autosalvare pe care îi are pilotul la dispoziție după survenirea accidentului, pentru luarea măsurilor necesare corectiei și salvării.

### BIBLIOGRAFIE:

- [1] J. Colin, J Timbal – *Medecine Aerospatiale*, Expansion Scientifique Publication, 1999
- [2] Marian Macri, Constantin Raduica – *Curs de medicină aerospațială*, Editura Militara
- [3] Bert P. – *La pression barometrique. Recherches de physiologie experimentale*. Masson, Paris, 1979.
- [4] Brendel W., Zink R.A. – *High altitude physiology and medicine*. New-York, Springer-Verlag, 1982

- [5] Dejours P. – *Physiologie de la respiration*. Paris, Flammarion Medecine-Sciences, 1982
- [6] Green R.G., Morgan D.R. – *The effects of mild hypoxia on a logical reasoning task*. Aviat. Sp. Environm. Med., 1985
- [7] Sheffield P.J., Heimbach R.D – *Respiratory physiology*. In: *Fundamentals of Aerospace Medecine*. Philadelphia, DeHart, Lea&zfebiger, 1985

---

\* Cpt.medic Drd. Daniel HURUBEAN, Academia Fortelor Aeriene “Henri Coanda”, Brasov

## ACADEMIA FORȚELOR AERIENE “HENRI COANDĂ” – PREZENT ȘI PERSPECTIVĂ

Gabriel-Florin MOISESCU\*

**Abstract:** *The continuous preparation and the permanent adjustment are two concepts linked together by a determinative relationship: the former represents the cause while the latter is the effect. Only by developing an activity of continuous preparation can we permanently adapt to the requirements and exigency of the national and European university-leveled education.*

Cunoașterea și educația de calitate constituie temelia pe care se clădește viitoarea societate, unul din criteriile specifice progresului umanității și, totodată, forța care dă putere oamenilor să se ridice la nivelul provocărilor de ordin social, cultural, economic și tehnologic cu care se confruntă zilnic.

Un proces instructiv-educativ modern cere profesori de cea mai bună calitate, iar cei ce realizează managementul procesului educațional universitar militar sunt pe deplin conștienți de rolul pe care cadrele didactice, profesori și instructori, îl au în transmiterea cunoștințelor, în formarea deprinderilor și competențelor și, ca atare, încearcă să promoveze și să dezvolte programe menite să le ajute să-și îndeplinească rolul, să se perfecționeze continuu, să se atingă dezideratul maximizării rezultatelor studenților.

Ridicarea standardelor educației într-o academie militară depinde într-o bună măsură de modul de realizare a procesului de selecție a celor ce acced în instituția militară de învățământ superior, dar mai ales, de calitatea profesorilor, instructorilor și a celorlalte categorii de personal participante la actul educațional promovat în cadrul instituției.

### **Ce este educația?**

Etapa integrării depline în N.A.T.O. și în Uniunea Europeană va reprezenta, printre altele, îndeplinirea obiectivelor pe termen mediu ale procesului de transformare, care, din perspectivă educațională universitară vor presupune, prin organizarea sistemului și structura planurilor de învățământ și programelor analitice, asigurarea formării competențelor și capacităților necesare atât pentru exercitarea performantă a profesiei militare, cât și pentru integrarea ușoară în viața societății civile.

În acest context, Consiliul European de la Lisabona din martie 2000, a recunoscut rolul deosebit de important al educației, ca parte integrantă a politicilor sociale și economice și a subliniat ideea că dezvoltarea unui sistem de educație și formare profesională de calitate reprezintă obiectivul strategic al anului 2010, în devenirea Uniunii Europene, ca cea mai dinamică economie bazată pe cunoaștere din întreaga lume.

Actualmente, sistemul românesc de educație și formare profesională este în mijlocul schimbărilor și tranziției către economia și societatea bazată pe cunoaștere, dar, totodată, se impune adaptarea lui permanentă.

Alinierea conținutului învățământului din Academia Forțelor Aeriene la cerințele și standardele Uniunii Europene și ale N.A.T.O. pornește de la ideea că patruleterul – educație, instituția militară academică, programe de studii, beneficiarii direcți ai educației – trebuie să genereze atractivitate, competitivitate, performanță și finalități proactive, în conformitate cu nevoile reale exprimate de beneficiari și cu așteptările aliaților.

Pornind de la mesajele cheie ale Memorandului Comisiei Europene privind învățarea pe tot parcursul vieții și, îndeosebi, cele referitoare la „realizarea unor investiții superioare în resursele umane”, „încurajarea inovației în predare și învățare”, „valorizarea învățării”, și „regândirea

orientării și consilierii” să abordăm câteva concepte specifice actului formativ-educativ promovate în instituția noastră, care își propune ca la finele anului universitar 2012 să atingă standarde superioare în pregătirea absolvenților.

Educația reprezintă un fenomen social, apărut de la începuturile omenirii, prin care generațiile adulte transmit noii generații experiența lor practică și de cunoaștere, asigurând, astfel, continuitatea și progresul vieții sociale.

Din multitudinea de definiții, vechi și noi, ale educației, multe sunt orientate spre funcția socială a acesteia; ea are ca obiectiv să provoace și să dezvolte la individ un număr oarecare de stări fizice, intelectuale și morale pe care le reclamă de la el atât societatea politică în ansamblul ei, cât și mediul special căruia îi este cu deosebire destinat.<sup>1</sup>

Unii specialiști în domeniu sunt de părere că educația trebuie înțeleasă ca o experiență de viață, iar, din această perspectivă, cea mai bună definiție în momentul actual și care se potrivește punctului nostru de vedere ar fi următoarea: „Educația este o experiență socială, în contact cu care individul se descoperă, îmbogățește raporturile sale cu ceilalți dobândește bazele cunoașterii și acțiunii.”<sup>2</sup>

Există și alte moduri de a defini educația, însă, fără a putea cuprinde multitudinea lor, le menționăm pe cele considerate a fi mai importante de către pedagogii contemporani<sup>3</sup>:

- educația este un fenomen specific uman; numai omul dispune de potențialul nativ care face posibilă educația și permite umanizarea ;
- este un proces de dezvoltare globală, adică pe toate laturile personalității individului;
- este un proces continuu, desfășurat pe parcursul întregii vieți a individului;
- este un proces bipolar, implicând interrelația dintre factorii de educare și cei supuși influenței educative. Această interrelație presupune reciprocitate, chiar dacă rolurile diferă fundamental, fiind asimetrice.

Din perspectiva carierei, educația profesională reprezintă un ansamblu de activități pedagogice organizate, care-l pregătește pe individ pentru succesul în viața profesională, centrată mai ales pe formarea lui în spiritul unei etici a muncii, bazată pe profesionalism, responsabilitate, cooperare și competiție.

În pedagogia actuală termenul de educație este deseori substituit cu conceptul de **formare**, în două moduri relevante: fie în sensul de educație ca proces, fie în sensul de rezultat al educației. El reprezintă, într-un sens destul de larg, pregătirea tinerei generații pentru viață, pentru viitoarea profesie și continuarea acesteia pe parcursul vieții.

Orientându-ne asupra formării profesionale a indivizilor într-un anumit domeniu, aceasta reprezintă pregătirea inițială a cadrelor necesare pentru acel domeniu, care se realizează prin structuri instituționale, programe și strategii pedagogice, perfecționarea acestei pregătiri durează pe parcursul întregii vieți profesionale.

Încercând să sintetizăm, considerăm că EDUCAȚIA individului în Forțele Aeriene reprezintă un proces de dezvoltare generală și continuă, ce urmărește formarea intelectuală și profesională a tinerilor în spiritul responsabilității, profesionalismului și cooperării.

Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” este o instituție de învățământ superior militar, continuatoarea tradițiilor educaționale a mai multor instituții de învățământ ce au funcționat de-a lungul timpului, cu o istorie de peste 96 de ani.

Educația în această instituție de învățământ superior din Forțele Aeriene este orientată pe pregătirea universitară a tinerilor studenți, precum și pe pregătirea profesională inițială a viitorilor ofițeri aviatori, artileriști și rachetiști antiaerieni, radiolocatoriști, în raport cu solicitările și comanda beneficiarilor din Ministerul Apărării, Ministerului Internelor și Reformelor Administrative, etc..

Cu alte cuvinte, Academia asigură educarea globală a unui tânăr licențiat în „Managementul organizației”, domeniul „Științe Militare și Informații” și formarea sa inițială, modelarea unui produs profesionist generator de securitate națională și euroatlantică.

<sup>1</sup> Mircea Ștefan – Lexicon Pedagogic, Editura Aramis, București, 2006, p. 99;

<sup>2</sup> Conf. J.Delors în Lexicon Pedagogic, Editura Aramis, București, 2006, p. 99;

<sup>3</sup> Mircea Ștefan – Lexicon Pedagogic, Editura Aramis, București, 2006, p. 99.

Pornind de la acest statut, de la misiunea pe care o are învățământul din Academia Forțelor Aeriene, planurile și programele, celelalte documente de învățământ, cu alte cuvinte curriculumul educațional, se impune a fi elaborate în acord total cu nevoile specifice de pregătire a ofițerilor din Forțele Aeriene, a celorlalți beneficiari, dar cu respectarea reglementărilor naționale în domeniu și corelate cu cerințele U.E. și ale N.A.T.O., precum și cu cele ale Organizației Internaționale a Aviației Civile, pentru compatibilizarea întregului învățământ cu conținutul, metodele și procedurile de instruire existente în armata țărilor aliate.

În acest context, prioritatea instituției noastre o reprezintă realizarea unei concordanțe depline între domeniul de licență, conținutul propriu zis al învățământului universitar și modelul absolventului Academiei Forțelor Aeriene, prin realizarea unei instruiți corelate cu standardele euroatlantice, dar și cu nevoile specifice structurilor operaționale ale Forțelor Aeriene și ale celorlalți beneficiari, pe aeronave și echipamente militare moderne, prin însușirea procedurilor și tehnicilor de luptă comune, inclusiv prin formarea unui sistem de gândire și a unei mentalități compatibile cu cele ale partenerilor de alianță.

### **Cine suntem și ce am realizat?**

În acest moment Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” este o instituție militară de învățământ superior, parte a sistemului național de învățământ, care funcționează în baza prevederilor legale specifice domeniilor de activitate, care respectă și promovează convențiile europene și recomandările Uniunii Europene privitoare în statutul instituțiilor de învățământ superior.

Obiectivul fundamental al activităților de învățământ în Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, instituție acreditată prin Hotărârea de Guvern nr. 410/25.04.2002, îl constituie formarea ofițerilor licențiați în domeniul „Științe Militare și Informații”, specializarea „Managementul organizației” pentru studenții de la cursurile de zi și fără frecvență, pentru Forțelor Aeriene și alți beneficiari interni, continuarea implementării standardelor, procedurilor și tehnologiilor de instruire și evaluare ale armatelor partenere ale alianței, devansarea prin aria curriculară a transformărilor și schimbărilor care se produc la nivelul structurilor operaționale ale Forțelor Aeriene.

Organizarea învățământului în Academia noastră este analizată astfel încât curriculum-ul universitar să respecte standardele de acreditare universitară, „Conceptia de formare, dezvoltare profesională și utilizare a ofițerilor din Armata României” și „Modelul absolventului”, susținute prin obiective didactice generale și operaționale, cuprinse în planurile de învățământ și programele analitice.

Planurile de învățământ, aprobate de eșaloanele în drept, sunt valabile pentru seriile de studenți în curs de școlarizare și cuprind discipline fundamentale, discipline de specialitate în domeniu – specialitățile „Pilot pe avion cu motor reactiv”, „Pilot pe elicopter”, „Controlor trafic aerian operațional”, „Artilerie și rachete sol-aer”, „Artilerie și rachete antiaeriene”, cu durata școlarizării de 3 ani (180 de credite transferabile) – și discipline complementare, grupate la rândul lor în discipline obligatorii, opționale și facultative, în conformitate cu cerințele normative stabilite la nivel național.

Disciplinele de studiu și conținuturile de învățământ asigură articularea rațional-pragmatică a categoriilor de pregătire și corespund profilului și specializării viitorilor ofițeri. Ele sunt prevăzute într-o succesiune logică și au în vedere definirea și delimitarea precisă a competențelor generale și de specialitate, compatibilitatea cu domeniul și specializarea pentru studii universitare de licență, precum și cu nevoile și prioritățile de formare în specialitățile militare specifice.

Ponderea fiecărei categorii de pregătire în totalul activităților didactice, precum și disciplinele pe baza cărora se îndeplinesc obiectivele didactice generale, sunt stabilite în concordanță cu standardele naționale de evaluare academică, adaptate la specificul instituțiilor de învățământ superior militar.

Managementul resurselor umane participante la procesul de învățământ vizează, în primul rând, asigurarea acoperirii disciplinelor din planurile de învățământ cu personal didactic de specialitate, stabilirea perspectivei reale în carieră a cadrelor didactice, sprijinul acestora în vederea pregătirii continue, creșterea participării profesorilor și studenților la activitățile extracademice și la cele cu caracter internațional, tot ce este posibil a fi făcut pentru creșterea performanțelor studențești.

Posturile didactice universitare legal constituite sunt acoperite în totalitate cu cadre didactice universitare, din care 45,4% sunt încadrate cu conferențieri și profesori universitari.

Majoritatea cadrelor didactice continuă să-și perfecționeze propria pregătire prin doctorat, cursuri postuniversitare, lucrări de cercetare și participări la sesiuni de comunicări științifice naționale și internaționale.

Dinamica cifrei de școlarizare este în creștere, iar conducerea academică se preocupă pentru promovarea imaginii instituției, precum și pentru motivarea adecvată a studenților.

În prezent, activitatea de cercetare științifică a cadrelor didactice se axează, în principal, pe participarea la competiția de granturi, elaborarea de manuale, cursuri interne și publicații de specialitate, obținerea de titluri științifice, îmbunătățiri ale procesului de învățământ și ale bazei materiale a acestuia.

Continuă editarea revistei Academiei Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, revistă de informare științifică de categoria B, cu șanse de trecere la categoria B<sup>+</sup>, cu apariție semestrială, în care sunt publicate rezultatele notabile ale cercetării științifice efectuate de cadrele didactice și studenții instituției noastre. Începând cu semestrul al –II-lea a acestui an universitar, a apărut și revista „Noi”, revistă a studenților, cu o frecvență de apariție de trei ori pe an.

Ca urmare a nivelului științific ridicat al lucrărilor publicate și a demersurilor efectuate, editura academiei a fost recunoscută de către Consiliul Național al Cercetării Științifice în Învățământul Superior.

Academia dispune de spații de învățământ și cercetare care corespund domeniului și specializării pentru studii universitare de licență, de spații destinate cazării studenților și cursanților, de spații destinate activităților sociale, culturale și sportive.

S-a avut permanent în atenție dotarea cu aparatură și dispozitive moderne a laboratoarelor și sălilor de specialitate, completarea fondului de carte a bibliotecilor universitare, asigurarea pieselor și materialelor necesare funcționării în bune condiții a laboratoarelor și sălilor de specialitate, realizarea de machete, montaje, panoplii, planșe pentru dotarea cabinetelor, dotarea spațiilor de învățământ cu tehnică de calcul, conform cerințelor, dezvoltarea bazei sportive a Academiei și modernizarea condițiilor de lucru în Tabăra de instrucție.

### **Ce ne propunem să realizăm?**

Concepția reorganizării învățământului din Ministerul Apărării se apropie de final, iar Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” se pregătește să fie inspectată în vederea reacreditării.

În speranța că vom încheia cu bine și acest an universitar, nu putem să uităm emoțiile ce ne-au stăpânit în ultimii ani din perspectiva continuității funcționalității instituției noastre. În consecință, ne propunem ca Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” să devină mai puternică, mai modernă, mai bine adaptată la cerințele și exigențele comenzii sociale, precum și ale învățământului național și european.

Obiectivul primordial de perspectivă în formarea viitorului absolvent se prezintă oarecum diferit întrucât se va urmări ca în cadrul ciclului de studii universitare de licență să li se ofere cunoștințe științifice solide, în vederea atingerii nivelului de cunoaștere necesar pentru a putea continua formarea în cadrul studiilor de masterat, precum și competențe și aptitudini practice solicitate de beneficiari și considerate ca fiind necesare și suficiente pentru ocuparea primei funcții de ofițer.

Una din principalele preocupări ale managementului academic, în dorința de a ne asigura progresul și stabilitatea instituțională, va fi de a dezvolta oferta educațională, atât pentru mediul



militar românesc și străin, cât și pentru mediul civil național. În acest sens, intenționăm să dobândim autorizarea provizorie de funcționare și, ulterior acreditarea pentru încă două noi specializări:

- pentru absolvenții piloți – specializarea „Managementul aeronautic”;
- pentru aviatorii nenaviganți și radiolocatorști – specializarea „Managementul traficului aerian”, atât pe filieră militară, cât și pe filieră civilă, în colaborare cu Școala de Aviație Băneasa.

În speranța unei colaborări fructuoase cu instituția mai sus menționată, dar și cu alți parteneri civili, dorim să înființăm cel puțin o facultate, structură de bază a oricărei universități și academii, la nevoie două, una cu orientare militară, iar cea de-a doua civilă.

Un alt obiectiv prioritar în domeniul funcționalității instituției îl reprezintă înființarea în academie a studiilor universitare de masterat cu durata de 2 ani, în domeniul „Managementului spațiului aerian”, susținut de un proces continuu de recrutare și promovare de cadre didactice cu titluri universitare de conferențiar și profesor, competente în domeniul studiilor de masterat.

Tot din perspectiva educațională intenționăm ca, până în anul 2010, să adoptăm o serie de sisteme de pregătire E-learning, ca procedee moderne de extindere a formelor de organizare și desfășurare a procesului educațional și tot până în acel an să acredităm Centrul de Cercetare Științifică pentru specializarea „Managementul organizației”.

Managementul resurselor umane, angajate în procesul educațional și de cercetare științifică, va urmări promovarea unei politici care să atragă personal didactic de perspectivă, să încurajeze excelența, evoluția profesională, atașamentul și loialitatea față de instituție.

În intenția de a transforma „Catedra de Specialitate și Instrucție Militară” într-o catedră universitară, intenționăm să sprijinim pregătirea prin doctorat a cât mai multor instructori, dar și să selecționăm și să promovăm ofițeri cu experiență din unități operaționale, dar mai ales, dintre cei care au participat la misiuni în teatrele de operații.

Trebuie să fim convinși că deficitul de ofițeri tineri nu poate fi soluționat adecvat prin formarea acestora pe filiera indirectă, așa că ne așteptăm să fim sprijiniți spre a crește dinamica cifrei de școlarizare în instituția noastră.

În scopul unei selecții cât mai bune la admitere intenționăm să promovăm în mod activ imaginea Academiei Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, să oferim condiții cât mai bune de studiu și de formare profesională pentru cei care se pregătesc aici.

Conducerea academiei va avea în atenție și va acționa pentru consolidarea logisticii, a nivelului de asigurare financiară, pentru dezvoltarea relațiilor de colaborare inter-universitară și cu societatea civilă, necesare atât creșterii calității învățământului și cercetării științifice precum și a prestigiului național și internațional al academiei.

În acest sens, se va urmări proiectarea unei noi infrastructuri a rețelei de calculatoare care să conducă, până în anul 2009, la definitivarea informatizării procesului educațional în academie, dezvoltarea sistemelor INTERNET și INTRANET, modernizarea bazei materiale a învățământului în concordanță cu tendințele tehnologice și ergonomice existente.

Se va avea în atenție modernizarea editurii și tipografiei, precum și relocarea, reorganizarea și modernizarea bibliotecii universitare, inclusiv prin dezvoltarea bibliotecii virtuale, toate menite să satisfacă cât mai bine solicitările utilizatorilor și beneficiarilor.

Acestea sunt doar o parte din coordonatele strategice pe care urmărim să acționăm în perspectivă, în organizarea și derularea procesului educațional în Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, coordonate care vor urmări să mențină cu succes instituția noastră pe firmamentul învățământului universitar românesc și internațional, care să consolideze renumele câștigat în cei 13 ani de existență.

În cele menționate mai sus, am operat cu două concepte, pregătirea continuă și adaptarea permanentă, între care apreciem că există o relație deterministă, primul reprezentând cauza, iar cel de-al doilea efectul. Numai printr-o pregătire continuă ne putem adapta în permanență la cerințele și exigențele învățământului universitar național și european. Dar, performanța cere, din punctul

nostru de vedere, și mai mult, întrucât, dacă durata de adaptare este mare, va crește direct proporțional și clivajul dintre ceea ce se cere și ceea ce putem oferi.

Care ar fi soluția de adoptat în această situație ?

Apreciem că atingerea și menținerea nivelului de performanță cerut, nu se poate face decât printr-o acțiune concertată, desfășurată de toți membri comunității academice, în direcția pregătirii continue a personalului coroborată cu acțiuni menite să scurteze timpul destinat componentelor adaptării, asimilarea și acomodarea și implicit întregului proces al adaptării.

Dar conceptele trebuie transpuse în practică, cu oamenii și pentru oameni!

## **BIBLIOGRAFIE:**

Mircea Ștefan – Lexicon Pedagogic, Editura Aramis, București, 2006;

\* \* \* - Gândirea Militară Românească, Revistă de teorie și știință militară editată de Statul Major General al Armatei României, Nr. 5/2007;

\* \* \* - Gândirea Militară Românească, Revistă de teorie și știință militară editată de Statul Major General al Armatei României, Nr. 3/2007;

\* \* \* – Revista Academiei Forțelor Terestre, Editura Academiei Forțelor Terestre, Sibiu, Nr. 1/2007.

---

\* Cdor.prof.univ.dr. Gabriel-Florin MOISESCU, Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă", Brașov

## APARITIA, DEZVOLTAREA SI PRINCIPALELE CONCEPTE CARE AU GUVERNAT AERONAUTICA ROMÂNĂ

Marius-Adrian NICOARA \*

În viziunea românească interbelică, aeronautica cuprindea următoarele arme și specialități militare: aviație, artilerie antiaeriană, apărare pasivă, parașutiștii, geniul și transmisiunile aeronautice, logistică și trupă.

Conform documentelor timpului și teoriei artei militare interbelice române, această categorie de forțe armate, parcursese până la cel de-al doilea război mondial următoarele etape: „1) mijloc auxiliar de informație între 1910—1914, 2) arma auxiliară de informație și luptă între 1914—1916, 3) armă principală de luptă în 1918, 4) armă a aerului independentă, în concepțiile și organicele marilor armate, după războiul mondial, 5) armată a aerului, separată și pe picior de egalitate cu celelalte forțe armate de uscat și de apă, în ansamblul puterii militare de război a unui stat, prin caracteristicile și proprietățile ei foarte distincte, cei definesc complet valoarea și puterea.”<sup>1</sup>

Teoria militară interbelică a defensivelor, cazematelor și pozițiilor savant articulate, a operațiilor ofensive metodic organizate și pedant complicate, pusese stăpânire și pe concepția noastră militară, împiedicând pătrunderea și dezvoltarea curentelor noi, favorabile progresului gândirii militare. Până la contactul cu aeronautica germană, aeronautica română în contextul mentalității generale terestre s-a ridicat cu greu, puțini militari români intuind acest prețios instrument politic și militar. Emanciparea la care avea dreptul arta militară aeriană interbelică a fixat legile fundamentale și regulile generale aeriene, care au condus la formarea unor proiecte de doctrină aeriană. De aceea, definițiile interbelice cu privire la forțele aeriene, au căutat să fundamenteze arta militară aeronautică, care să armonizeze legătura și să articuleze **arma aerului**\* cu armele terestre și navale, prin: ●, „o conduită politică dominantă a statului care să conducă la o doctrină militară generală de război, ● doctrina militară

<sup>1</sup> Comandor av. Alexandru Sahini, *Arma Aerului în Arta Militară*, Biblioteca Academiei Române, București, 1943, p. 3

\* Giulio Douhet (1869 – 1930) general italian, adept și promotor înflăcărat al principiului conform căruia arma aeriană are „un loc decisiv și capital” în conducerea și desfășurarea războiului, solicitând în consecință, „o putere aeriană independentă”, concretizată în „armata aeriană” de sine stătătoare. În lucrarea „*Il domino dell'aria*” (Stăpânirea aerului) apărută în 1921, pleacă de la ideea că „pretutindeni unde doi oameni se pot întâlni e inevitabilă o luptă” și a pledat pentru capacitatea ofensivă a avionului, apreciată ca fiind „atât de mare încât duce la o consecință absurdă în sine: pentru a te apăra de o ofensivă aeriană e nevoie de mai multe forțe decât pentru a ataca”. Concluzia de fond a concepției lui era că „a învinge înseamnă, a cuceri supremația aeriană”. „Am convingerea fermă – scria el - că viitorul nu mă va dezminși și ca urmare, flota aeriană va înregistra o creștere însemnată, reducându-se în aceeași măsură rolul armatei de uscat și al marinei”.

generală de război să conducă la o doctrină aeriană, • doctrina aeriană să impună o strategie aeriană care la rândul ei să determine: organizarea generală aeriană, o structură și o mentalitate specială a armeei aerului și întrebuintare conformă concepției proprii, de unde întregul organism aerian.<sup>2</sup>” Este important să precizăm aici că întocmai celor gândite de teoreticienii aeronauticii române interbelice sau de pe timpul celui de-al doilea conflict militar arătate mai sus, după îndelungi dezbateri și căutări, posterioare evenimentelor din decembrie 1989 cu privire la aspectele teoretice ale concepțiilor de întrebuintare a forțelor armate ale României, specifice etapelor de restructurare, reorganizare și transformare a acestora, precum și pentru asigurarea compatibilității cu structurile militare ale N.A.T.O., a fost elaborat Ordinul M. 161/2001, ce prevede modul de ierarhizare a „strategiilor, doctrinelor, manualelor și regulamentelor militare necesare pregătirii, conducerii și întrebuintării forțelor armate pe timp de pace, în situații de criză și la război”.<sup>3</sup>

Făcând astăzi o scurtă incursiune în istoria artei militare aeronautice, remarcăm la nivel mondial **două puncte de vedere** cu privire la aceasta. **Principalul punct de vedere cu privire la arta militară aeriană**, aprecia că aceasta trebuia să regleze și să conducă după propriile legi întreaga activitate aeriană, iar doctrina militară aeriană trebuia să fie concretizarea materială, practică și aplicativă a strategiei generale. Strategia aeriană interbelică era definită ca „ramura principală care coboară din Arta Militară Aeriană și care influențată de spiritul Doctrinei Aeriene, se ocupă cu studiul, pregătirea și exercitarea puterii aeriene a unui stat, atunci când această putere aeriană este folosită ca prim instrument militar al politicii de război și ca factor independent de acțiune, sau pentru colaborare la deciziune, în ansamblul conducerii războiului”.<sup>4</sup> Dinamica estimată a războiului aerian făcea din „arma aerului, un instrument eminent politic, ca și armata terestră în întregimea ei.”<sup>5</sup>

Un alt mare vizionar al aeronauticii, americanul William Mitchell<sup>6</sup> vorbea de adoptarea unor noi reguli pentru conducerea războiului, teoretizând strategia aeriană.<sup>7</sup> Celălalt mare teoretician, mareșalul britanic Hught Trenchard a fost artizanul creerii Royal Air Force, concretizând viziunile predecesorilor săi în manualele de instruire a forțelor aeriene britanice.<sup>8</sup>

În România, mareșalul Antonescu, care în 1916 în gradul de căpitan obținuse brevetul de observator aerian cu nr. 38,<sup>9</sup> înțelegea pe deplin conceptul de **război în mișcare** pe care chiar îl teoretiza în lecțiile din perioada când se afla la comanda Școlii Superioare de Război, apreciind că: „Aeronautica trebuie astfel organizată încât să

<sup>2</sup> Comandor av. Alexandru Sahini, *Op. Cit.*, p. 5

<sup>3</sup> Ordinul M. 161/2001, Ministerul Apărării Naționale, București, 2001, p. 1

<sup>4</sup> Comandor av. Alexandru Sahini, *Op. Cit.*, p. 7

<sup>5</sup> Maior Bungescu J, *Războiul aerian. Idei și doctrine*, Biblioteca Academiei Române, București, 1937, p. 4

<sup>6</sup> William Mitchell (1879 – 1936) în lucrarea *The development and possibilities of modern air power – economic and military*, New York, 1925, afirmă că omenirea se află în pragul „erei aeronauticii”, după ce omenirea a străbătut „era continentală” și „era marilor navigatori”, definind forțele aeriene ca „facultatea de a face ceva în aer sau traversând aerul și de vreme ce aerul acoperă lumea întreagă, aeroplanelor pot să fie peste tot pe planetă”

<sup>7</sup> General dr. Mihail Popescu, general lt. (r) Valentin Arsenie, general de brigadă Gheorghe Văduva, *Arta militară de-a lungul milenilor*, vol 2, Centrul Tehnic – Editorial al Armatei, București, 2004, p. 169

<sup>8</sup> Mareșalul britanic Hught Trenchard (1873 – 1956), a scris Manualul Royal Air Force, unde spunea „misiunea forțelor aeriene este de a zdrobi mijloacele de rezistență inamice prin atacuri asupra unor obiective selecționate ca fiind cele mai potrivite în vederea atingerii acestui obiectiv”.

<sup>9</sup> Decizia ministerială nr. 119 din 26 martie 1916, publicată în Monitorul Oficial nr 16/1916, cf. lui Valeriu Avram, în *Istoria aeronauticii militare române (1910 – 1916)*, Tiparg, București, 2003, p. 152

răspundă unor execuții prompte și adaptate nevoilor, având în organica sa totalitatea elementelor necesare exercitării rolului ca armă de luptă principală.”<sup>10</sup>

**Cel de-al doilea unghi de percepție interbelică a forțelor aeriene**, aproape opus celui de mai sus, era acela ce considera că „un război modern nu se mai poate duce fără sprijinul de mare folos al aeronauticeii dar (...) nici o națiune nu va putea pune la dispoziția comandanților de oști atâtea mijloace cu care să se poată aduce la îndeplinire câștigarea unei victorii numai prin aviație.”<sup>11</sup> Acesta a fost pus cel mai elocvent în practică de teoria militară sovietică. Eroarea consta în faptul că, nu numărul de forțe și mijloace aeriene contează în **războiul aerian**,<sup>12</sup> ci calitatea acestora și întrebuintarea lor eficientă în spațiu și unitatea de timp, conform principiilor ce definesc **puterea aeriană**.<sup>13</sup> Din punctul nostru de vedere, urmărind evoluția cronologică, dinamică și tumultoasă a acestui fenomen militar, **definim puterea aeriană ca fiind configurarea practic-aplicativă a aeronauticii în funcție de etapele istorice de dezvoltare, la pace, criză sau război.**

Combătând cel de-al doilea punct de vedere, comandorul (ulterior generalul comandant) Gheorge Jienescu\* aprecia că „Aeronautica este armă de război foarte economică în mâna conducerii superioare a războiului, judecându-se aceasta prin încadrarea sa în raport de rezultatele celorlalte arme. Cu zece echipe de bombardament (una escadrilă) se obține o putere de foc reprezentată prin 13 tone exploziv, în timp

<sup>10</sup> Arhivele Militare Române (în continuare A.M.R.), Fond 1376, Dosar 1375, f. 3

<sup>11</sup> Căpitan comandor aviator Vasiliu H Gheorghe, căpitan Șelescu Valeriu, *Tactica Aeronauticeii. Principii și aplicațiuni în cadrul Corpului de Armată, Diviziei și Corpului de Cavalerie*, Imprimeria Centrală, București.1933, p. 11 – 14

<sup>12</sup> Războiul aerian este definit fie ca „acea formă de luptă care se desfășoară în aer, cuprinzând toate genurile de operațiuni militare: de recunoaștere, transport și distrugere – efectuate prin – baloane, dirijabile, avioane, elicoptere, hidroavioane, - împotriva altor mijloace aeriene, a obiectivelor terestre sau maritime (ape interioare, teritoriale sau în marea liberă) ale adversarului. În conceptul de război aerian sunt incluse și operațiunile aeronavelor din dotarea forțelor maritime ambarcate în operațiuni de război aerian, operațiuni militare executate de pe pământ sau ape contra mijloacelor de luptă aeriene sau contra obiectivelor situate la sol sau pe ape, chiar la mare distanță. Ca atare nu intră, în sfera războiului aerian operațiunile cu rachete indiferent de acțiune, sau cu bombe zburătoare, cum au fost armele V1 și V2, folosite de Germania, în cursul celui de-al doilea război mondial.”apud, Ionel Cloșcă, Ion Suceavă, *Drept internațional umanitar*, Casa de editură și presă „Șansa”-SRL, București, 1992, p. 252; sau ca „o componentă a conflictului armat, deoarece se consideră că, în zilele noastre cine câștigă bătălia aeriană câștigă războiul. Conflictul armat aerian cuprinzând totalitatea mijloacelor specializate ale beligeranților în scopul nimicirii adversarului în aer și din aer pe pământ și pe apă, al cuceririi supremației aeriene și menținerii inițiativei strategice în vederea obținerii victoriei”. apud Ion Dragoman, *Drept internațional umanitar*, Editura Fundației „Andrei Șaguna,” Constanța, 1999, p. 85, și în sfârșit ca „acea formă de purtare a războiului în care forțele aeriene constituie principalul mijloc pentru obținerea succesului.” Cf. *Lexiconului militar*, Editura militară, București, 1980, p 564. **Precizăm că după opinia noastră, din punct de vedere istoric, războiul aerian a evoluat permanent, putând fi definit ca cel mai modern tip de conflict armat, ce se bazează pe acțiunile de luptă duse de armele componente ale forțelor aeriene, existente în diferite etape de evoluție, având o dezvoltare progresivă, geometrică, în funcție de descoperirile tehnologice aplicate mijloacelor de luptă avute la dispoziție, ce a trecut prin o fază incipientă, aceea a aeroplanelor (1911 1919) și trei mari etape de dezvoltare: 1-etapa motoarelor cu piston (1919 1944), 2-etapa aeronavelor înzestrate cu motoare supersonice (începând cu anul 1944) și 3-etapa aeronautică a dezvoltării pe coordonate cosmice de după 1969.**

<sup>13</sup> Generalul de flotilă aeriană dr. Victor Strâmbeanu, în lucrarea „Puterea aeriană în paradigma securității naționale și globale,” Editura Centrului Tehnic-Editorial al Armatei, București, 2006, p. 22, apreciază ca fiind „cea mai completă” definiție a puterii aeriene, pe cea dată de dr. Philip Towle în cartea *The Dynamics of Air Power*, Group Captain Andrew Lambert and Arthur C. William, Royal Air Force College, Bracknell, 1996, și anume: „folosirea sau interzicerea folosirii spațiului aerian sau extraterestru, în scopuri militare, de către vehiculele capabile de zbor controlat și susținut dincolo de zona de conflict nemijlocit.”



scurt, iar unei baterii de artilerie (terestră n.n.) spre a arunca acest tonaj îi trebuie circa 24 ore.”<sup>14</sup>

**Aeronautica Regală Română a folosit în practica sa din cel de-al doilea război mondial, pe rând, cele două concepții de întrebuințare.** Trecând în revistă principiile artei militare interbelice românești, devenite și ale artei militare aeriene, prin logica experienței căpătate, prin studiul și activitățile personalităților din aeronautică, sau a practicii frontului, se considera că **aeronautica română respecta legile și principiile militare fundamentale comune, însă cu particularitățile specificului armei. Aceste principii fundamentale adaptate în întregime în strategia și tactica aeriană, după caracterul, volumul și natura acesteia erau: a) principiul moralului, b) principiul acțiunii, c) principiul economiei forțelor (principiul masei), d) principiul conservării forțelor, e) principiul inițiativei, f) principiul siguranței.** Analiza lor din punctul de vedere general și al aeronauticii, a format suportul pe care s-a sprijinit materia artei militare aeronautice, păstrând logica generală a procesului. Calitățile superioare tuturor celorlalte arme, făceau din aeronautică primul instrument tactic și strategic. Toate aceste proprietăți și incomparabile calități prin care excelau Forțele Aeriene Regale Române\*, formau prin însumarea lor ceea ce astăzi numim putere aeriană.

**Strategic, aviația era considerată arma principală ofensivă și independentă,** care în mâna comandamentului suprem, era primul mijloc politic, militar, strategic și tactic, pentru impunerea asupra voinței adversarului. Acțiunea strategică de ansamblu a forțelor aeriene cerea însă coordonarea concepției operațiilor generale cu acțiunea forțelor terestre și navale, operația aeriană conducându-se și desfășurându-se separat, după regulile proprii ale marilor unități aeriene.

**Tactic, aviația se constituia în grupări aeronautice destinate acțiunilor militare aeriene dar și în folosul marilor unități terestre sau navale, exploatându-se proprietățile sale ofensive.** Cooperarea aeroterestră sau aerenavală, forma capitolul cel mai delicat al întrebuințării aeronauticii, pentru că pretindea suprapunerea și coordonarea perfectă în timp și spațiu între aer și sol, activitate foarte greu de realizat, mai ales pe timpul desfășurării luptei.

Adevărul istoric nepolitizat, cu privire la această categorie de forțe armate, ne permite să urmărim și modul în care s-au mișcat și au evoluat marile idei ale artei militare aeronautice românești și mondiale. Anticipând putem spune că după cel de-al doilea război mondial aeronautica a fost desființată și fragmentată pe armele din compunerea sa conform doctrinei militare sovietice, și abia după evenimentele din decembrie 1989 s-a revenit la matca normală a Forțelor Aeriene Regale Române, de întrebuințare conform doctrinelor militare aeriene occidentale, ca element central de structură militară, o categorie de forță armată care prin armele din compunere sa, să pună în practică noțiunea de putere aeriană.

---

\* Generalul comandant aviator Gheorghe Jienescu s-a născut la 16 septembrie 1895, în localitatea Rast, județul Dolj și a murit la data de 3 aprilie 1971 la București. A fost comandantul Forțelor Aeriene Regale Române pe timpul Campaniei din Est a Armatei Române în cel de-al doilea război mondial. Arestat pe 23 august 1944, la 29 ianuarie 1945 a fost inclus pe lista celor 65 de persoane „bănuite de dezastrul țării și deferite acuzatorilor publici spre cercetare și instrucție”. A primit o pedeapsă de „numai 20 de ani temniță grea” deoarece „are circumstanțe atenuante pentru că a dispus ca medicii români să dea asistență și populației civile de peste Nistru.” A fost închis în perioada 12 februarie 1946 - 18 aprilie 1964, în penitenciarele Aiud, Văcărești, Râmnicu-Sărat și Gherla. A fost

eliberat cu puțin înainte de împlinirea vârstei de 70 de ani. În ultima perioadă a vieții, bolnav, evacuat din propria casă, și-a dus cu demnitate viața alături de familia pe care o iubea și care la sprijinit până la sfârșit.

<sup>14</sup> A.M.R., Fond 1376, Dosar 1375, f. 4

\* Deși nu am găsit un document oficial de atribuire a sintagmei de Forțele Aeriene Regale Române, aceasta împreună cu formularea Aeronautica Regală Română erau denumirile uzitate în toate formulările oficiale ale vremii.



Putem concluziona că deși Forțele Aeriene Regale Române au fost desființate după ultima conflagrație mondială, prin clauzele Tratatului de Pace încheiat de România cu Națiunile Unite la Paris, în data de 10 februarie 1947,<sup>15</sup> ele își dovediseră eficiența și eficacitatea. ***Deși modelul organizatoric al acestei categorii de forță armată a fost apreciat în vreme pentru rezultatele sale în luptă, acesta a fost abandonat sub tutela noului aliat sovietic, dar a revenit în actualitate după aproape 47 de ani, prin reînființarea la 30 noiembrie 1993, a Statului Major al Aviației și Apărării Antiaeriene (ulterior Statul Major al Forțelor Aeriene) în conformitate cu Ordinul General al Ministrului Apărării Naționale nr. 24/1993, ca o confirmare a justeții drumului interbelic pe care se fixase aeronautica română, și o reînnoțire a acestui drum, pe coordonatele concepției de întrebuințare a aeronauticii occidentale.***

---

\* *Capitan comandor dr. NICOARA MARIUS-ADRIAN* Șeful catedrei de aviație din SAFA

---

<sup>15</sup> X.X.X., Institutul de istorie și teorie militară, *Istoria militară a românilor (Culegere de lecții)*, volumul II, Editura Militară, București, 1992, p.249.

## CONSIDERAȚII CU PRIVIRE LA FUNCȚIONAREA ȘI VALIDAREA MODELULUI FORTELOR AERIENE ROMANE ÎN PERIOADA CELUI DE-AL DOILEA RĂZBOI MONDIAL

Marius-Adrian NICOARA \*

*În Campania din Est activitatea aeriană a aviatorilor români împreună cu cei germani, fusese legată de politică și acțiunea militară generală, dând statului român posibilitatea strategiei aeriene. Ulterior în Campania din Vest, sovieticii au impus folosirea aeronauticii române conform opiniei lor, legând aviația de tactica celorlalte arme, transformând armele din categoria forțelor aeriene în arme auxiliare. Sovieticilor le lipsea strategia aeriană, de aceea aviația sovietică era cunoscută ca o aviație tactică deosebit de puternică, având la bază un număr mare de avioane de vânătoare (76%) și asalt (21%), și doar 3% aviație de bombardament și recunoaștere. Neavând aviație strategică au apelat foarte mult la aviația strategică românească de bombardament și recunoaștere.*

*În Campania din Vest în afara acțiunilor aeriene strategice împotriva capacității aeriene a adversarilor (în spatele inamicului), la ordinele sovieticilor, aviația română a pus accentul pe acțiunile tactice de sprijin din aer al trupelor terestre (de tip sprijin aerian apropiat sau interdicție aeriană), pe intervenții la linia de contact și în câmpul tactic inamic. S-a apelat mereu, uneori chiar s-a cerut insistent, până la epuizarea piloților români, la misiuni improprii categoriilor de aviație, intervenții ale aviației române spre a salva situații critice, pentru a stăvili iureșurile inamice violente, sau pentru a se rezolva momente de-a dreptul dramatice, precum la Lipova, Oarba de Mureș și în capul de pod de peste Tisa ș.a.*

*În ducerea acțiunilor militare tipice războiului aerian, conducerea politico-militară a României realizase importanța cuceririi supremației aeriene, a dezvoltării manevrei pe verticală și a dezvoltării manevrei de foc prin repartitia țintelor pe înălțimi și direcții. După participarea la ofensiva strategică germană în campania din Est, structurile de conducere ale aeronauticii române au conceput și executat independent propriile acțiuni de apărare aeriană. Subsumată operației naționale de apărare și acoperire a frontierelor, acțiunile aeriene de apărare de concepție integral românească au pus accent pe cucerirea supremației aeriene, pentru apărarea aeriană a centrelor populate ale țării ce aveau mijloace militare și politice importante, pe apărarea aeriană a centrelor economice precum zona petroliferă a Văii Prahovei și Carpaților de Curbură, a punctelor vitale precum podurile peste fluviul Dunărea, pe acoperirea aeriană a frontierelor țării, pe acțiuni aeroterestre de apărare a aerodromurilor și infrastructurilor proprii, precum și a acțiunilor în folosul trupelor fluviale și navale române. A fost ca o perioadă de trecere de la doctrina germană la cea sovietică (23 august – 20 septembrie 1944), ce a încorporat activitatea operativă independentă dusă până la luarea contactului cu aeronautica sovietică (23*

---

1 Cornel Marandiuc, *Cavalerii bimotoarelor de asalt*, Editura Modelism, București, 2000, p. 253

*august - 9 septembrie 1944), urmată de o perioadă de o relativă activitate aeriană autonomă (9 – 20 septembrie 1944), până la subordonarea efectivă a marii unități aeriene române, Armatei 5 Aeriene Sovietice la 21 septembrie 1944.*

*Deosebirile doctrinare, de concepția, de acțiune și de mod de îndeplinire a misiunilor strategice și tactice, au fost după cum am mai prezentat aici, imense, cel puțin la început, atât sub aspectul modului de întrebuințare în luptă a diferitelor categorii de aviație cât și sub aspectul utilizării infrastructurilor.*

În Campania din Vest comandanții sovieticii au impus folosirea aeronauticii române conform opiniei lor. Concluziile Mareșalului Bernard Montgomery cu privire la modul ineficient în care a fost folosită aviația în prima parte a războiului din Africa, în anul 1943, au reprezentat un punct de plecare a procesului de redefinire a doctrinei forțelor aeriene occidentale și este parcă o exemplificare cu conotații negative a modului în care sovieticii procedaseră: „*Nimic nu poate fi mai fatal succesului decât dispariția resurselor aeriene în pachete mici plasate sub comanda comandanților terestri, fiecare pachet lucrând conform planului său. Comandantul forței terestre nu trebuie să aștepte sau să dorească să exercite comanda directă asupra forței aeriene*”

Dar pentru Corpul 1 Aerian Român activitatea în perioada 9 septembrie 1944 – 19 mai 1945, tocmai așa s-a desfășurat, pentru că acesta era modalitatea de lucru a sovieticilor. De aceea procesul de restructurare al Forțelor Aeriene Regale Române, în Campania din Vest al celui de-al doilea război mondial, a impus regândirea unor concepte, norme și modalități de pregătire și ducere a acțiunilor aeriene.

Noile structuri organizatorice, dotarea, dislocarea teritorială, stările de pregătire pentru luptă adaptate la diferitele tipuri și nivele ale amenințării aeriene, concepția de generare și proiecție a forței prin mijloacele aflate la dispoziția Corpului 3 Aerian Român, necesitatea realizării unei forțe interoperabile cu forțele sovietice, a impus reevaluarea tipologiei acțiunilor aeriene, a concepțiilor de planificare și ducere a acestora. Noua abordare era determinată atât de schimbările importante produse în mediul internațional de securitate, cât și de concepțiile sovietice de ducere a războiului, promovate de această armată.

Pe de altă parte a fost necesară preluarea neselectivă a prevederilor unor regulamente sovietice, a unor documente orientative promovate de Armata 5 Aeriană Sovietică care, nu în puține cazuri, nu au putut fi direct aplicate la condițiile de atunci ale Aeronauticii Regale Române, cum au fost de exemplu greutățile întâmpinate în executarea ordinului sovietic de fotografiere a efectelor la obiectiv a acțiunilor aeriene, în condițiile în care piloții români nu aveau nici tehnica și nici antrenamentul unei astfel de execuții. A fost ordonată ora Moscovei, pentru precizarea orelor de misiune în Campania din Vest a armatei române, aceasta fiind cu o oră mai târziu decât ora Bucureștiului, ceea ce însemna la aeronautică calcule suplimentare pentru statul major în precizarea orelor de ieșire la obiectiv, sau de rupere sau constituire a formațiilor e.t.c.

***Cooperarea româno - sovietică*** în desfășurarea acțiunilor militare aeriene s-a manifestat în această perioadă sub diferite aspecte. Conducerea operațiilor în concepție sovietică a fost contrară concepției germane conform căreia se pregătise și aeronautica română, marile unități aeriene fiind subordonate direct marilor unități terestre pe care le sprijineau.<sup>2</sup> Corpul 1 Aerian Român a fost chemat să execute însă și misiuni independente de operațiile armatelor terestre, acționând sub ordinele Armatei 5 Aeriene Sovietice, așa cum au fost atacurile terenurilor de aviație de la sud-vest de Budapesta, sau lovirea podurilor budapestane.

***Legătura și coordonarea comandamentului corpului aerian român cu armatele române și sovietice pe care le sprijinea, s-a făcut prin Detașamente de Legătură.*** Acest

<sup>2</sup> A.M.R., Fond 1377, Dosar 854, f. 325

detașamente au ținut contactul permanent cu corpul aerian, transmițând linia frontului, misiunile și obiectivele de atacat, Corpul 1 Aerian Român retransmițând către armate prin aceleași detașamente, informațiile prin care se anunțau trupele proprii de hotărârile luate.

Ca mijloace de transmisiuni s-au utilizat telefoanele, dar mai ales stațiile radio, cu care s-a reușit manevrarea efortului, în zone spațiate de 200 Km. acționând exclusiv sau simultan acolo unde necesitățile operative erau mai urgente. Acționându-se pe un teritoriu inamic, unde sistemul de transmisiuni a fost distrus și ritmul de înaintare accelerat, baza transmisiunilor aero au fost legăturile radio.

Din experiența acestei campanii, Corpul 1 Aerian Român a cifrat cu mașina Enigma comunicațiile care nu erau urgente, iar pentru celelalte s-a făcut un cifru operativ simplu, folosindu-se hărți caroiate secrete și un cod operativ la fel de simplu, care se schimbau periodic.<sup>3</sup>

***La Comandamentul Corpului 1 Aerian Român, pentru coordonarea acțiunilor militare, sovieticii și-au trimis ofițeri de legătură***, cu sarcini „speciale”, care erau firi retrase și nu-și făceau prieteni. La plecarea în misiune a aviatorilor români, stăteau la pistă, făceau semn piloților să deschidă trapele pentru a verifica dacă sunt bombe în lansatoare, apoi făceau semn ca acestea să fie închise și să se plece în misiune.<sup>4</sup> Aceștia se schimbau aproximativ lunar, iar la intervale de timp necesare, datorită evoluției frontului se organizau conferințe de coordonare de la nivelul Statului Major al Aerului până la nivelul comandanților de unități.

Pentru o mai bună coordonare între aviația română și cea sovietică, aceste conferințe de colaborare au fost organizate pe aerodromuri, împreună cu vizite reciproce cu caracter tehnic între personalul aeronautic român și sovietic, consfătuiri între ofițerii din comandamentul Corpului 1 Aerian Român și comandantii sovietici, prin care se stabileau metode comune de organizare a luptei, dozarea și modul de acțiune în luptă a formațiilor de aviație.<sup>5</sup> La consfătuirile care aveau loc la Subsecretariatul de Stat al Aerului la București, s-au discutat probleme legate de participarea aviației române la războiul împotriva inamicului germano – maghiar, ingerința ofițerilor din Comisia Aliată de Control a Traficului Aerian și comandantul sau șeful de stat major al Armatei 5 Aeriene Sovietice.

Stilul de lucru și analiză a activității aeriene de pe front, bazat pe conferințe la diverse nivele urmate de detalieri cu creta la tablă sau pe machete, se înrădăcinase ca metode de lucru ale aviatorilor sovietici.<sup>6</sup>

De altfel cea mai importantă schimbare de atitudine în aviația sovietică s-a realizat în tactica acesteia, susținută și de revista „*Vestnik Vozdušnego-Flota*” ce rezuma toate opiniile de pe front, apreciind în locul formațiilor de luptă „*la grămadă*”, formațiile de luptă eșalonate în înălțime, supraplase, cu o bună legătură vizuală iar atacurile să vină pe cât posibil dinspre soare,<sup>7</sup> procedeu pe care l-au văzut aplicat la aviatorii români.

***Pe baza noilor experiențe acumulate, Subsecretariatul de Stat al Aerului a elaborat instrucțiuni speciale pentru întrebuințarea în luptă a tuturor categoriilor de aviație*** (vezi cazurile I.A.R. – 80 sau He. – 111), instrucțiuni pentru omologarea victoriilor aeriene și antiaeriene și alte acte normative, care corelau vechile regulamente de luptă cu realitățile războiului aerian imediat, în ceea ce privește activitatea diferitelor arme componente ale aeronauticii.

Pentru aviatorii sovietici regula tactică generală în lupta aeriană, considerată lege de război, era lovirea în primul rând a grupei/patrului de cap, pentru că se considera că ordinea

3 Ibidem, f 323

4 Comandor (r) Dan Stoian, *Pumnul tarii.*, Editura Modelism, București 2000, p. 181

5 X.X.X., *Istoria aviației române*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1984, p 305

6 G.V. Zimin, *Piloți de vânătoare*, Editura Militară, București, 1990, Vol 1, p 174

7 Ibidem, p. 175

de luptă a acestei formații influențează ordinea de luptă a întregului dispozitiv aerian de luptă.<sup>8</sup>

Un rol deosebit acordau de asemenea dirijării de la sol a aviației în luptă, cu ajutorul stațiilor radio, plasate în punctele de comandă de la nivelul regimentului în sus și desigur la fiecare avion în parte,<sup>9</sup> ce permitea un control total de la sol de la nivelul unei divizii până la fiecare celulă, ceea ce dădea o mare încredere personalului navigant. În ceea ce privește sistemul de informare aeriană sovietic, cel mai eficient era sistemul „Redut” de avertizare timpurie.

Deoarece armatele terestre aveau nevoie de recunoașteri tactice și de luptă, în concepție sovietică acestea erau asigurate tot de marile unități aeriene, s-a impus ca marea unitate operativă aeriană română să aibă propria escadrilă de observație aeriană sau una de vânătoare recunoaștere,<sup>10</sup> deși eficiența Comandamentelor Aero de la Armatele 1 și 4 au fost extrem de apreciate în întreaga campanie militară.

***Relațiile cu sovieticii au plecat de la calitatea de foști inamici și de la divergențele de concepție în desfășurarea acțiunilor militare viitoare, precum și de la modalitățile diferite de întrebuintare a aeronauticii în luptă. Propaganda de război din timpul celui de-a doua conflagrații mondiale<sup>11</sup> imaginea inamic-aliat în mentalul colectiv al armatelor, faptul istoric real a făcut ca imaginile dure ale unora asupra celorlalți, să se estompeze destul de greu,*** consecință a unui război imagologic și de propagandă extrem de eficient în ambele tabere. Este foarte interesant episodul relatat de adjutantul Niculescu din Grupul 8 Asalt,<sup>12</sup> care pe 31 august 1944 merge la Târgșor împreună cu un alt pilot pentru a-și recupera avioanele Hs. - 129 B2. Aerodromul era ocupat de aviația de vânătoare sovietică ce luptase la Stalingrad. Întrebat fiind unde a luptat, pilotul român confirmă că la Stalingrad a fost chiar doborât. Curioși sovieticii verifică data de 27 septembrie 1942 și pilotul doborât face cunoștință la o cană de votcă cu pilotul sovietic ce l-a doborât, fără ură sau resentimente din partea niciunuia. Când însă pilotul sovietic întreabă „dar voi românii ce ați căutat la Stalingrad,” adjutantul român rămâne fără cuvinte și pleacă tulburat la avionul său, pe care îl duce cu bine la Popești-Leordeni.<sup>13</sup>

***Cooperarea a debutat în condiții extrem de grele. Doborârea fără motiv a unor avioane românești de către sovietici în zilele de 8, 9, 11, 12, 14, 13 și 14 septembrie 1944, între zilele de 23 - 26 octombrie 1944, pe 16 noiembrie 1944,<sup>15</sup> și 4 mai 1945,<sup>16</sup> au pus pentru totdeauna semne de întrebare, (dacă a fost o proastă coordonare, sau au fost rele intenții ale aeronauticii sovietice), în legătură cu aceste pierderi, ceea ce a făcut ca aviatorii români să devină deosebit de circumspecți față de militarii sovietici, spre deosebire de excelentele relații camaraderesti, personale, cu fostul aliat german.***

***Treptat au fost însă și foarte multe experiențe de război acumulate în comun, care au dus la omogenizarea sentimentelor de camaraderie între aviatorii români și cei sovietice, care țin de riscul permanent al faptelor de arme sau de zbor în sine, de condițiile grele de viață ale traiului în bordeie sau construcții de lemn improvizate, îngreunate de condițiile de***

8 Ibidem, p 191

9 Ibidem, p. 192

10 A.M.R., Fond 1377, Dosar 854, f 324

11 Hlihor Constantin, *Op. Cit.*, p. 37 - 40

12 Doar două asemenea grupuri specializate în misiuni aeriene de asalt au existat în întregul cel de-al doilea război mondial, pe froturile din Europa și Africa, unul german și celălalt român, vezi lucrarea lui Cornel Marandiuc, *Cavalerii bimotoarelor de asalt*, Editura Modelism, București, 2000, p 19

13 Cornel Marandiuc, *Op. Cit.* Editura Modelism, București, 2000, p 33

14 A.M.R., Fond S.M.A, Dosar 136, f 10

15 A.M.R., Fond 359, Dosar 18/1944, f. 209 212

16 A.M.R., Fond 359, Dosar 20/1944, f. 112

iarnă, ploaie sau noroi când nici măcar nu se putea zbura. Alt lucru comun era studierea minuțioasă a adversarului aerian și terestru.

De asemenea, păstrarea în secret a acțiunilor aeriene făceau ca ambele comandamente să lucreze și pe bază de încredere și secret militar. Incidentul reretabil din 26 aprilie 1945, în care piloții români de asalt au atacat, trupele sovietice devastând un regiment de infanterie ce a fost scos din linia de luptă deoarece hărțile piloților români nu erau actualizate cu situația frontului, greșeală a comandamentului sovietic recunoscută cu curaj și simț al responsabilității încât piloții români au fost considerați nevinovați,<sup>17</sup> este un exemplu de corectitudine. Aceste schimbări în bine sunt consemnate și în revista „*Sburăturii României*,” numerele din anul 1945.

Din punct de vedere al concepțiilor și terminologiei folosite, în cooperarea româno – sovietică, misiunile aeriene pentru întreaga perioadă analizată pot fi grupate în patru categorii: a) misiuni aeriene împotriva potențialului aerian al inamicului, b) misiuni de sprijin aerian apropiat împotriva forțelor militare terestre și fluviale ale inamicului, c) misiuni de informație aeriană, d) misiuni de legătură și transport aerian.

Marea unitate aeronautică română a fost o forță restrânsă numeric, dar capabilă să dezvolte acțiuni aeriene eficiente în sprijinul armatelor române și sovietice terestre. Generalul aviator Emanoil Ionescu, aprecia că „*personalul care a încadrat unitățile era de primă calitate, echipajele războite în condiții din cele mai grele și cu o bogată experiență, moralul însă era cam scăzut din cauza stării de nesiguranță.*”<sup>18</sup>

Superioritatea aeriană sovietică pe frontul sovieto - german a început în vara anului 1944, astfel încât datorită numărului mare de avioane disponibile, deseori sovieticii foloseau procedeul interzicerii aviației inamice pe direcțiile principale, sau blocarea aviației germane la aerodromuri prin trimiterea aviației de vânătoare pe aliniamente apropiate frontului,<sup>19</sup> acțiuni aeriene numite în teoria aeronautică sovietică „*tactică de întâmpinare*”.

Analiza istorică obiectivă relevă și faptul că relațiile militare cu comandamentele sovietice nu au fost caracterizate doar de suspiciuni și conflicte. Relația de ansamblu a Aeronauticii Regale Române cu aliatul sovietic, depășind momentele grele ale doborârii fără logică a unor avioane române și dincolo de amenințările directe sau subînțelese cu moartea a personalului aeronautic român și a familiilor acestora, relațiile interumane pot fi considerate acceptabile pentru ambele părți. Acțiunile militare desfășurate de Corpul 1 Aerian Român, în țară sau dincolo de frontierele țării în Campania din Vest, au fost succese evidente finalizate cu înfrângerea armatelor germane și maghiare.

Strategia generală a sovieticilor de a impune regimul sovietic și factorii sovietizanți în România au alterat relațiile militare de pe front și au destructurat trupele române rămase în țară. Ulterior închisorile comuniste au fost umplute și cu militari români a căror vină a fost aceea de a fi luptat în Campania din Est. Am amintit deja din rândurile aeronauticii, cazurile emblematice ale generalilor comandanți avatori Gheorghe Jienescu și Ermil Gheorghiu ce au fost închiși la Râmnicu Sărat sau Gherla, la care putem adăuga alte spețe precum căutarea înverșunată de către sovietici a căpitanului aviator Horia Agarici\* pentru a fi judecat ca și criminal de război, închiderea căpitanului Ioan Di Cezare la Ploiești,<sup>20</sup> fuga din țară a căpitanului aviator în rezervă, prințul Constantin (Bâzu) Cantacuzino, excluderea căpitanului

17 Cornel Marandiuc, *Op. Cit.*, Editura Modelism, București, 2000, p. 407

18 A.M.R., Fond 1377, Dosar 854, f. 317

19 G.V. Zimin, *Op. Cit.*, Editura Militară, București, 1990, Vol. 2, p. 60 – 61

\* Acesta doborâse în primele zile ale Campaniei din Est într-o extraordinară luptă aeriană trei avioane sovietice, fapt pentru care i s-a compus un cântec ale cărui versuri, „*a plecat la vânătoare Agarici/ a plecat ca să vâneze bolșevici*” au fost pe placul opiniei publice românești, dar care nu puteau fi iertate așa ușor de către sovietici.

20 Maior Dan Gâju, articolul *Am fost un mare norocos*, în *Observatorul militar*, nr 11, 2002, p. 12



aviator Mircea T. Bădulescu din rândurile aviației române deși era cavaler al Ordinului Mihai Viteazul, și exemplele ar putea continua.

Aeronautica Regală Română a făcut dovada unei structuri funcționale viabile, capabile să rezolve situații de luptă dintre cele mai dificile, fiind verificată și maturizată în condițiile grele ale războiului. Activitatea de pe front a fost însă influențată și de clauzele Convenției de Armistițiu a României cu Națiunile Unite (12 Septembrie 1944), de negocierile Tratatul de Pace (semnat la Paris în 10 februarie 1947) și de situația Forțelor Aeriene Regale Române din țară.

---

\* Capitan comandor dr. NICOARA MARIUS-ADRIAN Șeful catedrei de aviație din SAFA

## UN MODEL MATEMATIC AL MIȘCĂRII PROIECTILULUI ÎN TUNUL ELECTROMAGNETIC CU BOBINĂ

Mihai NICU\*  
Titică VASILE\*\*

### *Abstract:*

*The theoretical and practical limits reached in the classic guns development impose major changes regarding the projectile propulsion. A new propulsion system can be the electromagnetic propulsion, which uses the electricity as an energy source. In this paper it is elaborated the mathematical model of the projectile motion, on the basis of the physical principles that lay the foundation of the electromagnetic coilgun. By the solving of the mathematical model it is obtained, finally, the variation of projectile velocity versus time. The validation of the mathematical model is done by calling the experimental data met in the international literature of specialty, are compared with theoretical results.*

### **Capitolul I**

#### **Cu privire la tunurile electromagnetice cu bobină**

##### **1.1 Propulsia electromagnetică**

Limitele teoretice și practice la care s-a ajuns impun schimbări revoluționare în ceea ce privește propulsia proiectilelor. O soluție de viitor pentru creșterea vitezei inițiale a proiectilelor o constituie propulsia electromagnetică, un sistem propulsiv total diferit de cel al tunurilor clasice.

Propulsia electromagnetică folosește electricitatea ca sursă de energie, însă forma în care energia este transferată proiectilului diferă funcție de tipul constructiv al tunului electromagnetic. În acest context sunt examinate mai multe direcții:

- a. tunuri electromagnetice
  - tunuri electromagnetice cu șine, în terminologia occidentală, railgun;
  - tunuri electromagnetice cu bobină, numite coilgun în literatura de specialitate occidentală;

b. tunuri electrotermice generatoare de plasmă pentru realizarea presiunii necesare deplasării proiectilului;

c. tunuri hibride care utilizează simultan energia electrică și energia chimică a explozivilor.

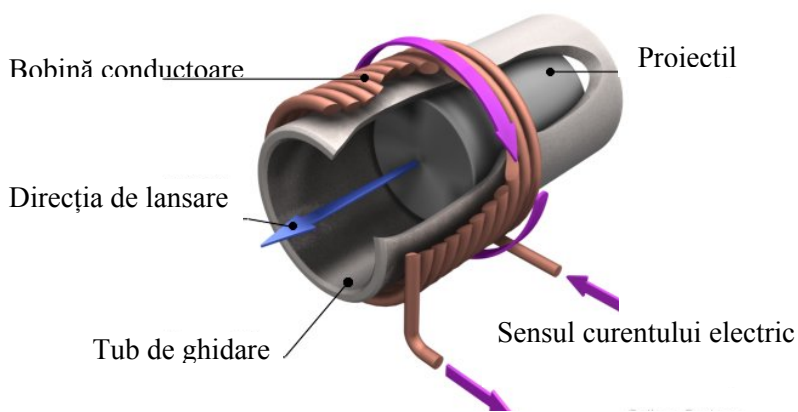
În această studiu se prezintă un model matematic al mișcării proiectilului într-un tun electromagnetic cu bobină.

Lansatoarele electromagnetice, în general, se compun din: corpul lansatorului, sursa de energie electrică, circuitele electrice, elementele de comandă și control. Tunul electromagnetic cu bobină constă din interacțiunea a două elemente de bază: bobină și proiectil. Proiectilul are o influență majoră în determinarea tipului de lansator bobină. De fapt, există o mare varietate de lansatoare electromagnetice bobină cu diverse tipuri de clasificare [5]. Comun este faptul că toate operează ca un motor electromagnetic liniar.

Pe baza proprietăților magnetice ale armăturii (proiectilului), tunurile electromagnetice cu bobină se pot împărți în două categorii:

1. Tunul electromagnetic bobină cu inducție unde forța acceleratoare se obține pe baza curenților induși în corpul proiectilului, în urma trecerii curentului prin bobina conductoare.

2. Tunul electromagnetic bobină cu reluctanță folosește proprietățile de atracție feromagnetică ale proiectilului în vederea accelerării; se bazează pe proprietățile magnetice ale proiectilului. În esență, acesta folosește un solenoid pentru lansarea unui proiectil feromagnetic, reglând cu atenție timpul de trecere a curentului prin bobina conductoare. Modelul din figura 1, prezintă în secțiune un astfel de lansator.



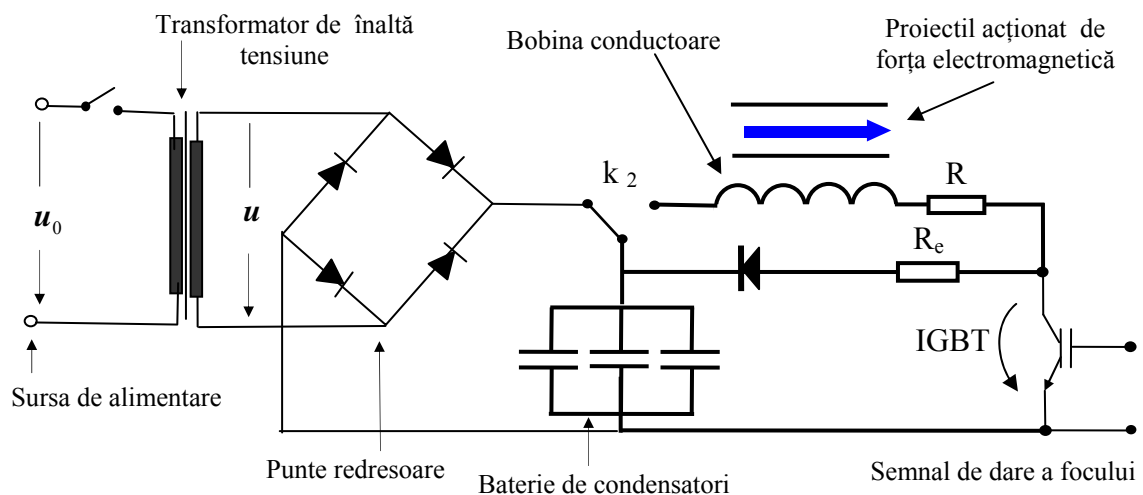
**Fig. 1** : Model al unui tun electromagnetic bobină cu reluctanță

La stabilirea curentului prin bobină, proiectilul se magnetizează în același sens cu bobina și va fi atras tot timpul spre centrul acesteia. Bobina conductoare este înfășurată peste un tub neconductiv, iar proiectilul este poziționat cu capătul la intrarea în bobina conductoare. Dacă un puls scurt de curent continuu este trecut prin bobină, proiectilul începe o mișcare accelerată. Esențial este ca pulsul de curent să-și înceteze existența atunci când centrul proiectilului coincide cu mijlocul bobinei. Se folosește denumirea de tun electromagnetic bobină cu reluctanță, deoarece forța acceleratoare acționează mișcând proiectilul în direcția reluctanței magnetice minime [5].

## 1.2 Schema electrică de principiu a tunului electromagnetic cu bobina cu reluctanță

Studiul acceleratoarelor electromagnetice cu reluctanță solicită proiectile confecționate din materiale feromagnetice, nu impun curenți excesiv de mari, simplifică circuitele de comutație ale dispozitivului experimental și obțin viteze inițiale apreciabile ale proiectilului.

Sistemul electromecanic al unui astfel de lansator este redat în figura 2.



**Fig. 2:** Schema electrică de principiu a tunului electromagnetic bobină cu reluctanță

Schema electrică de principiu a unui tun electromagnetic bobină cu reluctanță este un circuit RLC, cu următoarea topologie [3]:

- în momentul în care bateria de condensatoare ajunge la valoarea de încărcare stabilită se trece comutatorului  $k_2$  pe poziția lansare, astfel se cuplează sursa de alimentare la circuitele de lansare. Curentul electric încă nu circulă prin bobina conductoare, deoarece IGBT este deschis.
- tranzistorul bipolar cu grilă izolată (IGBT), eficient la tensiuni și curenți mari, este folosit drept întrerupător al bateriei de condensatori.
- la un moment dat, prin acționarea circuitului de dare a focului, IGBT trece pe poziția deschis. Dioda fiind polarizată invers, curentul va trece numai prin bobina conductoare, generând câmpul magnetic necesar propulsiei proiectilului. Circuitul funcționează în regim RLC.
- la momentul de timp stabilit IGBT trece pe poziția închis. Dioda fiind polarizată direct permite trecerea curentului prin rezistorul  $R_e$ . Curentul prin bobină scade rapid, datorită faptului că rezistența efectivă a circuitului a crescut prin introducerea rezistorului extern  $R_e$ .
- după închiderea IGBT, condensatorul este izolat, curentul prin bobina conductoare are o cădere rapidă în acord cu un circuit RL. Dacă nu se reduce rapid curentul din bobina conductoare, după ce proiectilul trece de mijlocul său, forța acceleratoare își schimbă semnul și acționează de sens opus accelerației proiectilului, reducând din viteza acestuia [3].

## Capitolul II

### Ecuțiile de mișcare ale proiectilului în tunul electromagnetic bobină cu reluctanță

#### 2.1 Forma ecuațiilor lui Lagrange

Pentru determinarea ecuațiilor de mișcare ale proiectilului se realizează un model dinamic, asupra căruia se aplică metodele calculului variațional (lagrangean). Pentru stabilirea lagrangeanului sistemului electromecanic [2] se identifică mărimile caracteristice schimburilor energetice în câmp electromagnetic, respectiv energiile cinetice și potențiale, care guvernează ansamblul condensator echivalent – bobină – armătură (proiectil).

Lagrangeanul sistemului electromecanic este o funcție scalară dată de diferența dintre energia cinetică și energia potențială a sistemului [14]:

$$\mathcal{L} = T_p + T_m - W_q - W_m. \quad (2.1)$$

Primii doi termeni ai ecuației (2.1) alcătuiesc energia de mișcare, unde  $T_p$  reprezintă energia cinetică pe care o capătă armătura în mișcare în interiorul bobinei,  $T_m$  energia cinetică electromagnetică apărută ca efect al energiei de interacțiune dintre bobina parcursă de curent și câmpul magnetic. Energia potențială a sistemului este constituită din energia înmagazinată în condensator  $W_q$  și  $W_m$  energia magnetică a bobinei.

În funcție de poziția armăturii, lagrangeanul sistemului (2.1) va avea forme diferite și pentru prima poziție „la intrarea în bobină” se demonstrează:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} m \cdot v_z^2 + \pi \cdot a^2 \cdot N \cdot \dot{Q} \cdot B - \frac{Q^2}{2C} - \pi \cdot a^2 \frac{l + 2\delta}{2\mu_0} B^2 + \pi \cdot a^2 \cdot S \cdot z \quad (2.2)$$

De la o poziție la alta a proiectilului, forma lagrangeanului este diferită, ca rezultat al evoluției forței electromagnetice în cursul mișcării. Prezintă interes practic numai prima poziție fundamentală a proiectilului, și anume, poziția proiectilului la intrarea în bobina conductoare.

Rezultatele stabilite permit obținerea ecuațiilor de mișcare ale armăturii cu ajutorul unui sistem de ecuații cu derivate parțiale de ordinul doi, sistemul ecuațiilor lui Lagrange [1]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{x}_j} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_j} = f_j, \quad (2.3)$$

unde  $x_j$  reprezintă una din coordonatele generalizate ale sistemului ( $B$ ,  $z$  sau  $Q$ ) și  $f_j$  semnifică orice forță externă generalizată (de exemplu, forțele de frecare sau pierderile rezistive).

Prin diferențierea lagrangeanului (2.2) în funcție de coordonata generalizată aferentă și substituind pentru forțele externe disipative, în funcție de poziția armăturii se obțin ecuațiile mișcării. Pentru poziția armăturii aflată la intrarea în bobină [2]:

$$N \cdot \dot{Q} = (l + 2\delta) \frac{B}{\mu_0} - z \cdot M_0 \cdot \tanh \left( \frac{\mu_r - 1}{\mu_r \mu_0} \frac{B}{M_0} \right) \quad (2.4)$$

$$-R \cdot \dot{Q} = \pi \cdot a^2 N \cdot \dot{B} + \frac{Q}{C} \quad (2.5)$$

$$m \cdot \ddot{z} = \pi \cdot a^2 \cdot S. \quad (2.6)$$

După cum se observă în ecuația (2.6) forța exercitată asupra proiectilului este proporțională cu secțiunea transversală a proiectilului  $a$  și cu densitatea energiei magnetice  $S$  în

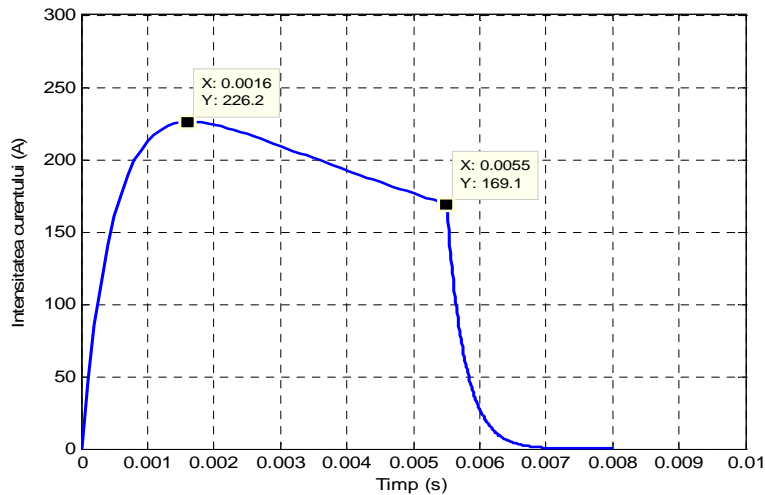
interiorul armăturii. Termenul densitate a energiei magnetice  $S$  are o comportare similară unei presiuni[2]. Valoarea secțiunii transversale a proiectilului se stabilește constructiv, iar  $S = S(B)$ :

$$S = \frac{\mu_r \cdot \mu_0}{\mu_r - 1} M_0^2 \ln \cosh \left( \frac{\mu_0 - 1}{\mu_r \cdot \mu_0} \frac{B}{M_0} \right). \quad (2.7)$$

În prima ecuație din sistemul ecuațiilor de mișcare (2.4)-(2.6) se recunoaște legea circulației vectorului inducție magnetică de-a lungul unui contur închis, care cuprinde un curent liniar; legea lui Ampère. Ecuația (2.5) reprezintă ecuația circuitului RLC serie al lansatorului electromagnetic, respectiv legea a doua a lui Kirchhoff. Ecuația finală a sistemului este legea a doua a lui Newton. Aplicând această ecuație se pot calcula efectele saturației asupra forței dezvoltată pe armătură. Forța este proporțională cu secțiunea transversală a armăturii și cu densitatea energiei magnetice.

### 2.3 Variația curentului electric pe timpul tragerii

Forma pulsului de curent depinde de elementele constitutive ale circuitului electric și anume: capacitatea de încărcare a sursei, valoarea rezistenței rezistorului și inductanța bobinei. Intensitatea curentului este maximă pentru  $di/dt = 0$ .



**Fig. 3:** Dependența intensității curentului de timp pe durata lansării

Figura 3 redă dependența intensității curentului de timp, din momentul în care începe descărcarea bateriei de condensatoare pe circuitele de lansare și la câteva momente după închiderea IGBT.

Din momentul în care se închide întrerupătorul IGBT (fig. 2) bateria de condensatori este îndepărtată și circuitul electric devine RL. Din acest moment comportarea curentului electric este descrisă de o funcție de forma [3]:

$$i(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}. \quad (2.8)$$



Acest lucru se întâmplă după  $t_f = 0,0055$  s, conform modelului experimental folosit drept comparație. După cum se observă, ulterior momentului  $t_f$ , graficul are o cădere exponențială puternică [4].

## 2.4 Accelerația și viteza proiectilului în interiorul bobinei conductoare

Pentru a calcula accelerația proiectilului în lansator,

$$\ddot{z} = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot S}{m} . \quad (2.9)$$

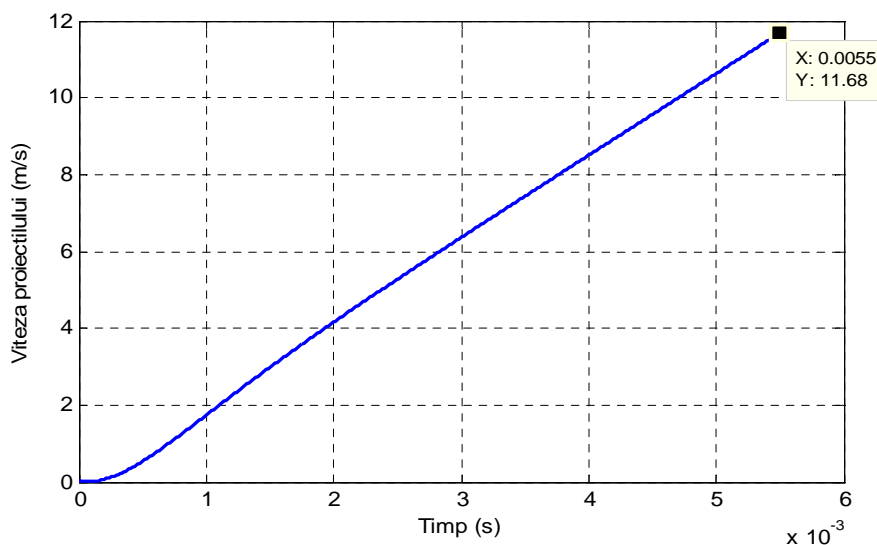
trebuie stabilită dependența de timp a presiunii magnetice  $S$  exercitate asupra armăturii [2], în baza ecuației (2.7).

Întreruperea alimentării cu energie electrică se alege funcție de momentul în care proiectilul ajunge cu vârful aproape de ieșirea din bobină. Dacă nu s-ar întrerupe alimentarea cu energie electrică, forța electromagnetică își inversează sensul, devenind contrară vitezei proiectilului și acționând în sensul atragerii acestuia spre mijlocul bobinei conductoare.

Din ecuația accelerației proiectilului (2.9), prin integrare între limitele corespunzătoare, se obține viteza la gura țevii lansatorului:

$$v_0 = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot S}{m} t . \quad (2.10)$$

Relația (2.10) permite calculul vitezei proiectilului în interiorul bobinei conductoare sau la ieșirea din lansator, prin stabilirea corespunzătoare a timpului după care se face integrarea. În figura 4 este ridicat graficul vitezei proiectilului în interiorul bobinei conductoare.



**Fig. 4:** Viteza proiectilului în interiorul bobinei conductoare

În primele momente ale lansării viteza tinde asimptotic către zero. Ulterior, aceasta descrie o curbă ușor ascendentă, pentru a intra din momentul apropiat lui  $t = 1 \times 10^{-3}$  și până în final într-o zonă cvasiliniară.

## 2.5 Concluzii

Prezentul studiu elaborează un model matematic al mișcării unui proiectil, într-un tun electromagnetic bobină cu reluctanță. Analiza mișcării s-a făcut în baza unor ipoteze simplificatoare, alese astfel încât să reducă din complexitatea fenomenelor fizice implicate, dar care să permită prin modelul creat o aproximare cât mai realistă a mișcării.

Pentru validarea rezultatelor analitice obținute pe modelul teoretic ales, s-a făcut apel la un model similar experimental existent în literatura de specialitate occidentală.

Graficul intensității curentului prin bobina conductoare este ridicat în prezența unor proiectile confecționate din materiale feromagnetice diferite. Se observă similitudinea graficelor pe porțiunea de ascendență spre valoarea maximă, corespunzător unei durate aflate între 1 la 2 milisecunde. Similitudinea se produce deoarece proiectilul încă nu a început deplasarea sau s-a deplasat foarte puțin în interiorul bobinei. După ce intensitatea curentului ajunge la valoarea maximă, graficele încep să se separe, proiectilul avansează în interiorul bobinei conductoare și încep să se facă resimțite influențele saturației magnetice. Odată cu apariția mișcării proiectilului începe să se extragă energie din câmpul magnetic la o rată semnificativă [4]. Armătura din ferită ușor saturată are o eficiență mai redusă, se distinge o scădere ușoară a curentului prin înfășurările bobinei. În schimb, la proiectilul din oțel și cel nesaturat rata de extragere a energiei magnetice este mare, căderea curentului este mult mai mare, până în momentul în care se decide întreruperea alimentării cu energie electrică. Acest moment este ales în mod diferit pentru fiecare proiectil în parte, în scopul obținerii unei viteze cât mai ridicate a proiectilului la gura țevei.

În figura 5 sunt redată graficele experimentale ale vitezelor realizate în țeava tunului electromagnetic bobină cu reluctanță, obținută pentru trei tipuri diferite de materiale ale armăturii.

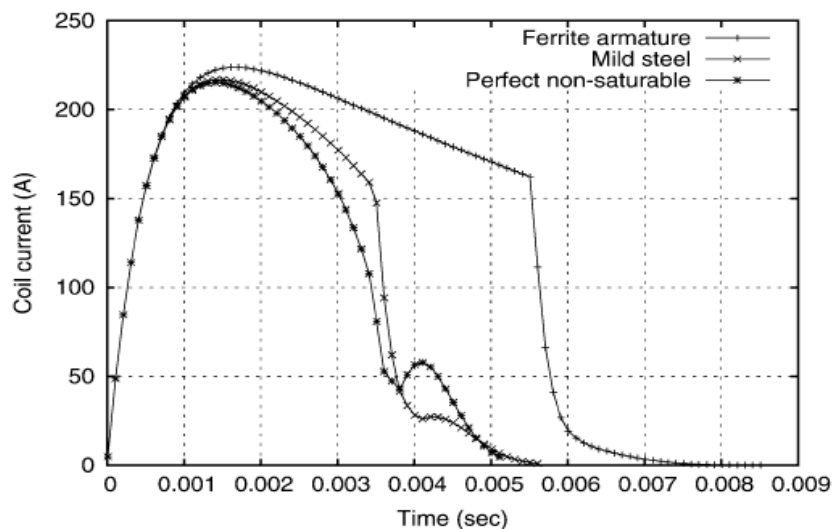
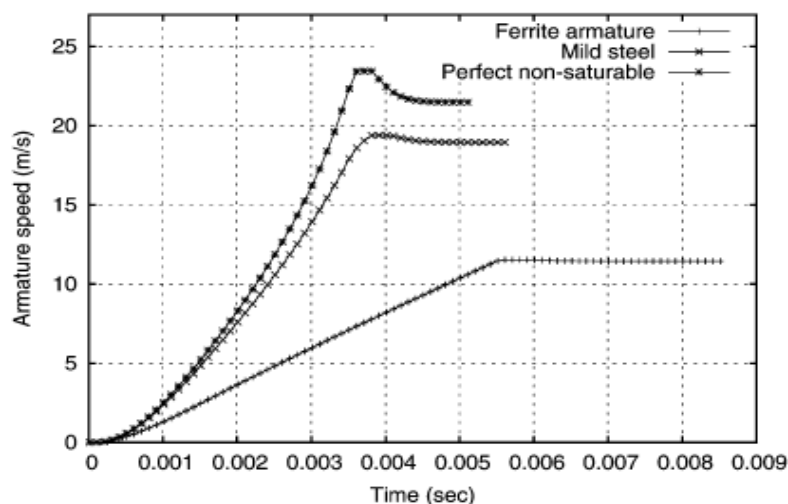


Fig. 5: Graficele experimentale ale curentului electric după G. William Slade

După cum se observă, corespunzător ratei de extragere a energiei câmpului magnetic și viteza este semnificativ mai mare pentru proiectilul confecționat din oțel sau ideal nesaturabil. Pentru armătura din ferită, viteza s-a înscris pe o pantă ușor ascendentă (fig. 6), comparativ cu celelalte două tipuri puternic feromagnetice, care au urmat o curbă exponențială a vitezei.



**Fig. 6:** Vitezele obținute experimental de către G. William Slade

Analiza comparativă a graficului vitezei obținut în lucrare pe cale analitică (fig. 4) cu cel experimental [2] în cazul proiectilului confecționat din ferită, permite desprinderea următoarelor concluzii:

- viteza pornește de la zero crescând asimptotic pe o curbă. Ulterior, aceasta are o dependență cvasiliniară de timp, atingând un maxim la momentul  $t_f = 0,0055$ , când se întrerupe alimentarea cu energie electrică. După momentul  $t_f$ , proiectilul se mișcă liber în afara lansatorului, sub acțiunea gravitației și a forței de rezistență a aerului;
- se constată identitatea formei graficului ridicat analitic (fig. 4) cu cel experimental (fig. 6);
- se observă o corelație foarte bună, a celor două grafice, atât din punctul de vedere al formei cât și al rezultatelor numerice. Pentru modelul propus se calculează o viteză la gura țevii de 11,68 m/s, foarte aproape de viteza obținută experimental (fig. 6).

Analiza comparativă a rezultatelor obținute pe cale analitică cu cele stabilite experimental validează corectitudinea și justetea calculelor teoretice.

### Bibliografie

- [1] Novacu, V., *Bazele teoretice ale fizicii*, vol.I, Editura Tehnică, București, 1990
- [2] Slade, G., W., *A Simple Unified Physical Model for a Reluctance Accelerator*, IEEE Transactions Magnetics, vol. 41, nr. 11, 2005
- [3] Slade, G., W., *Notes on FEA modeling of Coilgun Mass Accelerator*, <http://users.skynet.be/BillsPage/MassAccelerators.html>, 2006
- [4] Slade, G., W., *Fast Finite Element Solver for a Reluctance Mass Accelerator*, IEEE Transactions Magnetics, vol. 42, nr. 9, 2006
- [5] Wang Ying, Richard A. Marshall, Cheng Shukang, *Physics of Electric Launch*, Science Press, Beijing, 2004

\* Col. (r) doctorand Nicu Mihai, tel 0723 728168, e-mail: [mihain53@yahoo.com](mailto:mihain53@yahoo.com)

\*\* Gl.bg.(r) prof. dr. ing. Vasile Titică, Academia Tehnică Militară, B-dul George Coșbuc, 81-83, Sector 5, București, tel 021 3354660 int. 157, fax 021 3355763, e-mail: [titica@mta.ro](mailto:titica@mta.ro)

## ANALYZING OF AIRCRAFT TARGET PREDICTION USING A PROBABILISTIC MODE

Cornel PLEȘA \*  
Liviu COȘEREANU \*  
Daniel TURCANU \*

### **Abstract:**

*The prediction of the aircraft target in the optoelectronic visual field is given by the multiplication of different types of probabilities. The probability of aircraft target prediction is difficult to be estimated because it is influenced by a lot of parameters and conditions.*

*The paper presents our contribution regarding to the main parameters evaluation that influence the aircraft target prediction phenomenon.*

### I. INTRODUCTION

The detection represents the first level of observation and assumes that something is seen in the visual field of the optoelectronic device, something that is different from background and shows interest for the observer. Detection range represents the measured value from observation point to target in the visual field of optoelectronic device.

The observation stages are: detection, recognition and identification [1-7].

In order to ensure the observation details, the optoelectronic device must work with a well defined resolution. Mathematically, the characterization of these details is given by the ratio  $H/M$ , where  $H$  represents the minimum size of the target and,  $M$  is the observation factor that must be within the following values: detection ( $M = 1 \pm 0.25$ ), recognition ( $M = 4 \pm 0.8$ ) and identification ( $M = 6.4 \pm 1.50$ ).

### II. THEORETICAL MODEL OF AIRCRAFT TARGET PREDICTION

The probability for a aircraft target in the optoelectronic visual field to be discovered is given by the equation [1]:

$$P_{\text{det}} = P_1 \cdot P_2 \cdot \eta \quad (1)$$

where  $P_1$  is the probability that the observer, looking an area in the tactical field with a potential target, regards with fovea for a certain time (1/3 s) in the target direction,  $P_2$  is the probability that the image shown on the screen, seen with fovea and with no noise, have enough contrast and size to be detected.

The probability  $P_I$  is difficult to be estimated because it is influenced by solid angle of the visual field with the centre in the eye focal plane of the observer, by confused element number in the tactical field and by the presence of any information regarding the target position in the tactical field.

The equation for  $P_I$  is [5]:

$$P_I = 1 - e^{-\left(\frac{700}{G}\right)\left(\frac{a_t}{A_s}\right)t} \quad (2)$$

where,  $a_t$  is target area,  $A_s$  is area that will be analyzed and is the visual field area in the object plan,  $t$  is the observation time,  $G$  is the congestion coefficient having a value from 1 to 10 for majority targets of interest.

The display object observation time is calculated on the basis of the following assumptions: the approximate time for one looking (integration time) is from 0.1 to 0.3s, the instantaneous visual field one looking is  $5^\circ$ .

The observation time for a display that is seen in a visual field  $16^\circ \times 16^\circ$ :

$$t = \frac{16^\circ}{5^\circ} \times \frac{16^\circ}{5^\circ} \times 0.3 = 3.1s \quad (3)$$

The probability  $P_2$  for threshold contrast  $C_p$  is by definition 50%. The probability  $P_2$  could be calculated using the following equation for the other value of threshold contrast [5]:

$$P_2 \cong \frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 - e^{-4.2\left(\frac{C}{C_p} - 1\right)^2}} \quad (4)$$

Where the sign minus is used for  $C < C_p$ .

The  $\eta$  factor from eq. (1) is:

$$\eta = \begin{cases} 1 - e^{-(S/Z-1)} & S/Z \geq 1 \\ 0 & S/Z < 1 \end{cases} \quad (5)$$

Where  $S/Z$  is signal/noise ratio.

Therefore, using eq. (1), (2), (4) and (5), the equation that gives us the mathematics expression for detection probability of a target is:

$$P_d = \left(1 - e^{-\left(\frac{700}{G}\right)\left(\frac{a_t}{A_s}\right)t}\right) \cdot \left(\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{1 - e^{-4.2\left(\frac{C}{C_p} - 1\right)^2}}\right) \cdot (1 - e^{-(S/Z-1)}) \quad (6)$$

The contrast is given by equation:

$$C = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t + \rho_b} \quad (7)$$

where  $\rho_t$  is target reflection coefficient and  $\rho_b$  is the background reflection coefficient.

The contrast for thermal devices is:

$$C = \frac{T_t - T_b}{T_t + T_b} \quad (8)$$

where  $T_t$  is the mean temperature of the target and  $T_b$  is the background average temperature.

When a night vision device with image intensifier is used, the resolution that must be attained by the optoelectronic system with the certain probability is given by [2]:

$$R_d [lp/mm] = \frac{C}{S/Z \cdot \sqrt{F_A}} \sqrt{\frac{S_{fr} \rho_t T_a T_o E_t t \mathcal{E}}{2(1 + 4f_{nr}^2)(1 + C)e}} \times 10^{-3} \quad (9)$$

Where  $S/Z$  is the signal-noise ratio,  $T_a$  is the atmospheric transmission,  $T_o$  is the optical transmission of the objective,  $f_{nr}$  is the  $f$  number for objective,  $t$  is the eye integration

time,  $\varepsilon$  is the minimum size /maximum target size ratio,  $S_{fk}$  is the photocathode sensibility of the image intensifier,  $E_t$  is the target illumination, and  $F_A$  is the image intensifier noise factor.

The limit range, for the detection probability is given by eq. (10):

$$L_d = \frac{H}{M} R_d f_{ob} \quad (10)$$

where  $f_{ob}$  is the focal length of the objective.

If you have a thermal device than maximum detection range will be given by eq. (11):

$$L_{d,TIR} = \sqrt{\frac{T_o T_a \sigma \varepsilon' (T_t - T_b)^4 A_t A_{ob} D^*}{\pi \sqrt{A_d \Delta f}}} \quad (11)$$

where  $\sigma$  is the Boltzman constant,  $\varepsilon'$  is the target emissivity,  $A_t$ ,  $A_{ob}$   $A_d$  are the areas of the target, objective and detector,  $D^*$  is the sensor detectivity and  $\Delta f$  is the bandwidth.

### III. NUMERICAL SIMULATION

The variation of the detection probability (eq.2) with observing time is calculated and plotted in MathCad (see fig.1 and 2):

$$G_1 := 1 \quad G_2 := 5 \quad G_3 := 7 \quad G_4 := 10$$

$$a := 4 \text{ m}^2$$

$$A := 2000 \text{ m}^2$$

$$t := 0, 0.1.. 50s$$

$$P_1(t) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{700}{G_1}\right)\left(\frac{a}{A}\right)t\right]$$

$$P_2(t) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{700}{G_2}\right)\left(\frac{a}{A}\right)t\right]$$

$$P_3(t) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{700}{G_3}\right)\left(\frac{a}{A}\right)t\right]$$

$$P_4(t) := 1 - \exp\left[-\left(\frac{700}{G_4}\right)\left(\frac{a}{A}\right)t\right]$$

### IV. USER SIMULATIONS

We used a number of 10 observers (with no visual acuity problems) for determining the detection probability. We presented to them what are the meanings of the detection process. Among them, only a few who don't have military education. To all of them were presented the observation phases with examples (detected object, recognized object and identified object).



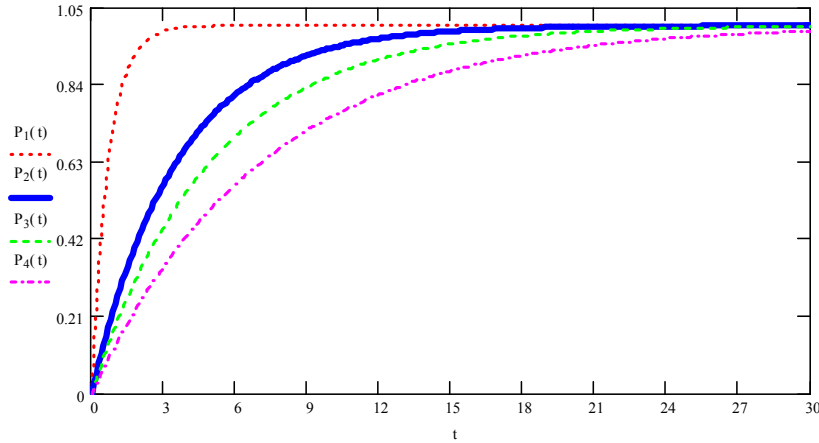


Fig. 1 Detection probability vs observation time and no range variation but with different congestion coefficient

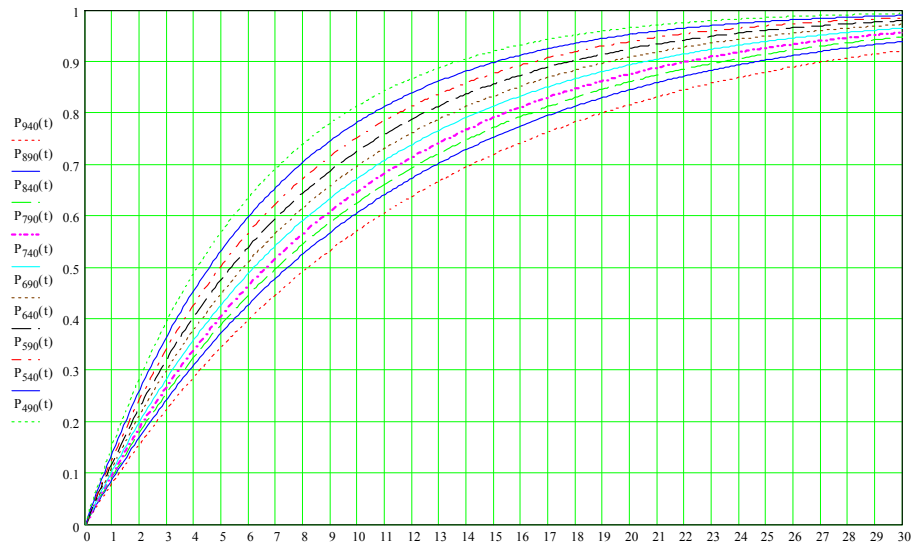
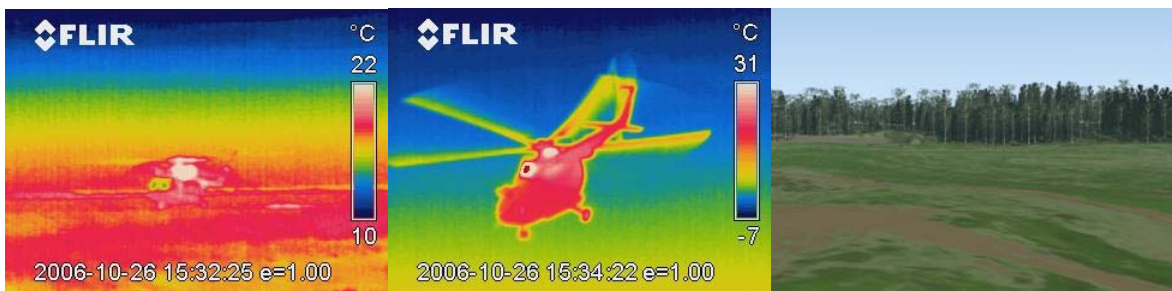


Fig. 2 Detection probability vs observation time and range variation but with constant congestion coefficient

The VIS and IR (for example, see fig.3) images were projected on a 20 inch display, 1280x1024 pixels resolution and optimum luminance. We approximated the optimum luminance to 1.5-3.0 cd/m<sup>2</sup> measured at the observer. The separation angle of the eye is taken to be 1 minute.

The images are skipped decreasing the distance to target, at  $t$  time each. Each observer notifies the moment when a discrimination task is fulfilled.



a). IR helicopter image, medium range      b). IR helicopter image, close range      c). VIS background image

Fig. 3 Target and background simulated images

Results:

Range	VIS images			
	1.5s	3s	6s	12s
940	0,00	0,00	0,00	0
890	0,00	0,00	0,00	0,125
840	0,00	0,00	0,13	0,125
790	0,00	0,13	0,13	0,375
740	0,13	0,13	0,38	0,625
690	0,13	0,38	0,63	0,875
640	0,13	0,63	0,88	0,875
590	0,38	0,88	0,88	0,875
540	0,50	0,88	0,88	1
490	0,63	0,88	1,00	1
440	0,88	0,88	1,00	1
390	0,88	0,88	1,00	1
340	0,88	0,88	1,00	1

Range	IR images			
	1s	2s	4s	12s
940	0	0,00	0,00	0,00
890	0	0,00	0,00	0,14
840	0	0,00	0,14	0,43
790	0	0,14	0,43	0,57
740	0,14	0,43	0,43	0,71
690	0,14	0,43	0,71	0,86
640	0,28	0,57	0,86	1,00
590	0,28	0,71	0,86	1,00
540	0,56	0,71	0,86	1,00
490	0,56	0,71	0,86	1,00

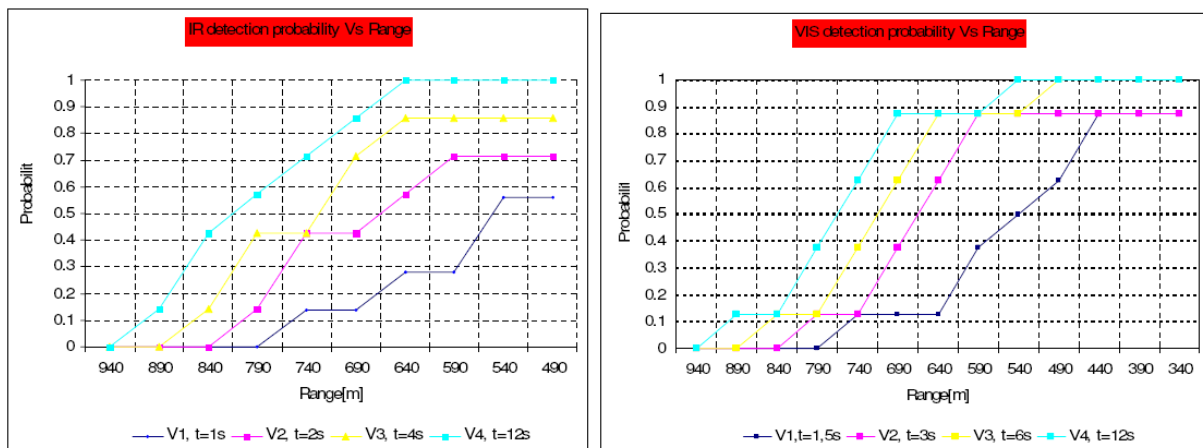


Fig. 4 Detection probability as a function of range and observing time

### 3. CONCLUSION

The aircraft target prediction could be realistic estimate with the help of the equation (6), and, also, is useful to show the detection range of the target. This equation was developed using both experimental measurements and numerical simulations and it is based on a probabilistic model. Detection range of an aircraft target could be negatively influenced by the atmospheric conditions represented in the eq. (10) and (11) only through atmospheric transmission.

### Bibliography

- [1] H. H. Bailey, Target Detection Through Visual Recognition: A quantitative Model, Rand Corporation, Santa Monica, Ca., February 1970.
- [2] C. Pleșa, E. Crețu, "Considerations on the implementation of a recognition model for a target for the modern optoelectronic systems" (in Romanian), Journal of the Military Equipment and Technologies Research Agency (in Romanian), Iss.2/2003.
- [3] C. Pleșa, "The use of infrared radiation for thermal signatures determination of ground targets", Communication to the 5<sup>th</sup> international Balkan Workshop on Applied Physics, Constanta, Romania, July 5-7, 2004.
- [4] C. Pleșa, Contributions to the calculation and construction of night vision systems with image intensifiers, Ph. D. Thesis, Military Technical Academy, 2006.

- [5] D. A. DeWolf, "Electro-Optics Handbook", p.122.
- [6] W. L. Wolfe, G. J. Zissis, The Infrared Handbook, Edited by the Infrared Information and Analysis (IRIA) Center, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI (1978).
- [7] C. Pleșa, L. Cosereanu D. Turcanu, „Aspects regarding evaluation of the camouflage materials in the thermal domain,, (in Romanian), Symposium of textile products for special domains (in Romanian), Bucharest, 2006

---

\* Mr.dr.ing. Pleșa Cornel , Col. conf. univ. dr. ing. Coșereanu Liviu , Lt. drd. ing. Turcanu Daniel - Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii Militare, Str. Aeroportului nr. 16, CP19 OP BRAGADIRU, județ Ilfov cod 077025, [liviuc@actm.ro](mailto:liviuc@actm.ro), [cpleasa@actm.ro](mailto:cpleasa@actm.ro), [edturcanu@actm.ro](mailto:edturcanu@actm.ro)

## CONSIDERATIONS ON RESCUE OPERATIONS BY AIR

Ionel POPA \*  
Adrian POPA \*\*  
Marian RISTEA \*\*\*

### *Abstract*

*Helicopters are now quite common throughout the world, especially in the vicinity of capital cities. In routine rescue operations police or emergency service helicopters are those most likely to be called to assist in search and rescue operations, and they are the ones with which FRB crews will need to be most familiar. In disasters/emergencies the aircraft of the Armed Forces may be deployed to support the civil community, particularly as a result of floods or cyclones.*

## I. INTRODUCTION

Rescue operations often require crew and passengers to work and travel in unfavourable conditions. Boats operate in sun, wind and rain and those travelling in boats are in the open with little or no shelter. There is always the possibility of crew, passengers or the person being rescued being affected by exposure to the elements. The conditions most likely to have an effect are:

- a. heat;
- b. cold
- c. moisture

### 1.1. HEAT

In hot weather those persons in an open boat will be subjected to direct sunlight, light reflected from the water, and any light coloured surface such as the boat hull. If the boat is stationary, the effect will be most obvious. While moving the effect is less obvious because of the breeze created by the boat's movement. In either situation, the end result can be similar; after a short period, people can suffer sunburn and/or heat exhaustion.

A person suffering from heat exhaustion will often become pale and cold, have temperature variations, be dizzy and nauseous. First aid for this condition is to



cool the casualty by providing shade and rest. A cold drink with added salts may assist.

When operating in hot weather, all crew should wear shady hats or caps and sunglasses and cover up in loose fitting clothing, preferably of cotton. Minimise exposure to the sun and heat, drink plenty of fluids and wear a good sunblock lotion.

## 1.2. COLD

When it is raining, during winter when strong winds are blowing, or when operating at night, cold will have an effect. The most common effect of cold conditions is discomfort, but if not checked, discomfort can extend to hypothermia.

Hypothermia is basically a loss of body core temperature. The human body has a body core temperature of about 37°C. With prolonged exposure to cold, people may tend to lose body heat faster than the body can cope. With this loss of body heat will come a loss of efficiency, injury or even death. A loss of as little as 2°C in body core temperature will cause serious hypothermia.

Where there is any wind, a 'wind chill' effect can be created even when the still air temperature is quite high. An example of wind chill effects is shown in Figure 1.

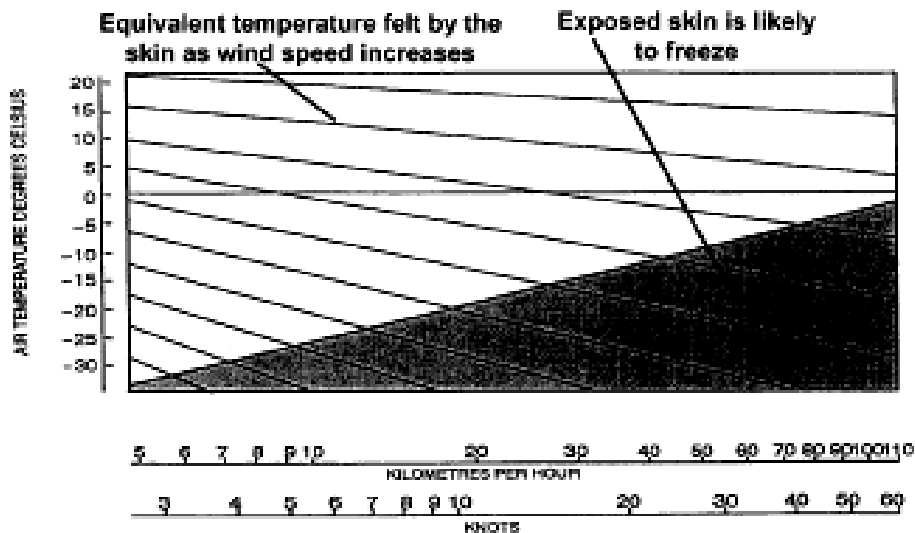


Figure 1 Wind Chill Graph—Equivalent Temperature Curves (Source, National SAR Manual)

Possible signs of hypothermia include extreme shivering, loss of coordination, mental rigidity, uncaring or flippant attitude, confusion and amnesia, muscular rigidity, collapse and unconsciousness.

The first aid for hypothermia involves gently rewarming the casualty by the provision of shelter, rest, warm clothing, warm (never hot) drinks (no alcohol or cigarettes), and huddling together to share body heat.

In cold weather operations, crew should wear layered clothing which can easily be adjusted to changing temperatures. This clothing should be preferably of wool, with a light windproof outer layer, gloves and wool hat or balaclava.



### 1.3. MOISTURE

Crews are required to wade, work in the rain or mist and are frequently splashed by waves or spray. When combined with cold and wet conditions, this can be extremely uncomfortable and exhausting and will greatly increase the likelihood of hypothermia.

Another problem relating to wet conditions is immersion. Persons trapped in flooded buildings, marooned by flood water or the survivors of sunken boats may have been immersed in water or exposed to cold for long periods. These conditions may affect the survivability of the victim/s.

Studies have shown that an average person wearing a life jacket and immersed in water has a life expectancy under various conditions, as shown in Figure 2.

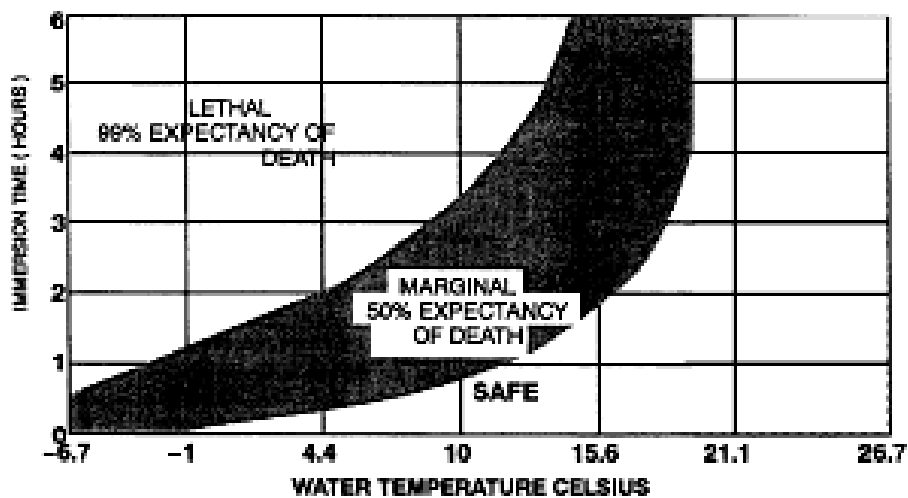


Figure 2—Water Chill without Anti-exposure Suit (Source, National SAR Manual)

The above figures are intended as a guide only. There are many variables relating to individuals and the effect of clothing.

Generally the precautions for wet conditions are similar to cold. Clothing requirements are much the same with the exception of waterproof clothing. Crews are advised to carry a change of clothing.

## II. HELICOPTER OPERATION WITH FLOOD RESCUE BOATS

Helicopters are now quite common throughout the world, especially in the vicinity of capital cities. In routine rescue operations police or emergency service helicopters are those most likely to be called to assist in search and rescue operations, and they are the ones with which FRB crews will need to be most familiar.

In disasters/emergencies the aircraft of the Armed Forces may be deployed to support the civil community, particularly as a result of floods or cyclones.

Procedures for the operation of fast rescue boats with helicopters have been developed from operational experience and exercises. These procedures are set out below.

## 2.1. DOWN-DRAUGHT EFFECT OF THE ROTOR

The down-draught from the rotors of a hovering helicopter plays havoc with stationary fast rescue boats. The down-draught from the helicopter to the boat is at about 45 degrees and this blast of air pushes the boat along in front of the approaching aircraft. On smaller fast rescue boats it may rotate the boat on the water.

This results in the relative positions of the helicopter and the fast rescue boat remaining constant and hinders a person or cargo being lowered into or retrieved from the fast rescue boat. (See Figure 3).

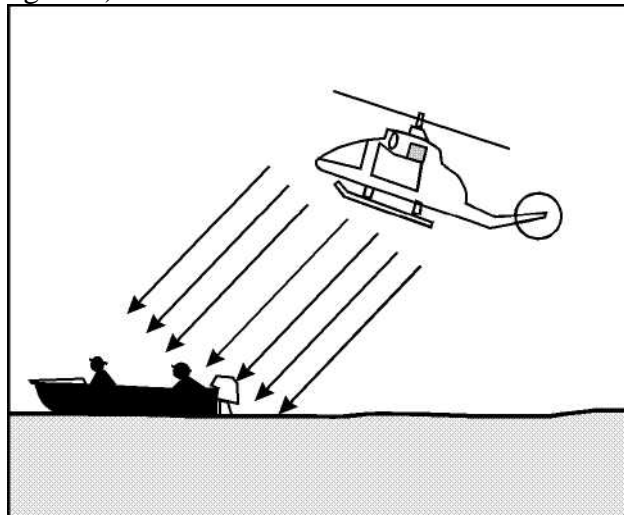


Figure 3 - Down-Draught Effect

Fast rescue boats not under way when approached by hovering helicopters will be pushed ahead and in circles by the down-draught making it very difficult for the helicopter to hover directly over the boat. To overcome this effect the boat should be travelling at a speed of about 15 knots. As the helicopter approaches the boat, the coxswain can hold the boat steady and the helicopter can then hover over the boat, and match its forward speed.

However, as the pilot cannot see the boat because it is directly below the aircraft, it is very difficult to hold station relative to the boat. The pilot is dependant on directions from the helicopter crew and the ability of the coxswain to hold a constant course and speed.

The winch line may be dropped into the fast rescue boat by this method and a person, or stretcher and patient removed. This method requires a high degree of skill and practice in order to be carried out safely and effectively. Avoid getting the winch rope wrapped around a person or object.

When winching a stretcher from a fast rescue boat a guy line needs to be attached to the foot end of the stretcher to prevent it spinning in the rotor wash causing further injury to the casualty, damage to the helicopter or a broken winch cable.

A fast and effective method of winching into or out of a fast rescue boat is as follows:

- a. Two fast rescue boats proceed in a straight line in line astern formation approximately 3 boat lengths apart at a speed of about 15 knots.
- b. The helicopter approaches astern the lead boat and positions itself so that the pilot looks straight down at the stern of the front boat at a height of about 10 to 20 metres. (See Figure 4).

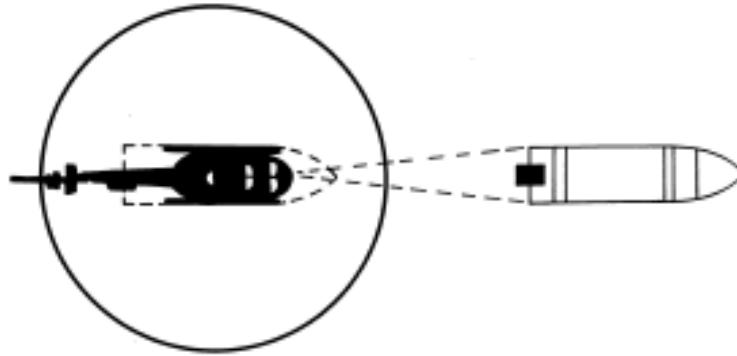


Figure 4 - Helicopter Winching Position

c. The helicopter should then be directly above the rear FRB and the crew can winch directly to or from the rear boat (see Fig 5).

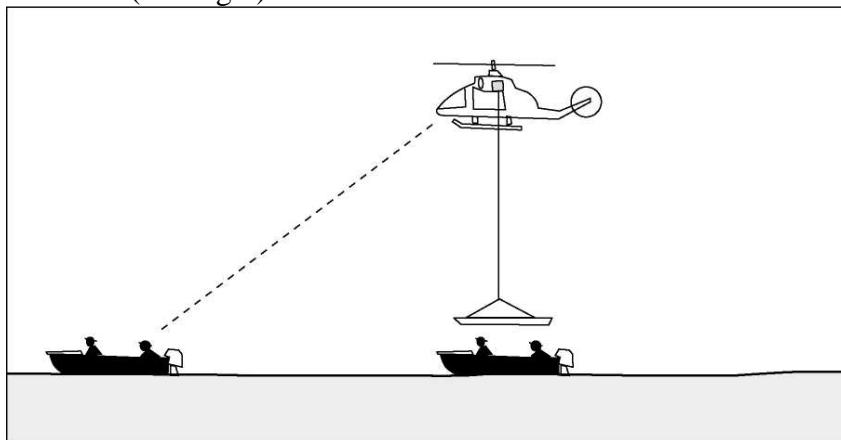


Figure 5—Helicopter Winching Position

In case that a passenger from an fast rescue boat need to be winched into a helicopter when only one boat is available, the following procedure should be observed:

- a. The boat may be secured fore and aft by anchors or some other means.
- b. The winch cable and sling can be dropped into the water as near the FRB as possible and the passenger should swim to the sling. For this to occur, the passenger must not be injured, and the crew will need to explain the winching procedure to the passenger. This method is dependant on calm conditions with little or no current.

All aircraft are affected by wind. Where possible the fast rescue boats should be moving into wind to allow the helicopter to approach into wind. Excessive cross wind or down wind approaches may result in the pilot aborting the mission.

All fast rescue boats crew that are likely to have to work with helicopters should undergo appropriate familiarisation training.

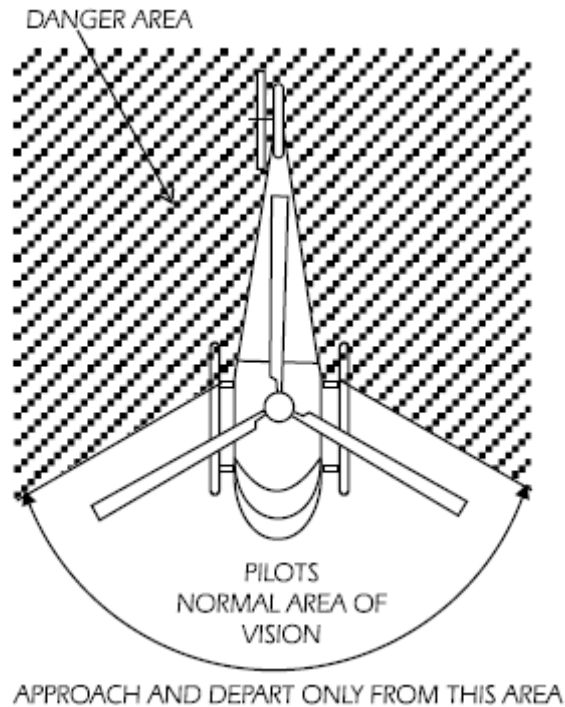


Figure 8—Approaching a Helicopter

### III. REFERENCES

1. **Australian Search and Rescue (AusSAR) - National Search and Rescue Manual'**
2. **New South Wales State Emergency Service—Handbook for Crews Operating Flood Rescue Boats, February 1971'**
3. **Queensland State Emergency Service—Flood Boat Operating Manual' Victoria State Emergency Service—Flood Rescue Boat Manual'**

---

\* Popa Ionel, sef lucr. univ. dr. ing., Academia Navala “Mircea cel Batran” Constanta, Str. Fulgerului, nr.1, e-mail: ionelpopaac@yahoo.com

\*\* Popa Adrian, asist. univ. drd. ing., Academia Navala “Mircea cel Batran” Constanta, Str. Fulgerului, nr.1

\*\*\* Ristea Marian, prep. univ. drd. ing., Academia Navala “Mircea cel Batran” Constanta, Str. Fulgerului, nr.1, e-mail: ristea\_k\_marian@yahoo.com

## PLANIFICAREA ÎNTREBUINȚĂRII ÎN LUPTĂ A RACHETELOR SOL - AER - o variantă -

Marcel PREDA\*  
Eugen BOAMBĂ\*\*

*În lucrarea de față dorim să prezentăm, pe scurt, câteva aspecte ale planificării apărării aeriene cu baza la sol a unor obiective în sistem CLUSTER.*

*Forma de apărare aeriană cu baza la sol de tip CLUSTER presupune întrebuințarea mai multor tipuri de sisteme de rachete sol-aer cu bătaie diferită<sup>1</sup>, în așa fel ca zonele de nimicire ale acestora să se suprapună de mai multe ori, pentru realizarea combaterii simultane a țintelor descoperite pe anumite direcții / spații și, în același timp, pentru sprijinul reciproc al acestora.*

*Pentru realizarea zonei de dislocare a sistemelor de rachete sol-aer în cadrul CLUSTER se pot adopta trei variante de dispozitiv de luptă: o dispunere circulară (balanced defence), așezarea pe direcția de așteptare a amenințării (weighted defence) sau pentru apărarea împotriva rachetelor balistice tactice.*

### I. Generalități privind întrebuințarea în luptă a rachetelor sol-aer

Misiunea de bază a unităților<sup>2</sup> de rachete sol-aer, ca forțe principale de apărare aeriană cu baza la sol, este contribuția la apărarea spațiului aerian în cadrul conceptului apărării aeriene integrate.

Sistemele de rachete sol-aer PATRIOT și HAWK sunt în principiu întrebuințate împreună în „zona de întrebuințare în luptă a rachetelor sol-aer” sau așa-numitul CLUSTER. În funcție de situație pot fi întrebuințate suplimentar în acest sistem rachetele sol-aer ROLAND.

Sistemul de apărare aeriană de tip CLUSTER poate fi întrebuințat, în funcție de situația creată, pentru apărarea aeriană a unor raioane importante, obiective sau grupe de obiective și a operațiilor forțelor terestre. Folosirea rachetelor sol-aer în cadrul operațiilor mobile ale forțelor terestre ridică mari probleme în ceea ce privește conducerea unităților de apărare aeriană respective.

---

<sup>1</sup> RSA cu bătaie diferită – rachete sol-aer de tip PATRIOT, HAWK, ROLAND

<sup>2</sup> Unitate de rachete sol-aer – o structură de tip PATRIOT, HAWK sau ROLAND

## II. Principiile planificării apărării aeriene în sistem CLUSTER

### 1. Principii generale

Principiile generale ale planificării apărării antiaeriene în sistem CLUSTER sunt valabile independent de structura forțelor componente ale acestuia.

Planificarea este un proces dinamic, care este influențat de următorii factori:

- ✓ evoluția situației
- ✓ modificări ale misiunii
- ✓ disponibilitatea sistemelor de rachete sol-aer, inclusiv a mijloacelor de conducere și comunicații

La planificarea apărării aeriene cu baza la sol în sistem CLUSTER repartizarea forțelor de rachete sol-aer trebuie în așa fel optimizată, încât efectul diferitelor sisteme de rachete sol-aer să fie folosit (întrebuințat), pe cât posibil în funcție de misiune, teren, obiectiv (repartizarea forțelor aparate) și amenințare.

Scopul este să fie creată o astfel de zonă de întrebuințare (CLUSTER), pentru ca zonele de nimicire ale diferitelor sisteme de rachete sol-aer să se suprapună de mai multe ori, în vederea realizării combaterii simultane a țintelor descoperite pe anumite spații și, în același timp, să se creeze sprijinul reciproc între unitățile de foc<sup>3</sup>, să poată fi optimizat sistemul de conducere a luptei / focului și să fie asigurată folosirea economică a rachetelor sol-aer.

La stabilirea zonei de dislocare a sistemelor de rachete sol-aer în cadrul CLUSTER este, de preferat, de câte ori este posibil, o dispunere circulară (*balanced defence*) (fig.1) unei așezări pe direcția de așteptare a amenințării (*weighted defence*) (fig.2).

#### Avantaje

- + putere de foc circulară
- + descoperire 360°
- + suprapunere între PATRIOT și HAWK
- + inexistența flancurilor descoperite

#### Dezavantaje

- inexistența triangulației la bruiaj
- putere de foc limitată împotriva unei amenințări dintr-o direcție
- imposibilitatea întrebuințării împotriva TBM

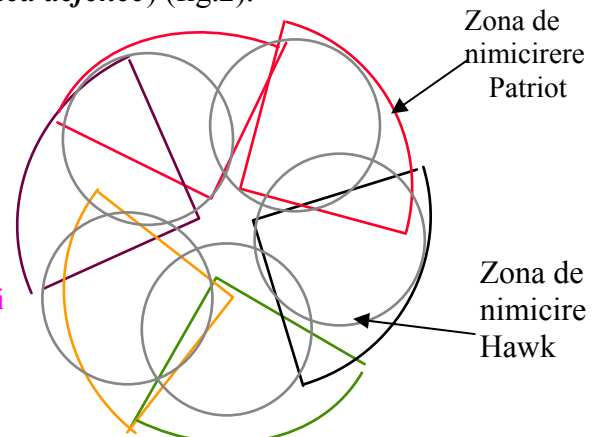


Fig.1 Apărare aeriană circulară

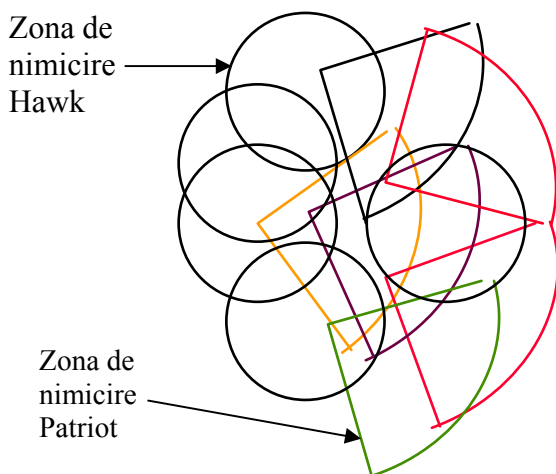


Fig.2 Apărare aeriană direcționată (orientată)

#### Avantaje

- + putere de foc maximă pe direcția principală de atac
- + suprapunere bună
- + sprijin reciproc între unitățile de foc
- + existența triangulației la bruiaj
- + posibila întrebuințare împotriva TBM

#### Dezavantaje

- flancuri deschise
- protecția HAWK numai de către PATRIOT
- apărarea aeriană în zona din spate posibilă numai la înălțimi limitate

<sup>3</sup> Unitate de foc – un sistem (instalație) de rachete sol-aer



O a treia posibilitate de întrebuințare a sistemului de apărare aeriană cu baza la sol de tip CLUSTER, specifică numai rachetelor sol-aer, este împotriva rachetelor balistice tactice TBM<sup>4</sup> (fig.3).

Caracteristici ale întrebuințării împotriva TBM

- necesită mai multe unități de foc
- are sens numai pentru unele obiective speciale
- nu este o apărare clasică a unui spațiu aerian, ci mai degrabă protecția unui oraș mare sau a unei grupări de trupe

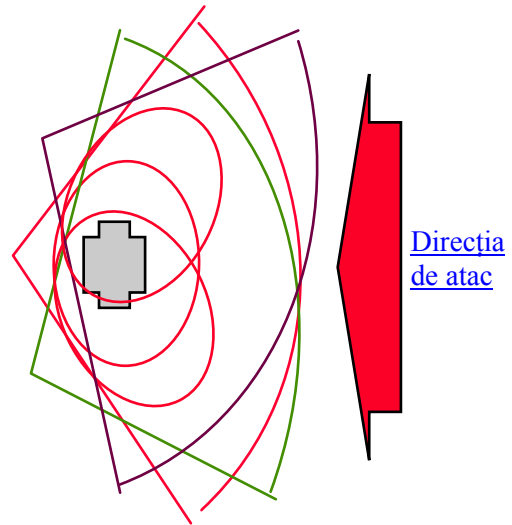


Fig.3 Apărare aeriană împotriva TBM

Este important de avut în vedere la planificare posibilitatea menținerii eficienței propriilor sisteme de rachete sol-aer și a mijloacelor de comunicații în cazul folosirii de către adversar a luptei electronice (fig.4,5).

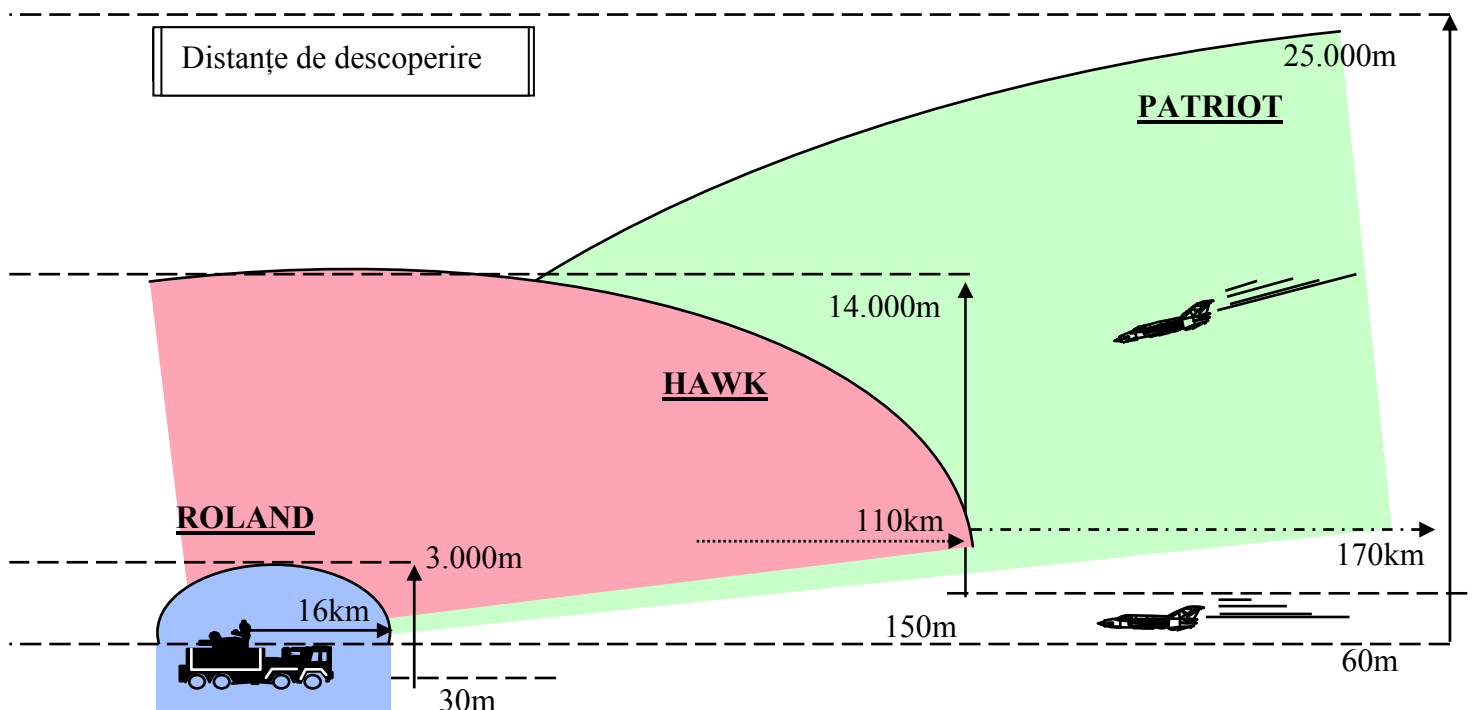


Fig.4 Sectoare de eficiență a sistemelor de rachete sol-aer întrebuințate în cadrul CLUSTER – secțiune transversală

<sup>4</sup> TBM – Tactical Ballistics Missile

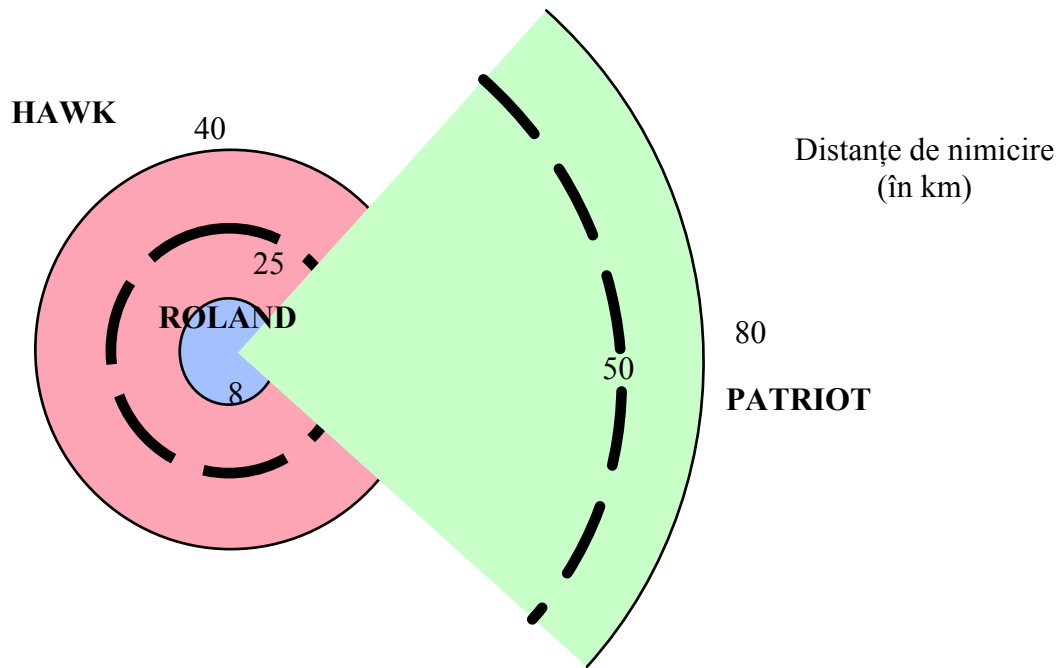


Fig.5 Sectoare de eficiență a sistemelor de rachete sol-aer întrebuințate în cadrul CLUSTER – secțiune longitudinală

Principial este de preferat o așezare în adâncime a sistemelor de rachete sol-aer, pentru a reuși o ocupare cât mai intensă a inamicului și a asigura protecția reciprocă a sistemelor proprii în cadrul zonei de întrebuințare în luptă.

Sistemul de rachete antiaeriene PATRIOT este folosit în cadrul CLUSTER datorită proprietăților sale deosebite, în special în lupta împotriva rachetelor cu aripi, și pentru întrebuințarea la distanțe medii.

Sistemul de rachete antiaeriene HAWK completează cu efectele sale sistemul PATRIOT în zona înălțimilor joase și foarte joase și închide „golurile” create în zona de întrebuințare în luptă (CLUSTER).

Sistemul de rachete antiaeriene ROLAND este întrebuințat în cadrul CLUSTER pentru protecția obiectivelor proprii sau pentru completarea celorlalte două sisteme de apărare aeriana cu baza la sol. Sistemul ROLAND poate în plus ajuta la închiderea „golurilor” apărute în zona de întrebuințare în luptă și protejează unitățile de rachete sol-aer pe timpul manevrelor.

La dislocarea sistemelor de rachete sol-aer și asigurarea legăturilor între acestea sau cu vecinii este necesar să se țină seama de atât de interferențele reciproce care pot apărea între sistemele proprii, precum și între acestea și sistemele învecinate.

Condițiile tactice pot face necesară o dislocare a sistemelor de rachete sol-aer în apropierea liniei de dinainte a apărării proprii - FLOT<sup>5</sup>. Principial unitățile de rachete sol-aer nu trebuie dislocate în zona de lovire indirectă a artileriei.

## 2. Principii specifice

La planificarea dislocării sistemelor de rachete sol-aer PATRIOT pentru apărarea aeriană cu baza la sol împotriva TBM este foarte important tipul rachetei respective, pentru că

<sup>5</sup> FLOT – Forward Line Own Troops

acesta definește, în mare măsură, poziția sistemelor PATRIOT pentru apărarea obiectivului (FOOTPRINT).

Dacă un sistem de rachete antiaeriene PATRIOT este planificat pentru apărarea antiaeriană împotriva TBM, trebuie orientat pe direcția principală de așteptare a adversarului – PTL<sup>6</sup>. O sursă de informații externă, care ar putea transmite datele necesare va duce la îmbunătățirea capacității de reacție a sistemelor PATRIOT împotriva TBM.

În cazul întrebuirii de către inamic a luptei electronice, la planificarea apărării aeriene cu baza la sol în sistem CLUSTER trebuie avut în atenție, ca cel puțin 2 unități de foc PATRIOT să aibă zonele de nimicire suprapuse, pentru a asigura o corelare a acestora. La folosirea capacității de triangulație a PATRIOT trebuie ca cel puțin 3 unități de foc să aibă zonele de nimicire suprapuse, în măsura în care limitările în zona de descoperire a radar sunt susținute.

Pentru sistemul de rachete sol-aer PATRIOT trebuie stabilit pe lângă PTL și câte o STL<sup>7</sup>.

### 3. Concluzii

Cu toate că sistemele de rachete sol-aer au în componere elemente ce asigură descoperirea, identificarea, urmărirea și combaterea țintelor aeriene, precum și instalațiile de conducere necesare ducerii luptei independente cu inamicul aerian, acestea sunt întrebuite, de regulă, într-o combinație de mai multe sisteme de foc de același tip sau diferite. Prin aceasta se pot obține o serie de avantaje, precum: creșterea puterii de foc prin folosirea sinergetică a diferitelor capacități, compensarea deficiențelor/limitelor tehnice ale unui sistem cu posibilitățile altuia, îmbunătățirea capacității de coordonare a conducerii, crearea unei înalte flexibilități, obligarea inamicului aerian de a se întrebuița suplimentar, precum și apărarea reciprocă a diferitelor sisteme.

### BIBLIOGRAFIE

1. Planificarea zonei de întrebuire în luptă a rachetelor sol-aer (Planificarea CLUSTER) / Lernunterlage – Planung der Flugabwehrraketeneinsatzzone (CLUSTER-Planung) – Führungsakademie der Bundeswehr, decembrie 2000
2. Conceptul conducerii și întrebuirii în luptă a unităților de rachete sol-aer ale forțelor aeriene / Konzept für Führung und Einsatz der FlaRak-Verbände der Luftwaffe – Bundesministerium der Verteidigung, Fül III 2 – AZ 31-01-01, 1994
3. Instrucțiuni pentru planificarea întrebuirii în cadrul zonelor de responsabilitate a rachetelor sol-aer / Anweisung für die Einsatzplanung in der FlaRak-Einsatzzone – LwFüKdo A 3 II, octombrie 1996

---

\* **Marcel Preda**, locotenent colonel, Academia Tehnică Militară, București, Bd. George Coșbuc nr.81-83, tel. 021 335 46 60 / 186, e-mail: spanish\_mark@yahoo.com

\*\* **Eugen Boambă**, colonel, Academia Tehnică Militară, București, Bd. George Coșbuc nr.81-83, tel. 021 335 46 60 / 212, e-mail: eboamba@mta.ro

---

<sup>6</sup> PTL - Primary Target Line

<sup>7</sup> STL - Secondary Target Line

## MODALITĂȚI DE ÎNTREBUINȚARE ÎN LUPTĂ A UNOR SISTEME DE RACHETE ANTIAERIENE

Marcel PREDA\*

*În lucrarea de față doresc să prezint, pe scurt, câteva caracteristici și modalități de întrebuințare în luptă a unor sisteme de rachete antiaeriene de producție vestică, rolul și locul acestora în cadrul apărării aeriene.*

*Sistemele de rachete antiaeriene, ca element al sistemului de apărare a spațiului aerian propriu, în cooperare cu celelalte componente, au un rol deosebit în menținerea supremației/superiorității aeriene și crearea condițiilor favorabile desfășurării acțiunilor de luptă ale celorlalte categorii de forțe și genuri de armă.*

*Diferitele sisteme de rachete antiaeriene, datorită caracteristicilor specifice de care dispun, sunt, în principiu, întrebuințate împreună în așa-numita „zonă de întrebuințare a rachetelor antiaeriene – CLUSTER”, dar pot juca un rol important și în mod individual în procesul de combatere a țintelor aeriene.*

### **I. Rolul și locul sistemelor de rachete antiaeriene în cadrul apărării aeriene**

Atât pe timp de pace, cât și în situații de criză, apărarea aeriană are ca obiectiv menținerea supremației/suveranității<sup>1</sup> aeriene, având ca elemente: supravegherea spațiului aerian propriu și alarmarea timpurie, prezența forțelor și mijloacelor de apărare aeriană și posibilitățile de acțiune a acestora în funcție de situație și capacitatea de a obține efectul scontat al armelor la obiectiv.

Apărarea aeriană se subdivide în două tipuri de acțiune: apărarea aeriană „activă” și apărarea aeriană „pasivă”.

Măsurile de apărare aeriană pasivă, care se iau încă din timp de pace (înainte de declanșarea acțiunii propriu-zise), constau în protecția propriilor forțe și mijloace: protejarea nemijlocită a personalului și materialelor prin construcții speciale și adăposturi, protejarea prin mascare, înșelarea, dispersarea și protecția electronică.

---

<sup>1</sup> Supremație aeriană – capacitatea forțelor aeriene proprii de a acționa nestingherit asupra inamicului, iar forțele aeriene ale acestuia nu mai au posibilitatea de a periclita propriul potențial  
Suveranitate aeriană – capacitatea, ca într-un spațiu de timp bine definit sau într-o zonă bine delimitată a spațiului aerian, deasupra teritoriului național, forțele aeriene proprii să poată desfășura operații fără o acțiune consistentă a inamicului aerian, iar pe de altă parte, acestuia să-i fie limitată libertatea de acțiune.

Apărarea aeriană activă cuprinde toate măsurile și activitățile de apărare directă sau de atenuare a atacurilor aeriene executate de către inamic. În cadrul apărării aeriene active sunt întrebuințate următoarele mijloace de război aerian: sistemul de conducere, mijloacele desupraveghere a spațiului aerian, mijloacele de luptă aeriană (aviația aer-aer) și mijloacele de luptă aeriană bazate la sol (GBAD<sup>2</sup>).

În cadrul apărării aeriene active, un rol deosebit îl au mijloacele de luptă aeriană bazate la sol – sistemele de rachete antiaeriene.

Misiunea de bază a sistemelor/unităților<sup>3</sup> de rachete antiaeriene, ca forțe principale de apărare antiaeriană, este contribuția la apărarea spațiului aerian în cadrul conceptului apărării antiaeriene integrate.

## II. Caracteristici ale unor sisteme de rachete antiaeriene de producție vestică

### 1. Sistemul de rachete antiaeriene PATRIOT

Sistemul de rachete antiaeriene PATRIOT (fig.1) este un sistem modern și foarte mobil, de generația a treia, dezvoltat în anii '70, care acoperă, într-un sector bine delimitat, o gamă variată de înălțimi<sup>4</sup>: de la cele joase, până la foarte mari. Acesta este dislocabil cu ajutorul mijloacelor aeriene de transport strategic și capabil de a duce acțiuni de luptă în orice condiții de stare a vremii. Totodată dispune de protecție, într-o foarte mare măsură, împotriva bruiajului electronic.



Fig.1 Sistemul de rachete antiaeriene PATRIOT

Sistemul dispune de un radar multifuncțional (căutare, descoperire, identificare, urmărire și iluminare a țintei). Sectorul de căutare este în plan orizontal de 90<sup>0</sup>, iar urmărirea țintelor aeriene și dirijarea rachetelor în timpul procesului de combatere sunt posibile în plan orizontal într-un sector (Track-Sector) de 120<sup>0</sup>.

Cu cele 32 de rachete (o unitate de foc<sup>5</sup>) ale încărcăturii maxime pentru cele 8 instalații de lansare ale unei unități, pot fi combătute concomitent 9 ținte. Suplimentar sistemul dispune de încă o unitate de foc (32 de rachete), ca încărcătură de rezervă în cadrul dispozitivului de luptă.

Sistemul de rachete antiaeriene PATRIOT poate să descopere și să combată, în condiții limitate, în modul de lucru „ATBM<sup>6</sup>”, rachete balistice tactice. De asemenea are posibilitatea combaterii rachetelor antiradiolocație (ARM<sup>7</sup>).

Pentru a putea combate TBM, se activează un sector special de căutare TBM, cu dezactivarea sectorului de descoperire pentru distanțe mari (fig.2). Sectorul de căutare TBM

<sup>2</sup> GBAD – Ground Based Air Defence

<sup>3</sup> Sistem / Unitate de rachete antiaeriene – o structură de tip PATRIOT, HAWK, ROLAND, STINGER etc.

<sup>4</sup> Gamele de înălțimi

Foarte joase	< 500 ft	< 150 m
Joase	500-5.000 ft	150-1.600 m
Medii	5.000-25.000 ft	1.600-7.500 m
Înalte	25.000-50.000 ft	7.500-15.000 m
Foarte înalte	> 50.000 ft	> 15.000 m

<sup>5</sup> Unitate de foc – o cantitate de rachete antiaeriene de care dispune sistemul, cu care este în măsură să ducă acțiuni de luptă fără o încărcare suplimentară

<sup>6</sup> ATBM – Anti Tactical Ballistics Missiles

<sup>7</sup> ARM – Anti Radiation Missiles

acoperă în înălțare o zonă cuprinsă între cca. 20-90° și în azimut este posibil un câmp între +/- 30° pe direcția principală de acțiune.

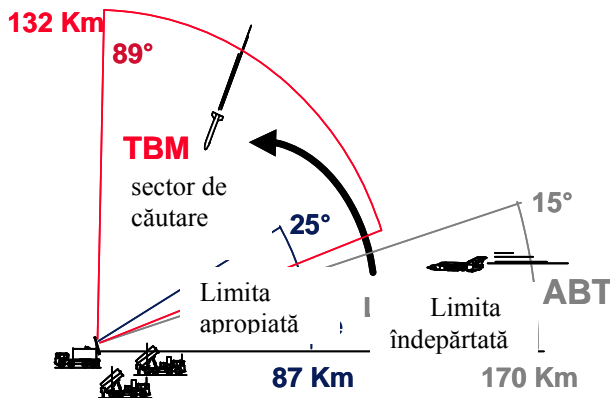


Fig.2 Zona de nimicire a sistemului de rachete antiaeriene PATRIOT

## 2. Sistemul de rachete antiaeriene HAWK

Sistemul de rachete antiaeriene HAWK (fig.3) este un sistem mobil, dezvoltat pentru US Army la mijlocul anilor '50, care combate ținte aeriene circular, în gama de înălțimi foarte joase și mijlocii. Este capabil de luptă în orice condiții meteo și poate fi dislocabil cu ajutorul mijloacelor aeriene de transport, după o pregătire prealabilă.

O unitate de luptă este întrebuințată conform principiului „jumătății” (AFU<sup>8</sup>), ceea ce face posibilă combaterea concomitentă a 2 ținte aeriene. Această opțiune de întrebuințare în luptă cere o mare flexibilitate tactică. O jumătate de unitate dispune de 3 instalații de lansare, fiecare cu câte 3 rachete antiaeriene, precum și 9 suplimentare.

Capacitățile de urmărire pasivă, electrooptică a țintelor aeriene (HEOS<sup>9</sup>), de combatere a elicopterelor (HEADTS<sup>10</sup>) și de conducere centrală în cadrul CLUSTER, pot să fie realizate, respectiv optimizate prin măsuri de evaluare pe timpul luptei.

Sistemul de rachete antiaeriene HAWK nu dispune de posibilități de apărare împotriva rachetelor balistice tactice.

## 3. Sistemul de rachete antiaeriene ROLAND

Sistemul de rachete antiaeriene ROLAND (fig.4) este un sistem foarte mobil, rezultat al dezvoltării comune germano-franceze, care servește în principal pentru apărarea antiaeriană nemijlocită, în gama de înălțimi foarte joase și mijlocii. Este capabil de întrebuințare în orice condiții ale vremii.

Instalația de rachete antiaeriene ROLAND este un sistem antiaerian autonom cu o distanță de descoperire de 16 Km., care dispune de o opțiune de combatere atât optică, cât și cu ajutorul radarului de până la 6 Km. Cu o



Fig.3 Sistemul de rachete antiaeriene HAWK



Fig.4 Sistemul de rachete antiaeriene ROLAND

<sup>8</sup> AFU – Assault Fire Unit

<sup>9</sup> HEOS – Hawk electronic optical sensor

<sup>10</sup> HEADTS – Helicopter and Aircraft Detection and Training System



probabilitate de nimicire mai mare de 90%, o rachetă antiaeriană ROLAND are o rază de acțiune a exploziei la țintă de aproximativ 6 metri.

Un punct de comandă antiaerian ROLAND poate conduce până la 10 instalații de rachete antiaeriene și poate acoperi cu ajutorul radarului suplimentar o zonă de descoperire de până la 60 Km.

Sistemul de rachete antiaeriene ROLAND poate ușor transportabil cu ajutorul avioanelor de transport C-130/C-160.

Combaterea rachetelor cu aripi de către rachetele antiaeriene ROLAND nu este posibilă.

#### 4. Sistemul de rachete antiaeriene STINGER

Sistemul de rachete antiaeriene STINGER (fig.5) este un sistem antiaerian portabil, care este întrebuințat pentru apărarea obiectivelor de dimensiuni mici împotriva atacurilor din aer, în gama de înălțimi foarte joase și joase. În plus acesta oferă premise ideale pentru protecția antiaeriană a unităților pe timpul deplasărilor (manevrelor).



Fig.5 Sistemul de rachete antiaeriene STINGER

Instalația STINGER este orientată optic, iar racheta se lansează pasiv pe ținta aeriană după principiul căutării termice și se dirijează după lansare independent în țintă.

La o distanță între 0,4 și 6 Km. instalația dispune de o posibilitate de lovire foarte mare, iar prin folosirea unui dispozitiv de vedere nocturnă, devine ușor de întrebuințat și pe timp de noapte. O posibilitate de identificare electronică, precum și capacitatea de întrebuințare în orice condiții de stare a vremii nu sunt totuși posibile.

#### 5. „Sistemul de rachete antiaeriene al noii generații” MEADS

MEADS<sup>11</sup> este un sistem de rachete antiaeriene foarte mobil și ușor dislocabil pe cale aeriană, care ar putea combate în viitor întreg spectrul de amenințări aeriene. Modularitatea și arhitectura deschisă a sistemului fac posibilă o alcătuire flexibilă din sensori, tipuri de rachete și elemente de conducere a luptei. De aceea acest sistem este potrivit în special pentru întrebuințarea în situații limită pe timpul situațiilor de criză.

Proiectul de înzestrare trinațional MEADS (SUA, Italia, Germania) ar trebui să înglobeze într-un sistem toate capacitățile propuse în jurul anului 2012, potrivit planificării făcute.

MEADS va îmbunătăți considerabil capacitatea de apărare împotriva rachetelor balistice tactice și ar trebui să constituie baza pentru un sistem de apărare aeriană al noii generații, ai cărui parametri să unească actualele 3 sisteme de rachete antiaeriene PATRIOT, HAWK și ROLAND.

### III. Modalități de întrebuințare în luptă a sistemelor de rachete antiaeriene

Rachetele antiaeriene sunt mijloace de luptă cu reacție rapidă ale apărării antiaeriene, care pot fi menținute pe perioade de timp mari într-o traptă ridicată de pregătire pentru luptă.

Pentru că sistemele de rachete antiaeriene PATRIOT și HAWK, datorită caracteristicilor specifice de performanță (zonă eficace în plan orizontal și vertical, timpul de

<sup>11</sup> MEADS – Medium Extended Air Defence System

reacție și gradul de mobilitate), nu pot acoperi toate gamele de distanțe și înălțimi sau toate categoriile de amenințări, acestea sunt, în principiu, întrebuințate împreună în „zona de întrebuințare în luptă a rachetelor antiaeriene” sau așa-numitul CLUSTER sau pentru apărarea antiaeriană a grupelor de obiective. În funcție de situație pot fi întrebuințate suplimentar sistemele de rachete antiaeriene ROLAND și STINGER, pentru protecția (apărarea) obiectivelor izolate sau completarea zonelor de descoperire și de nimicire ale sistemelor PATRIOT și HAWK.

Întrebuințarea eficace a sistemelor de rachete antiaeriene în CLUSTER, respectiv apărarea antiaeriană nemijlocită a grupelor de obiective presupune:

- eficacitate circulară cu concentrare pe direcția principală de amenințare, de la înălțimi de zbor ale aeronavelor inamice joase până la cele mari, în toate condițiile de stare a vremii, precum și sub influența bruiajului electronic sau a armelor de nimicire în masă;
- probabilități de nimicire ridicate;
- capacitate de combatere simultană a mai multor ținte aeriene;
- mobilitate ridicată;
- capacitatea, ca la pierderi să poată lupta coordonat cu părțile intacte ale sistemelor.

Conducerea grupelor de rachete antiaeriene și menținerea interoperabilității între sisteme se realizează în principiu prin intermediul unui punct de comandă al rachetelor antiaeriene – SAMOC<sup>12</sup>.

Sistemul de apărare aeriană de tip CLUSTER poate fi întrebuințat, în funcție de situația creată, pentru apărarea antiaeriană a unor raioane importante, obiective sau grupe de obiective și a operațiilor forțelor terestre. Folosirea rachetelor antiaeriene în cadrul operațiilor mobile ale forțelor terestre ridică mari probleme în ceea ce privește conducerea unităților de apărare antiaeriană respective.

Pe lângă întrebuințarea în cadrul CLUSTER sistemele de rachete antiaeriene ROLAND poate fi întrebuințat și de sine-stătător pentru apărarea antiaeriană a unor puncte dinainte stabilite (fig.6), pentru apărarea antiaeriană nemijlocită a unor obiective de dimensiuni mici (fig.7) și pentru apărarea antiaeriană a coloanelor pe timpul manevrelor (fig.8).

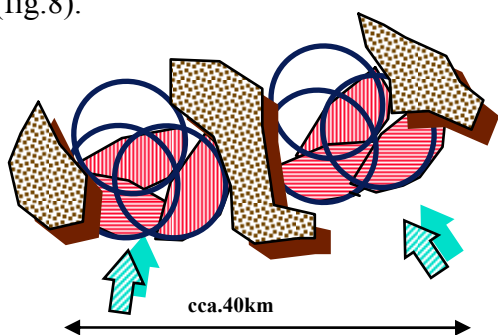


Fig.6 Apărarea antiaeriană a unor puncte dinainte stabilite cu ROLAND

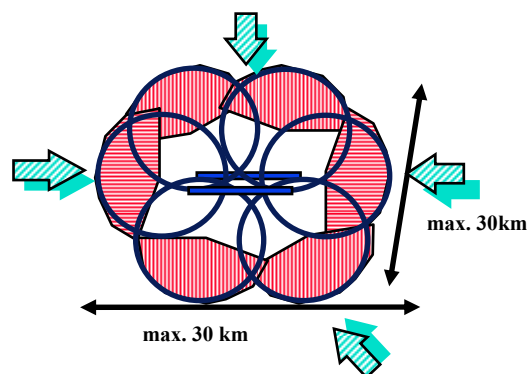


Fig.7 Apărarea antiaeriană nemijlocită cu ROLAND

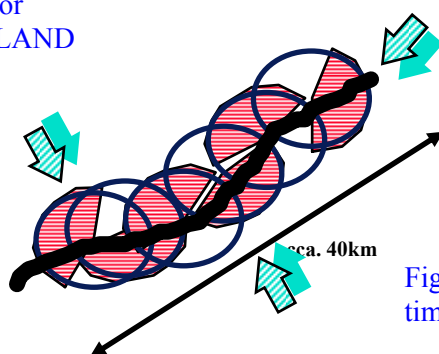


Fig.8 Apărarea antiaeriană pe timpul manevrelor cu ROLAND

<sup>12</sup> SAMOC – Surface to Air Missile Operation Centre

Pentru protecția antiaeriană nemijlocită a unor obiective de dimensiuni mici sau a trupelor în mișcare este folosit sistemul de rachete antiaeriene STINGER.

Pentru viitor se are în vedere la întrebuințarea în luptă a diferitelor sisteme de rachete antiaeriene:

- realizarea interoperabilității (chiar și internațional);
- asigurarea mobilității și capacității de dislocare la distanțe mari;
- întrebuințarea unor unități de luptă de dimensiuni mici și eficiente.

#### **IV. Concluzii**

Cu toate că sistemele de rachete antiaeriene au în componere elemente ce asigură descoperirea, identificarea, urmărirea și combaterea țintelor aeriene, precum și instalațiile de conducere necesare ducerii luptei independente cu inamicul aerian, acestea sunt întrebuințate, de regulă, într-o combinație de mai multe sisteme de foc de același tip sau diferite. Prin aceasta se pot obține o serie de avantaje, precum: creșterea puterii de foc prin folosirea sinergetică a diferitelor capacități, compensarea deficiențelor/limitelor tehnice ale unui sistem cu posibilitățile altuia, îmbunătățirea capacității de coordonare a conducerii, crearea unei înalte flexibilități, obligarea inamicului aerian de a se întrebuința suplimentar, precum și apărarea reciprocă a diferitelor sisteme.

#### **BIBLIOGRAFIE**

1. Lernunterlage für den Hörsaal Luftwaffe – Luftverteidigung – Führungsakademie der Bundeswehr, FüL Lw, Hamburg, noiembrie 2001
2. Arbeitsheft – Luftverteidigung / Fachliche Weiterbildung der Offiziere des Truppendienstes in der Luftwaffe – Offizierschule der Luftwaffe, iunie 2000
3. die Zeitschrift „Luftwaffe” – CPM Communication Presse Marketing GmbH und Führungstab der Luftwaffe, 2002

---

\* **Marcel Preda**, locotenent colonel, Academia Tehnică Militară, București, Bd. George Coșbuc nr.81-83, tel. 335 46 60 / 186 e-mail: spanish\_mark@yahoo.com

## PERSPECTIVELE PARTENERIATULUI PUTERE AERIANĂ – PUTERE TERESTRĂ

Marius Șerbeszki\*

*Acțiunea întrunită, privită cel puțin ca un ideal, este greu de neluat în seamă însă, înainte de a decide începerea unui parteneriat aer-sol, trebuie găsit răspunsul la o întrebare care să pună în discuție dacă o asemenea integrare este fezabilă. Obstacolele, din acest punct de vedere, sunt substanțiale. Categoriile de forțe trebuie să renunțe la tradiționala deținere a relației de comandă în termenii „comandant sprijinit” și „comandant care sprijină”. Mai mult decât atât, adevărata integrare necesită comandanți versați în operații aeriene, terestre și întrinite, beneficiind de o pregătire, educație și experiență ce puțini ofițeri o au în prezent.*

Susținătorii pasionați ai puterii aeriene, de regulă, nu vorbesc sau scriu prea multe despre rolul acesteia în atacurile împotriva forțelor terestre. Cu câteva excepții, superioritatea aeriană și atacurile strategice constituie temele dominante în lucrările ce abordează teoria puterii aeriene. Cu toate acestea, nimicirea forțelor militare ale inamicului a constituit, de regulă, o condiție necesară pentru obținerea victoriei militare și, deseori, a fost și suficientă.

Atacurile împotriva forțelor terestre inamice nu reprezintă singura modalitate prin care puterea aeriană poate contribui la înfrângerea inamicului – obținerea superiorității aeriene are o importanță critică pentru acțiunile desfășurate în spațiul de luptă și reprezintă, de regulă, o condiție necesară pentru asigurarea eficacității operațiilor aeriene împotriva forțelor de suprafață, iar atacurile strategice, la rândul lor, pot diminua substanțial capacitatea de luptă a inamicului. Chiar dacă nu sunt privite cu mult entuziasm de către aviatori, atacurile aeriene împotriva forțelor terestre au jucat, în majoritatea cazurilor, rolul principal în obținerea succesului militar. Misiunile de interdicție aeriană și sprijin aerian apropiat executate de aliați în cel de-al doilea război mondial au contribuit substanțial la eliberarea Europei de vest. În Vietnam, puterea aeriană a oprit Ofensiva de Paști din anul 1972. De asemenea, puterea aeriană îndreptată împotriva forțelor terestre a neutralizat rapid armata irakiană în 1991, forțele talibane din Afganistan în 2001 și, din nou, armata irakiană în 2003, de fiecare dată conducând la obținerea unor rezultate decisive. Înfrângerea Serbiei în anul 1999 constituie o excepție de la acest mod de acțiune, excepție ce pare să întărească regula.

În unele cazuri, forțele terestre inamice pot reprezenta singurele ținte - acceptabile din punct de vedere politic – împotriva cărora pot fi executate atacuri aeriene sau singurele ținte care să „merite” executarea unor atacuri pe scară mare. De asemenea, politicienii și strategii

militari tind să opteze pentru astfel de atacuri, considerându-le „acceptabile” din punct de vedere politic și legal. Legile conflictelor armate interzic atacurile asupra țăintelor civile, iar atacurile executate împotriva unor obiective cu dublă utilizare, civilă și militară, pot atrage după sine efecte negative semnificative la nivel politic. O astfel de problemă devine și mai acută în cazul războaielor de coaliție la care participă mai multe state. Fără îndoială, atacarea forțelor militare inamice este considerată atât morală, cât și legitimă, ceea ce îi determină pe liderii politici să le autorizeze cu ușurință și să delege conducerea executării lor comandanților militari. Totuși, în unele circumstanțe, chiar și în cazul atacurilor executate împotriva forțelor militare inamice pot apare unele considerații de ordin moral, în mod particular atunci când aceste forțe sunt formate din personal recrutat cu forța de către regimuri dictatoriale.

Abilitatea puterii aeriene de a nimici forțele terestre a crescut de la generație la generație, pe măsură ce s-au perfecționat aeronavele, senzorii și munițiile. Începând deja din timpul celui de-al doilea război mondial, puterea aeriană a reprezentat o forță de temut împotriva unităților terestre. Cu toate acestea, capabilitățile puterii aeriene în ceea ce privește atacarea țăintelor terestre erau limitate din multe puncte de vedere. Spre exemplu, pe timp de noapte sau în condiții meteorologice dificile, forțele terestre erau imune la atacurile din aer, vehiculele blindate puteau fi atacate din aer însă erau greu de nimicit, iar nimicirea forțelor terestre inamice cu un anumit grad de precizie necesita ca avioanele de atac la sol să se apropie destul de mult de acestea ceea ce le făcea extrem de vulnerabile la focul artileriei antiaeriene, provocând pierderi în rândul forțelor aeriene, pierderi ce astăzi ni s-ar părea inacceptabile.

În prezent, situația este mult diferită în sens pozitiv; cu toate acestea, puterea aeriană are încă limitări atunci când este întrebuințată împotriva forțelor terestre. Capabilitățile de atac pe timp de noapte au crescut foarte mult odată cu dezvoltarea unor senzori perfecționați. Astfel, putem afirma că țăintele terestre sunt uneori mai vulnerabile la atacurile din aer executate pe timp de noapte decât cele executate ziua, iar capabilitățile de atac în condiții meteorologice dificile au fost mult îmbunătățite odată cu apariția munițiilor dirijate prin satelit. Muniția dirijată cu precizie a făcut ca atacul unor ținte punctiforme - cum ar fi vehiculele blindate - să fie mult mai eficient și, totodată, a permis aeronavelor să execute atacuri de la altitudini și distanțe mari, reducându-se astfel pierderile datorate acțiunilor mijloacelor de apărare aeriană ale inamicului, precum și executarea unor atacuri strategice cu grad ridicat de discriminare.

Desigur, în prezent și forțele terestre dispun de un potențial de luptă sporit. Spațiul de luptă a devenit un loc mult mai periculos datorită capacităților îmbunătățite de supraveghere, mijloacelor moderne de ochire și sistemelor de arme perfecționate. Puterea aeriană rămâne încă departe de a fi omnipotentă, în special când se dorește lovirea unor ținte greu de detectat și identificat sau când se acționează în mediul urban sau în teren complex. Totuși, eficacitatea puterii aeriene împotriva forțelor terestre a crescut în asemenea măsură încât deseori este posibil să vorbim de „număr de obiective nimicite într-o ieșire avion” în loc de „număr de ieșiri-avion pentru nimicirea unui obiectiv”, cel puțin atunci când se acționează împotriva forțelor terestre convenționale ale inamicului, cum ar fi unitățile de blindate. Aceasta se datorează faptului că, pe de o parte, abilitatea puterii aeriene de a ataca forțele terestre inamice a crescut mult mai repede decât abilitatea forțelor terestre de a supraviețui unui atac din aer, iar pe de altă parte, abilitatea puterii aeriene de a nimici forțele terestre a crescut mult mai rapid decât abilitatea forțelor terestre de a nimici forțele terestre inamice.

Aceste transformări au produs o schimbare fundamentală a rolului jucat de puterea aeriană împotriva forțelor terestre. Unitățile din adâncimea teritoriului inamic pot fi nimicite chiar dacă sunt dispuse în poziții defensive întărite. Executarea cu eficiență a misiunilor de interdicție aeriană poate preveni declanșarea de către inamic a atacurilor sau contraatacurilor împotriva forțelor proprii, reducând astfel nevoile de executare a sprijinului aerian apropiat.

Totodată, aceste schimbări au transformat sprijinul aerian apropiat într-o misiune mult mai eficientă decât a fost vreodată. Viitoarele doctrine și regulamente de luptă ale forțelor terestre și aeriene vor trebui să ia în considerare aceste schimbări.

Capabilitățile crescânde ale puterii aeriene relativ la puterea terestră nu implică, totuși, că forțele terestre au devenit inutile. Ele pot executa misiuni pe care aviația nu are posibilitatea să le execute sau chiar execută unele misiuni mult mai bine decât ar putea să le execute aviația.

Misiunile ce pot fi executate numai de forțele terestre sunt cele care implică contactul uman cu populația locală. Există o gamă mare de misiuni de acest gen ce se întinde de la acțiuni de scotocire (tip „caută și distruge”) împotriva formațiunilor de gherilă sau insurgenților la administrarea teritoriului ocupat, de la colectarea de informații (HUMINT) la desfășurarea unor activități cu caracter constructiv, fie pentru câștigarea încrederii populației locale, fie în scopuri umanitare. Activitățile care necesită contact uman tind să devină cele mai importante pe timpul executării misiunilor de contrainsurgență, stabilizare, menținere a păcii, reconstrucție etc.

Pe lângă aceste activități, forțele terestre dispun de avantaje semnificative față de puterea aeriană, în special față de aviație (avioane cu aripă fixă). Cel mai semnificativ avantaj îl constituie capacitatea de a executa rapid focul împotriva țintelor apărute prin surprindere, cum ar fi focul împotriva artileriei inamice, atunci când artileria proprie dispune de raza de acțiune necesară. În aceste cazuri, când este necesar un timp de reacție scăzut (de regulă, două minute sau chiar mai puțin), artileria poate da rezultate mai bune decât puterea aeriană, exceptând cazul în care bazele de decolare ale aviației sunt dispuse în apropiere sau mijloacele de aviație execută patrularea de luptă în zona de acțiune a forțelor terestre. Spre exemplu, pe timpul campaniei americane din Vietnamul de sud, misiunea de a executa foc de răspuns rapid în sprijinul patrulilor surprinse în ambuscade a fost preluată de către un sistem de subunități de artilerie dislocate în teritoriu, renunțându-se în mod progresiv la menținerea aeronavelor în misiuni de patrulare de luptă pentru asigurarea sprijinului aerian apropiat „la chemare”. De asemenea, plasarea unor luptători tereștri proprii în apropierea inamicului este deseori necesară pentru localizarea și indicarea țintelor. Astfel, forțele terestre au o contribuție importantă la succesul atacurilor aeriene. Pe scurt, forțele terestre rămân încă indispensabile în spațiul de luptă modern, asigurând anumite capabilități ce nu pot fi înlocuite prin acțiunile puterii aeriene.

Pentru a spori mobilitatea strategică și tactică a forțelor și a reduce necesarul de sprijin logistic al acestora, armatele moderne își schimbă structura de forțe, punând un accent mai mare pe organizarea unor forțe de dimensiuni medii - ce sunt mai vulnerabile la focul inamicului decât forțele blindate tradiționale - și reducând ponderea artileriei din organica acestora. Aceste forțe de dimensiuni medii își compensează puterea de foc redusă prin întrebuițarea unor sisteme ce asigură un grad sporit de supraveghere și cercetare a spațiului de luptă, folosind sisteme de arme cu precizie mare și exploatarea în avantaj propriu puterea de foc asigurată rapid de puterea aeriană. De asemenea, se urmărește ca aceste forțe să poată manevra mult mai rapid și să acționeze dispersat pe arii mult mai extinse decât în mod tradițional și având o linie de front ce separă forțele proprii de cele inamice mult mai slab definită, un concept ce s-a pus deja în practică pe timpul invaziei Irakului din anul 2003. Eficacitatea operațională a acestor structuri de forțe terestre va depinde foarte mult de modul în care ele vor coopera cu forțele aeriene. În operațiile întrunite, ele se vor baza mai mult ca oricând pe puterea de foc și protecția oferite de puterea aeriană.

În timpul celui de-al doilea război mondial, puterea aeriană a avut o eficiență devastatoare împotriva forțelor terestre inamice, dar numai în anumite circumstanțe: atunci când acționa pe timp de zi, în condiții meteorologice favorabile, iar inamicul se afla în deplasare sau își deconspirase pozițiile. În prezent, forțele aeriene moderne au capacitatea de a



ataca obiective pe timp de noapte și chiar și în condiții meteorologice dificile. Ele pot lansa muniția de la bord - supunându-se unui risc acceptabil – de la distanțe mai mari decât raza de acțiune a artileriei antiaeriene sau a armamentului ușor individual. Cu toate acestea, descoperirea și identificarea forțelor inamice rămâne o problemă dificil de rezolvat dacă acestea au posibilitatea de a se ascunde și masca (așa cum s-a întâmplat în Kosovo). De aceea, o creștere a eficacității acțiunilor împotriva inamicului se poate obține numai cu aportul forțelor terestre proprii care să forțeze inamicul să-și deconspire pozițiile și să ajute la indicarea țintelor.

În trecut, lansarea muniției în apropierea forțelor proprii era constrânsă de lipsa informațiilor privind dispunerea inamicului și lipsa de acuratețe a muniției în sine. Grupele de control aerian tactic și controlorii aerieni în poziții înaintate aveau doar o idee generală asupra localizării trupelor inamice și nu dispuneau de mijloace de indicare precisă a pozițiilor acestora (altele decât marcarea cu grenade fumigene sau prin transmiterea către piloți a poziției inamicului prin referire la elemente de teren din apropiere). Mai mult decât atât, pozițiile forțelor proprii nu puteau fi transmise cu precizie, în special în situațiile des schimbătoare din câmpul de luptă. De asemenea, lansarea muniției se solda de multe ori cu erori mai mari chiar și decât raza de acțiune a acestora. Pentru a preveni fratricidul, distanța de siguranță la care se lansa muniția trebuia să fie foarte mare, permițând inamicului manevrarea forțelor sale și încercuirea forțelor proprii. În prezent, progresul tehnologic a permis reducerea acestei distanțe la câteva sute de metri, iar controlorii aerieni în poziții înaintate au acces la informațiile provenite de la o serie întreagă de senzori, incluzând sateliți, aeronave fără pilot și chiar aeronavele care execută atacul propriu-zis, acestea fiind echipate cu senzori și aparatură de ochire performante (pentru a permite aceasta, toți senzorii trebuie să fie înglobați într-o rețea comună care să permită diseminarea informațiilor în timp real). Controlorii aerieni în poziții înaintate dispun în prezent de posibilitatea întrebuințării sistemelor GPS<sup>1</sup> pentru a determina coordonatele pozițiilor forțelor proprii și ale celor inamice, precum și a marcatorelor și indicatorilor laser pentru a marca/indica țintele inamice. În Afganistan și Irak, forțele coaliției transmiteau constant informațiile privind pozițiile proprii eșaloanelor superioare, reducând astfel riscul producerii fratricidului. Hărțile actuale au devenit mult mai precise, răspunzând rapid cerințelor luptătorului prin distribuirea lor electronică. Pentru a completa imaginea, lansarea munițiilor moderne se execută cu mult mai multă precizie. Pe timpul Operației „Anaconda” (Afganistan), controlorii aerieni în poziții înaintate au aprobat lansarea muniției în apropierea forțelor proprii, la distanțe de câteva zeci de metri, fără a se produce incidente fratricide.

Importanța crescândă a operațiilor împotriva forțelor de suprafață nu scade din importanța atacurilor strategice, însă previne planificatorul realist să se bazeze pe o abordare a războiului ce tratează atacarea trupelor inamice din spațiul de luptă ca irelevantă. Pot exista situații în care victoria militară să fie obținută folosind astfel de strategii (spre exemplu, Operația „Desert Storm”, 1991), iar aviatorii trebuie să fie pregătiți pentru aceasta; totuși, situațiile respective vor rămâne mai degrabă o excepție de la regulă decât regula în sine.

Letalitatea crescândă a puterii aeriene împotriva trupelor terestre nu implică faptul că forțele aeriene nu ar trebui întrebuințate niciodată pentru a augmenta puterea de foc a acestora; totuși, ea ne conduce la ideea că perspectiva de „artilerie zburătoare” a puterii aeriene nu va maximiza capacitățile acesteia în operațiile împotriva forțelor terestre inamice.

Capacitatea puterii aeriene de a acționa în principal în misiuni de sprijin aerian apropiat, sprijinită ocazional de subunități de forțe terestre, va fi limitată de contra-măsurile luate de inamic, cum ar fi dispersarea forțelor și amestecarea acestora cu populația civilă. Abilitatea puterii aeriene de a domina puterea terestră va fi, de asemenea, afectată de natura conflictelor viitoare; operațiile de contra-insurgență, cele de sprijin al păcii și conflictele de

<sup>1</sup> GPS = <engl.>, (abv.) Global Positioning System – sistem de poziționare globală bazat pe informațiile primite de la sateliți



mică intensitate necesită un rol major jucat de forțele terestre, iar subordonarea acestora puterii aeriene va fi rareori indicată. Pe de altă parte, reorganizarea forțelor terestre în unități ușoare, mult mai agile, ce vor opera în condiții des schimbătoare și fluide va face ca focul asigurat de puterea aeriană – atât în ofensivă, cât și în apărare – să fie atât de important încât întrebuințarea forțelor aeriene exclusiv în rol de sprijin al schemei de manevră a trupelor terestre va duce la diminuarea eficacității echipei aero-terestre.

Perspectiva unui parteneriat „cu drepturi egale” între puterea aeriană și cea terestră nu va putea fi aplicată tuturor operațiilor întrunite viitoare, dar ea rămâne în prim-plan din cel puțin două motive. În primul rând, ea poate fi rapid ajustată pentru a permite creșterea rolului uneia sau alteia dintre cele două puteri. În al doilea rând, ea s-a bucurat de puțină atenție din partea teoreticienilor și practicienilor militari datorită dificultăților inerente punerii sale în practică. În cele din urmă, ea nu asigură superioritatea unei puteri față de cealaltă și, astfel, nu servește intereselor particulare, limitate, ale unei singure categorii de forțe.

În prezent și, foarte probabil, în viitor, operațiile împotriva forțelor terestre inamice - la care vor participa Forțele Aeriene române - se vor desfășura, de regulă, în mod întrunit și în cadrul unor forțe NATO sau al unei coalitii multinaționale. Fără a beneficia de prezența unor forțe terestre proprii care să asigure informații precise despre inamic, să-l oblige pe acesta să-și deconspire pozițiile și să exploateze rezultatele atacurilor aeriene, operațiile împotriva forțelor terestre inamice se vor putea dovedi ineficiente. De aceea, caracterul întrunit al acțiunilor de luptă trebuie să coboare la nivelele inferioare ale ierarhiei militare. Necesitatea planificării integrate a acțiunilor aeriene și terestre se manifestă de la cel mai înalt nivel până la cel mai mic. În prezent, grupele de control aerian tactic sunt prevăzute a se înființa pe timp de război la nivelul batalioanelor și brigăzilor însă, în viitor, prezența lor ar putea fi necesară chiar la nivelul companiilor sau al plutoanelor pentru a avea astfel posibilitatea de a transmite la timp informații actualizate despre spațiul de luptă și de a permite exploatarea la maxim a capabilităților puterii aeriene.

Chiar și în prezent, unele tipuri de unități din armatele moderne desfășoară deja acțiuni de luptă cu caracter întrunit. Unitățile de forțe speciale nu au posibilitatea susținerii pe timp îndelungat a capacității de luptă proprii, bazându-se pe puterea aeriană pentru asigurarea supraviețuirii lor. Puterea aeriană le transportă la obiectiv, le aprovizionează, le asigură cu informații și cu putere de foc și le extrage după executarea misiunii. În condițiile în care unitățile terestre își reduc dimensiunile în favoarea creșterii mobilității, este necesar ca acestea să acționeze întrunit cu forțele aeriene. Pe timpul acțiunilor de luptă din Afganistan, cel mai mare eșalon de forțe terestre convenționale a fost reprezentat de o brigadă americană având în subordine trei batalioane de dimensiuni reduse. De asemenea, în Irak (2003) au fost angajate în luptă unități de nivel brigadă care au trebuit să-și integreze acțiunile proprii cu atacurile aeriene, nu numai pentru a preveni fratricidul, ci și pentru a minimiza pierderile în rândul civililor, obținând efectele dorite împotriva trupelor irakiene.

Lupta în mediul urban impune, de asemenea, implementarea caracterului întrunit al acțiunilor de luptă la nivelul eșaloanelor inferioare. Mediul urban fragmentează spațiul de luptă în spații reduse ca dimensiuni, limitate uneori la câteva clădiri și intersecții de străzi, comandantii având nevoie de echipe mici de arme întrunite pentru a-și îndeplini misiunea. De regulă, aceste echipe includ tancuri, armament de asalt, mijloace de geniu și luptători de infanterie sprijiniți de mijloacele de foc cu lovituri indirecte și elemente ale puterii aeriene. Ele dispun de un câmp de vedere redus asupra terenului, uneori numai până la următorul colț al unei clădiri, având nevoie de sprijin rapid - inclusiv cu informații - pentru a reduce punctele de rezistență inamice sau pentru a împiedica încercările inamicului de a-și întări pozițiile. Mijloacele aeriene pot zbura deasupra câmpului de luptă din mediul urban, contribuind la transmiterea oportună a informațiilor privind manevrele inamicului și atacându-l rapid atunci când situația la sol o cere. Pe timpul luptei în mediul urban, aeronavele de atac au posibilitatea

lansării cu precizie a munițiilor ce minimizează riscul la care este supusă populația necombatantă. Spre exemplu, pe timpul luptelor din Irak, munițiile ghidate prin satelit (GPS) au fost întrebuințate cu preponderență în mediul urban deoarece aveau o mare precizie și cauzau mai puține efecte colaterale decât mijloacele artileriei terestre sau rachetele nedirijate.

În prezent, armatele moderne își reorganizează forțele terestre în unități tip brigadă, capabile să se deplaseze rapid și să opereze în manieră non-liniară, ceea ce implică o creștere a necesității acestora de a fi sprijinite din aer. Aceste unități vor trebui să se bazeze foarte mult pe cunoașterea permanentă a situației din spațiul de luptă și vor fi dependente de o putere aeriană care să le asigure transportul în zona acțiunilor de luptă, aprovizionarea și executarea la timp a atacurilor asupra forțelor inamice. Integrarea acțiunilor forțelor terestre și aeriene va fi necesar a fi executată la acest eșalon.

---

\* Căpitan-comandor Marius Șerbeszki, lector universitar dr., Universitatea Națională de Apărare „Carol I”, București, șos. Panduri, nr. 68-72, tel. 021 319 48 80, int. 282, e-mail [mserbeszki@unap.ro](mailto:mserbeszki@unap.ro), [serbeszki@yahoo.com](mailto:serbeszki@yahoo.com)

## SISTEM DE CONTRAMĂSURI ELECTRONICE PENTRU AERONAVE, NAVE ȘI BLINDATE

Georgică SLĂMNOIU\*  
Gabriel VLADU\*\*  
Adrian CIUCULIN\*\*\*  
Sorin PERICLEANU\*\*\*\*  
Vasile IONAȘCU\*\*\*\*\*

### **Abstract**

*This paper presents the characteristics and performances of some military products designed by the Research Center for Navy, Constanța, used for the self-defense of surface combat ships, military aircraft and armored vehicles against detection and tracking means of missiles with infrared seeking. The electronic countermeasures ammunitions have the capability of creating radiolocation (RL) decoys, decoys with radiation emissions mostly in infrared (IR) and masking curtains (smoke aerosols – AL) in the tactical field, in a fast, efficient and coordinated way, for jamming the detection, tracking and guidance heads of missiles with guidance in that respective area.*

### **I Introducere**

Inducerea în eroare a inamicului prin acțiuni de dezinformare este un procedeu foarte des întrebuițat de forțele beligerante, desfășurându-se pe plan politic, economic și militar înclinând astfel balanța în favoarea dezvoltării unor muniții de contramăsuri electronice cât mai performante astfel că se impune amplificarea cercetărilor în domeniul bruiajului pentru dezvoltarea unui sistem cât mai performant de muniții de contramăsuri electronice pentru protecția obiectivelor de interes.

Munițiile de contramăsuri electronice au capacitatea de a materializa în câmpul tactic capcane pentru radiolocație (RL), capcane cu emisivitate preponderent în infraroșu (IR) și perdele de mascare (aerosoli fumigeni - AL) în mod rapid, eficient și coordonat pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a radarelor, a rachetelor cu cap de dirijare specializate în acest domeniu.

Noile cerințe tactice, operative și strategice au impus extinderea ariei cercetării și în domeniul bruiajului pentru executarea acestuia în spectrul electromagnetic de interes. În acest sens Centrul de Cercetare Științifică pentru Forțele Navale (C.C.Ș.F.N.) Constanța din cadrul Agenției de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii Militare (A.C.T.T.M.) a pus un accent

deosebit pe cercetarea și dezvoltarea munițiilor de contramăsuri electronice necesare protecției aeronavelor, navelor, blindatelor, obiectivelor de interes etc.

În urma lucrărilor de cercetare dezvoltare de C.C.Ș.F.N. au rezultat următoarele tipuri de produse:

- a) pentru protecția aeronavelor:
  - cartuș tip 1"x1"x8" – CHAFF (protecție RL);
  - cartuș tip 1"x1"x8" – FLARE (protecție IR);
  - cartuș tip 1"x2"x8" – FLARE (protecție IR);
  - cartuș tip 1"x1"x8" – FLARE (cu expulzare secvențială protecție IR);
- b) pentru protecția navelor de suprafață:
  - proiectil reactiv cal.82 mm cu capcană RL;
  - proiectil reactiv cal.82 mm cu capcană IR;
  - proiectil reactiv cal.82 mm cu capcană aerosoli AL;
- c) pentru protecția blindatelor:
  - grenada reactivă de bruij mixt RL+IR;
  - grenada reactivă de bruij mixt RL+fumigen AL.

În lucrare este prezentată construcția și caracteristicile tehnico-tactice a munițiilor de contramăsuri electronice enumerate anterior.

Funcționarea cât și rezultatul în urma verificărilor (efectul încărcăturilor utile specifice asupra sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a radarelor, a rachetelor de exercițiu cu cap dirijare specializate în acest domeniu) a muniției de contramăsuri electronice pentru aeronave sunt dezvoltate în lucrarea „O șansă în plus pilotului”.

## II Muniție de contramăsuri electronice pentru protecția aeronavelor

### 2.1 Cartuș tip 1" x 1" x 8" – CHAFF (protecție RL)

Cartușul tip 1" x 1" x 8" - CHAFF (protecție RL) - fig. 1 (numită și muniție 1" x 1" x 8" – CHAFF) face parte din categoria munițiilor, lansatoare de capcane dipoli pentru radiolocație, necesare protecției aeronavelor MiG 21 LanceR, IAR-99 ȘOIM, PUMA etc., pentru asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare/autodirijare în RL în mod rapid, eficient și coordonat. Muniția realizează în câmpul tactic „nori” de dipoli (RL) pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.



Fig. 1 muniție 1" x 1" x 8" – CHAFF

Muniția 1" x 1" x 8" – CHAFF cu capcană dipoli – RL este compusă din următoarele subansambluri: tub cartuș; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -RL; încărcătura utilă RL.

Încărcătura utilă RL este formată din toroane din fire de sticlă metalizate (aluminizate) tăiate la o anumită lungime ( $\lambda/2$ ) funcție de cerințele beneficiarului -fig. 2.



Fig. 2. Încărcătură utilă RL

Muniția 1" x 1" x 8" – CHAFF se lansează din magazii specifice (lansatoare cu 30 locașuri rectangulare 1" x 1" x 8") – fig. 3 – care se montează pe sistemul de fixare al aeronavelor menționate anterior și sunt compatibile cu instalațiile de lansare similare existente la bordul altor tipuri de aeronave care au în dotare acest sistem de protecție (sistem de protecție de contramăsuri electronice cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea de CHAFF).



Fig. 3. Magazia ptr. muniția 1" x 1" x 8"

## 2.2 Cartuș tip 1" x 1" x 8" – FLARE (protecție IR)

Cartușul tip 1" x 1" x 8" – FLARE (protecție IR) -fig.4 face parte din categoria munițiilor necesare protecției aeronavelor Mig-21 LanceR, IAR-99 ȘOIM, etc. prin asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare /autodirijare în infraroșu (IR). Cartușul tip 1" x 1" x 8" – FLARE (numit și muniție 1" x1" x8" cu capcană termică – IR) realizează în câmpul tactic capcane cu emisie în IR pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.



Fig. 4. Muniția 1" x 1" x 8" – FLARE

Muniția 1" x 1" x8" cu capcană termică-IR este compusă din următoarele subansambluri – fig. 5: tub cartuș; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -IR; încărcătura utilă IR.



Fig. 5. Repere ale muniției 1" x 1" x 8" – FLARE

Încărcătura utilă IR -fig. 6 este o compozitie chimică cu intensitate termică ridicată la ardere având o structură pirotehnică pe bază de Mg / (-CF1-CF1-)n, care după inițiere, printr-o ardere violentă, realizează în câmpul tactic bruijaj în infraroșu (în banda  $3\div 5\mu\text{m}$ ,  $8\div 14\mu\text{m}$  cu o putere de  $1\div 3\text{ kW/sr}$ ).



Fig. 6. Încărcătura utilă IR

Muniția 1" x 1" x 8" cu capcană termică – IR se lansează din magazii specifice (lansatoare cu 30 locașuri rectangulare 1"X1" X8" – fig. 3) care se montează pe sistemul de fixare al aeronavele menționate anterior și sunt compatibile cu instalațiile de lansare similare existente la bordul altor tipuri de aeronave care au în dotare acest sistem de protecție (FLARE).

### 2.3 Cartuș tip 1" x 2" x 8" – FLARE (protecție IR)

Cartușul tip 1" x 2" x 8" – FLARE (numit și muniție 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR) - fig.7 face parte din categoria munițiilor necesare protecției aeronavelor Mig – 21 LanceR, IAR-99 ȘOIM, etc. prin asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare /autodirijare în infraroșu (IR). Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR realizează în câmpul tactic capcane cu emisie în IR pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.

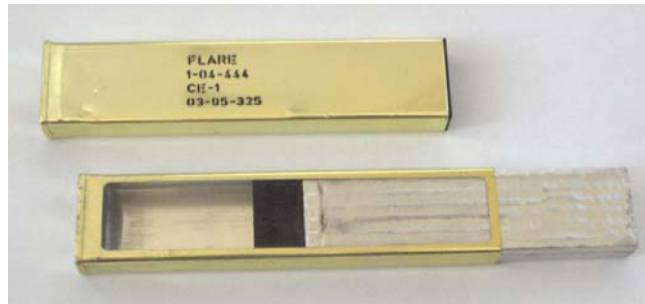


Fig. 7. Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR

Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică-IR este compusă din următoarele subansambluri- fig. 8 : tub cartuș; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -IR; încărcătura utilă IR.



Fig. 8. Repere ale muniției 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR



Încărcătura utilă IR (fig. 9) este un amestec pirotehnic cu intensitate termică ridicată cu o structură pe bază de Mg/(-CF1-CF1-)n, care după inițiere, printr-o ardere violentă, realizează în câmpul tactic bruiaj în infraroșu pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.



Fig. 9. Încărcătura utilă IR

Caracteristicile tehnico –tactice ale muniției de contramăsuri electronice pentru protecția aeronavelor sunt redată în tabelul nr. 1.

Tabelul nr. 1

Nr. crt.	Parametru	Performanță
1	Banda acoperită de încărcătura utilă RL	centimetrică / decimetrică
2	Banda acoperită de încărcătura utilă IR	3μm - 14μm
3	Dimensiunile de gabarit (C, F1, E1)	24,4x24,4x206mm
4	Dimensiunile de gabarit (F2)	50,2x24,4x206mm
5	Masa (C)	180 gr.
6	Masa (F1, E1)	200 gr.
7	Masa (F2)	400 gr.
8	Distanța de inițiere față de lansator (C, F1, E1)	aprox. 20 m
9	Distanța de inițiere față de lansator (F2)	aprox. 50 m
10	Tensiunea de comandă a lansării	27 ± 10% Vc.c.
11	Numărul de lovituri pe lansator (C, F1, E1)	30
12	Numărul de lovituri pe lansator (F2)	15
13	Temperatura de lucru	-50 oC, +90 oC
14	Timp de ardere (F1, E1)	10 sec.
15	Timp de ardere (F2)	15 sec.

Muniția 1" x2" x8" cu capcană termică-IR se lansează din magazii specifice (lansatoare cu 15 locașuri rectangulare 1" x 2" x 8" – fig.10) care se montează pe sistemul de fixare al aeronavele menționate anterior și sunt compatibile cu instalațiile de lansare similare existente la bordul altor tipuri de aeronave care au în dotare acest sistem de protecție (FLARE).



Fig. 10 Lansatoare cu 15 locașuri rectangulare 1" x 2" x 8"



Prin realizarea acestui tip de muniție se obține un produs performant a cărui încărcătură utilă IR asigură densitatea medie de putere în banda  $3\div 5\mu\text{m}$ ,  $8\div 14\mu\text{m}$  cu o densitatea medie de putere de  $1,5\div 3\text{ kW/sr}$  și cu o durată de ardere aprox. 15 sec. (bruiaj în infraroșu conform nevoilor de protecție ale aeronavei care trebuie protejată).

#### **2.4 Cartuș tip 1" x 1" x 8" – FLARE cu expulzare secvențială**

Cartușul tip 1" x 1" x 8" – FLARE cu expulzare secvențială (numit și muniție 1"x1"x8" FLARE cu expulzare secvențială pentru elicopter) – fig. 11 – face parte din categoria munițiilor pentru contramăsuri electronice necesare protecției elicopterelor prin asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare /autodirijare în infraroșu (IR).

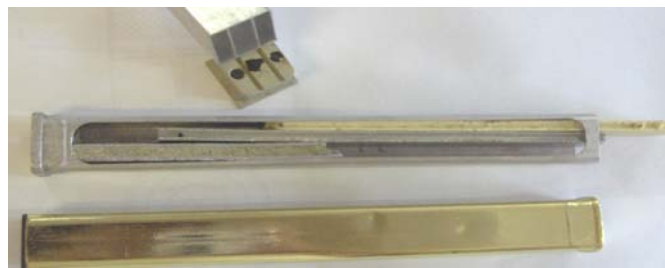


Fig. 11 Muniția 1"x1"x8" FLARE cu expulzare secvențială

Încărcătura utilă IR (formată din trei lamele) este inițiată și expulzată secvențial (la intervale de 20-30 msec).

Muniția 1" x 1" x 8" FLARE cu expulzare secvențială pentru elicoptere este compusă din următoarele subansambluri: tub cartuș; suport S.P.I.E; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -IR; încărcătura utilă IR.

Încărcătura utilă IR este o copozitie chimică cu intensitate termică ridicată la ardere având o structură pirotehnică pe bază de  $\text{Mg} / (-\text{CF1}-\text{CF1}-)\text{n}$ , care după inițiere, printr-o ardere violentă, realizează în câmpul tactic bruiaj în infraroșu (în banda  $3\div 5\mu\text{m}$  cu o putere de  $1\div 1,2\text{ kW/sr}$ ).

### **III Muniție de contramăsuri electronice pentru protecția navelor de suprafață**

#### **3.1 Proiectil reactiv calibru 82 mm cu capcană RL**

Proiectilul reactiv cal. 82 cu capcană RL - fig.12 este folosit pentru a asigura protecția navelor de suprafață prin realizarea bruiajului pasiv de radiolocație împotriva mijloacelor de luptă care folosesc tehnici de radiolocație.

Proiectilul reactive calibru 82 cu capcană RL realizează bruiaj pasiv de deviere sau de dezinformare prin crearea unor "nori" de dipoli cu suprafața echivalentă de reflexie electromagnetică de aprox. 1500mp.



Fig. 12 Proiectilul reactive cal. 82 cu capcană RL

Proiectilul reactiv cal. 82 cu capcană RL este compus din următoarele subansambluri: motor rachetă cu combustibil solid (bloc ajutaje pt.stabilizare); componentă de luptă (încărcătură utilă cu dipoli reflectorizanți); focos mecanic (pas reglabil 0,2 sec.).

Încărcătura utilă cu dipoli reflectorizanți este formată din toroane din fire de sticlă metalizate-aluminizate sau fibre de poliamidă cupro-nichelate tăiate la lungimea  $c^{\lambda}/2$  funcție de cerințele beneficiarului. Încărcătura utilă este expulzată din componenta de luptă (la timpul prestabilit de focos) prin efect cumulativ.

### 3.2 Proiectil reactiv cal. 82 mm cu capcană IR

Proiectilul reactiv cal. 82 mm cu capcană IR - fig. 13 este destinat realizării contraacțiunii pasive procedurale în domeniul radiațiilor electromagnetice în infraroșu, pentru realizarea bruiajului în IR împotriva mijloacelor de luptă care folosesc tehnicile de detecție, de deviere sau de dezinformare în acest spectru.



Fig. 13 Proiectilul reactive cal. 82 cu capcană IR

Proiectilul reactiv cal. 82 cu capcană IR este compus din următoarele subansambluri: motor rachetă cu combustibil solid (bloc ajutaje pt.stabilizare); componentă de luptă (încărcătură utilă cu emisivitate în IR); focos mecanic (pas reglabil 0,2 sec.).

Încărcătura utilă este tip capcană termică cu emisie în IR pe bază de compoziție pirotehnică, sustentația fiind asigurată de o parașută. Încărcătura utilă este expulzată din componenta de luptă (la timpul prestabilit) prin efect piston iar căderea lentă a acesteia este asigurată prin largarea parașutei.

### 3.3 Proiectil reactiv cal. 82 mm cu capcană aerosoli AL

Proiectilul reactiv calibru 82mm cu capcane aerosoli AL - fig. 14 este destinat realizării contraacțiunii pasive procedurale împotriva mijloacelor de luptă care folosesc tehnicile de detecție, de deviere sau de dezinformare LASER.



Fig. 14. Proiectilul reactiv cal. 82mm cu capcană aerosoli AL

Proiectilul reactiv calibru 82 cu capcană aerosoli - AL este compus din următoarele subansambluri: motor rachetă cu combustibil solid (bloc ajutaje pt.stabilizare); componentă de luptă (încărcătură utilă cu generare aerosoli); focos mecanic (pas reglabil 0,2 sec.).

Încărcătura utilă este pe bază de compoziție pirotehnică generatoare de aerosoli, sustentația fiind asigurată de o parașută. Încărcătura utilă este expulzată din componenta de luptă (la timpul prestabil de focos) prin efect piston iar căderea lentă a acesteia este asigurată prin largarea parașutei.

Caracteristicile tehnico -tactice ale muniției de contramăsuri electronice pentru protecția navelor de suprafață (proiectilele reactive nedirijate calibru 82) sunt redată în tabelul nr. 2.

Tabelul nr. 2

Nr. crt.	Parametru	Performanță
1	Calibru / Lungime / Masa	82 mm / 650 mm / 8,9 kg
2	Banda acoperită de încărcătura utilă RL	centimetrică/decimetrică
3	Banda acoperită de încărcătura utilă IR	3 ÷ 5 $\mu$ ; 8 ÷ 14 $\mu$
4	Bătaia	5000 m
5	Timpul de întârziere la expulzarea încărcăturii utile	0,2÷30 sec
6	Tensiunea de comandă a lansării	24 ± 10% Vc.c.
7	Numărul de lovituri pe lansator	16
8	Temperatura de lucru	-50 oC, +60 oC

Proiectilele reactive cal. 82 cu capcane RL, IR și AL sunt lansate cu rampele tip RL. 16 - fig. 15 sau PK. 16 amplasate în bordurile navelor de suprafață.



Fig. 15 Rampă de lansare RL 16

## IV Muniție de contramăsuri electronice pentru protecția blindatelor

### 4.1 Grenadă reactivă de bruijaj mixt RL + IR

Grenada reactivă cal.81mm pentru bruijaj mixt RL + IR pentru protecția blindatelor - fig. 16 face parte din categoria munițiilor pentru contramăsuri electronice combinate (atât în domeniul infraroșu cât și în domeniul radiolocației) necesare protecției blindatelor.



Fig. 16 Grenada reactivă cal.81mm pentru bruijaj mixt RL + IR

Funcționarea acestei categorii de muniție realizează în câmpul tactic capcane în infraroșu (IR) în gama  $3\div 5\ \mu\text{m}$ ,  $8\div 14\ \mu\text{m}$  pentru perturbarea capetelor de dirijare în infraroșu și capcane de dipoli (RL) pentru bruierea sistemelor de radiolocație de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-sol sau sol-sol.

Încărcătura utilă de bruijaj mixt RL și IR este formată din două componente: componenta RL – componentă formată din toroane din fire de sticlă metalizate (aluminizate) tăiate la o anumită lungime ( $\lambda/2$ ). În momentul expulzării toroanelor din fire de sticlă metalizate formează "nori" de dipoli cu suprafața echivalentă de reflexie electromagnetică cu cea a obiectivului protejat realizând bruijaj pasiv de radiolocație realizează bruijaj pasiv de deviere și/sau de dezinformare; componenta IR – componentă cu un amestec pirotehnic cu intensitate termică ridicată cu o structură chimică pe bază de Mg / (-CF1-CF1-)n, care după inițiere, printr-o ardere violentă, realizează în câmpul tactic bruijaj în infraroșu (banda  $3\div 5\ \mu\text{m}$ ,  $8\div 14\ \mu\text{m}$ ).

Grenada reactivă cal.81mm pentru bruijaj mixt RL + IR este compusă din următoarele subsambluri: tub muniție; bloc ajutaje; sistem de inițiere și azvârlire; componentele de luptă (încărcătură utilă RL + IR).

### 4.2 Grenadă reactivă de bruijaj mixt RL + fumigen AL

Grenada reactivă calibru 81mm pentru bruijaj mixt RL + fumigen Al pentru protecția blindatelor - fig. 17 face parte din categoria munițiilor pentru contramăsuri electronice combinate (atât în domeniul aerosolilor pentru mascare cât și în domeniul bruijajului de radiolocației) necesare protecției blindatelor.



Fig. 17 Grenada reactivă cal.81mm pentru bruijaj mixt RL+ fumigen AL

Funcționarea acestei categorii de muniție realizează în câmpul tactic „perdele” de mascare (aerosoli) și „nori” de dipoli (RL) pentru bruierea sistemelor de radiolocație de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-sol sau sol-sol.

Încărcătura utilă de bruiaj este formată din două componente: componenta RL și componenta fumigenă, generatoare de aerosoli fumigeni, (compoziție pirotehnică) care după inițiere, printr-o ardere lentă, realizează în câmpul tactic „perdeaua” de mascare a obiectivului de interes.

Grenada reactivă calibru 81mm pentru bruiaj mixt RL + AL este compusă din următoarele subsansambluri: tub muniție; bloc ajutaje; sistem de inițiere și azvârlire; componentele de luptă (încărcătură utilă RL + AL).

Caracteristicile tehnico-tactice ale celor două tipuri de grenade pentru bruiaj mixt (RL + IR și RL + AL) sunt redată în tabelul nr. 3.

Tabelul nr. 3

Nr. crt.	Parametru	Performanță
1	Calibru / Lungime / Masa	81mm / 220mm/ 1170 gr.
2	Bătaia	50 m
3	Timpul de formare a norului de dipoli (RL)	2 - 3 sec.
4	Persistența norului de dipoli (viteză vânt <3 m/s)	120 sec
5	Persistența capcanei IR	30 sec.
6	Persistența norului fumigen (viteză vânt < 3 m/s)	300 sec.
7	Tensiunea de comandă a lansării	27 ± 10% Vc.c.
8	Temperatura de lucru	-50 oC, +60 oC

Muniția de contramasuri electronice pentru protecția blindatelor se lansează din tuburile cal. 81 mm amplasate pe blindate fig. - 18.



Fig. 18 Lansatoarele de pe mașinile blindate

## V Concluzii

Muniția de contramăsuri electronice de bruiaj IR, RL și AL realizată de C.C.Ș.F.N. și prezentată în această lucrare asigură compatibilitatea și interschimbabilitatea operațională cu muniția similară produsă pe plan mondial îndeplinind standardele NATO pe linia siguranței în exploatare, depozitare, manipulare și transport.

## Bibliografie

- [1] Lt. col. dr. ing. Florentin Moraru, (1976). Manual de balistică exterioară. Ed. Militară, București.
- [2] Col ing. Stelian Constantin, col. dr. ing. Tudor Niculescu, (1988). Confruntarea pe calea undelor Ed. Militară, București.

- [3] Col. ing. Costin Ioan Janica, (1980). Construcția, exploatarea, efectele și calculul munițiilor. Academia Militară.
- [4] Stan Petrescu, (2003). Arta și puterea informațiilor. Ed Militară, București.
- [5] Lt. col. Ion Marcu, (1980). Mecanica zborului rachetelor dirijate. Academia Militară.

---

\* Comandor conf. univ. dr. ing

\*\* CS III colonel dr. ing

\*\*\* CS lt. dor ing.

\*\*\*\* CS III ing.; Centrul de Cercetare Științifică pentru Forțele Navale Constanța

\*\*\*\*\* \* ing., S.C. ELTEX EEI S.R.L., București,

## O ȘANSĂ ÎN PLUS PILOTULUI

Georgică SLĂMNOIU\*  
Gabriel VLADU\*\*  
Adrian CIUCULIN\*\*\*  
Sorin PERICLEANU\*\*\*\*  
Vasile IONAȘCU\*\*\*\*\*

### **Abstract**

*Preparing and conducting military actions these days is unconceivable without the large scale use of radioelectronic counteraction, becoming at present a prime component of modern military actions.*

*The increase in quantity and amplification of the parameters of radioelectronic means, as well as the necessity of knowing the discovery and neutralization of these, simultaneous with the application of the protection means for our own means has imposed a rigorous analysis of the tendencies for development and improvement of the way of deployment and use of electronic countermeasures ammunitions, in that particular electromagnetic spectrum, leading to the increased efficiency, operativity and precision of radioelectronic combat actions conducted.*

*In the activity area of radioelectronic control, the Research Center for Navy has developed an electronic countermeasures system (ammunition type CHAFF&FLARE) for aircrafts type IAR-99 ȘOIM, MiG 21 LanceR, PUMA and so on) that is capable of creating IR and RL decoys in the tactical field in a fast, efficient and coordinated way (passive jamming decoys - "RL clouds" and infrared-emitting decoys – IR) for jamming the detection, tracking and guidance systems of air-to-air or ground-to-air missiles.*

## **I Introducere**

Creșterea cantității și amplificarea parametrilor mijloacelor radioelectronice, precum și necesitatea cunoașterii posibilităților de cercetare și neutralizare a acestora, concomitent cu aplicarea măsurilor de protecție a propriilor mijloace a impus analiza temeinică a tendințelor de dezvoltare și perfecționare, a modului de desfășurare și întrebuințare a munițiilor pentru contramăsuri electronice, în spectrul electromagnetic stabilit, conducând la creșterea eficienței, operativității și preciziei acțiunilor de luptă radioelectronică desfășurate.

Pregătirea și ducerea acțiunilor militare este de neconceput, în zilele noastre, fără întrebuințarea, pe scară largă a mijloacelor de contraacțiune radioelectronică devenind în prezent o componentă de bază a acțiunilor militare moderne.



În sfera de activitate a controlului radioelectronic C.C.Ș.F.N. Constanța a dezvoltat un sistem de contramăsuri electronice (muniție tip CHAFF & FLARE) pentru aeronave de tip IAR-99 ȘOIM, MiG 21 LanceR, PUMA etc) capabil să materializeze în câmpul tactic capcane RL și IR în mod rapid, eficient și coordonat (capcane de bruiaj pasiv „nori- RL”, capcane cu emisie în infraroșu - IR) pentru bruieră sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.

Din cadrul muniției de contramăsuri electronice pentru aeronave sunt prezentate următoarele tipuri de produse:

- cartuș tip 1”x1”x8” – CHAFF – C (protecție RL);
- cartuș tip 1”x1”x8” – FLARE – F1 (protecție IR);
- cartuș tip 1”x2”x8” – FLARE – F2 (protecție IR);
- cartuș tip 1”x1”x8” – FLARE – E (cu expulzare secvențială protecție IR).

În lucrare este prezentată funcționarea și rezultatul în urma verificărilor (efectul încărcăturilor utile specifice asupra sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a radarelor, a rachetelor de exercițiu cu cap dirijare specializate în acest domeniu) a muniției de contramăsuri electronice pentru aeronave. Construcția și caracteristicile tehnico-tactice a acestui tip de muniție sunt detaliate în lucrarea „Sistem de contramăsuri electronice pentru aeronave, nave și blindate

## II Cartuș tip 1” x 1” x 8” – CHAFF – C (protecție RL)

### 2.1 Descriere

Cartușul tip 1” x 1” x 8” - CHAFF – C (protecție RL) - fig. 1 (numită și muniție 1” x 1” x 8” – CHAFF) face parte din categoria munițiilor, lansatoare de capcane dipoli pentru radiolocație, necesare protecției aeronavelor MiG 21 LanceR, IAR-99 ȘOIM, PUMA etc., pentru asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare/autodirijare în RL în mod rapid, eficient și coordonat. Muniția realizează în câmpul tactic „nori” de dipoli (RL) pentru bruieră sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.



Fig. 1 Muniția 1” x 1” x 8” – CHAFF - C

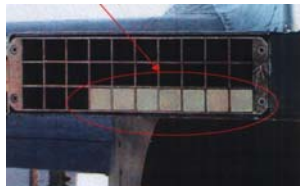
Muniția 1” x 1” x 8” – CHAFF cu capcană dipoli – RL este compusă din următoarele subansambluri: tub cartuș; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -RL; încărcătura utilă RL.

Încărcătura utilă RL este formată din toroane din fire de sticlă metalizate (aluminizate) tăiate la o anumită lungime ( $\lambda/2$ ) funcție de cerințele beneficiarului -fig. 2.



Fig.2 - Fire din sticlă metalizată pentru execuția dipolilor

Muniția 1" x 1" x 8" – CHAFF se lansează din magazii specifice (lansatoare cu 30 locașuri rectangulare 1" x 1" x 8") – fig. 3 – care se montează pe sistemul de fixare al aeronavelor menționate anterior și sunt compatibile cu instalațiile de lansare similare existente la bordul altor tipuri de aeronave care au în dotare acest sistem de protecție (sistem de protecție de contramăsuri electronice cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea de CHAFF).



2.2 Funcționare Fig. 3 Magazia ptr. muniția 1" x 1" x 8"

Comanda de funcționare a muniției 1" x 1" x 8" – CHAFF (expulzare a încărcăturii utile RL) se execută, automat sau manual, prin inițierea sistemului pirotehnic de inițiere. Capsa electrică acționează pistonul și expulzează încărcătura utilă RL. Incărcătura utilă RL este expulzată din tubul caruș și dispersată formând „norul” reflectorizant de radiolocație. Capcana de radiolocație astfel formată influențează radarul de detecție sau urmărire în banda centimetrică/decimetrică (funcție de echiparea muniției).

### 2.3 Efectul

Caracteristicile încărcăturii utile de radiolocație a muniției 1" x 1" x 8" cu capcană dipoli (RL) au fost verificate prin trageri atât în poligonul terestru (fig. 4) cât și prin trageri în zbor (fig. 5) efectele încărcăturilor RL fiind înregistrate de radarele de detecție și urmărire (fig. 6).



Fig. 4 Expulzarea încărcăturii RL (verificarea în poligonul terestru)

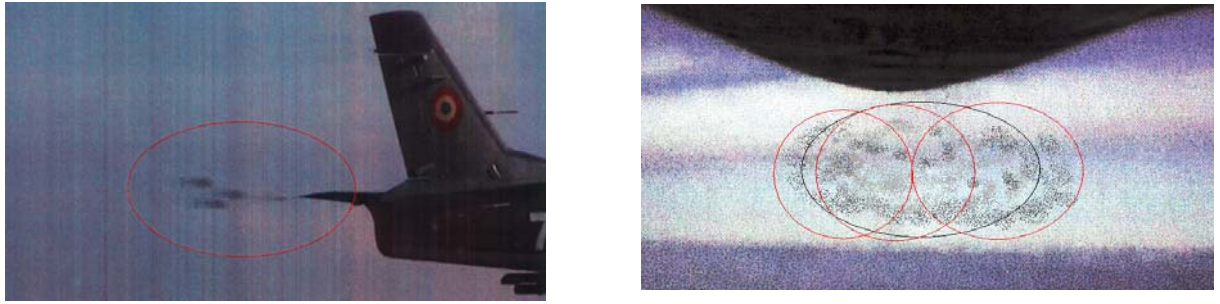


Fig. 5 Lansarea muniției tip Chaff (verificarea cu IAR 99 ȘOIM)

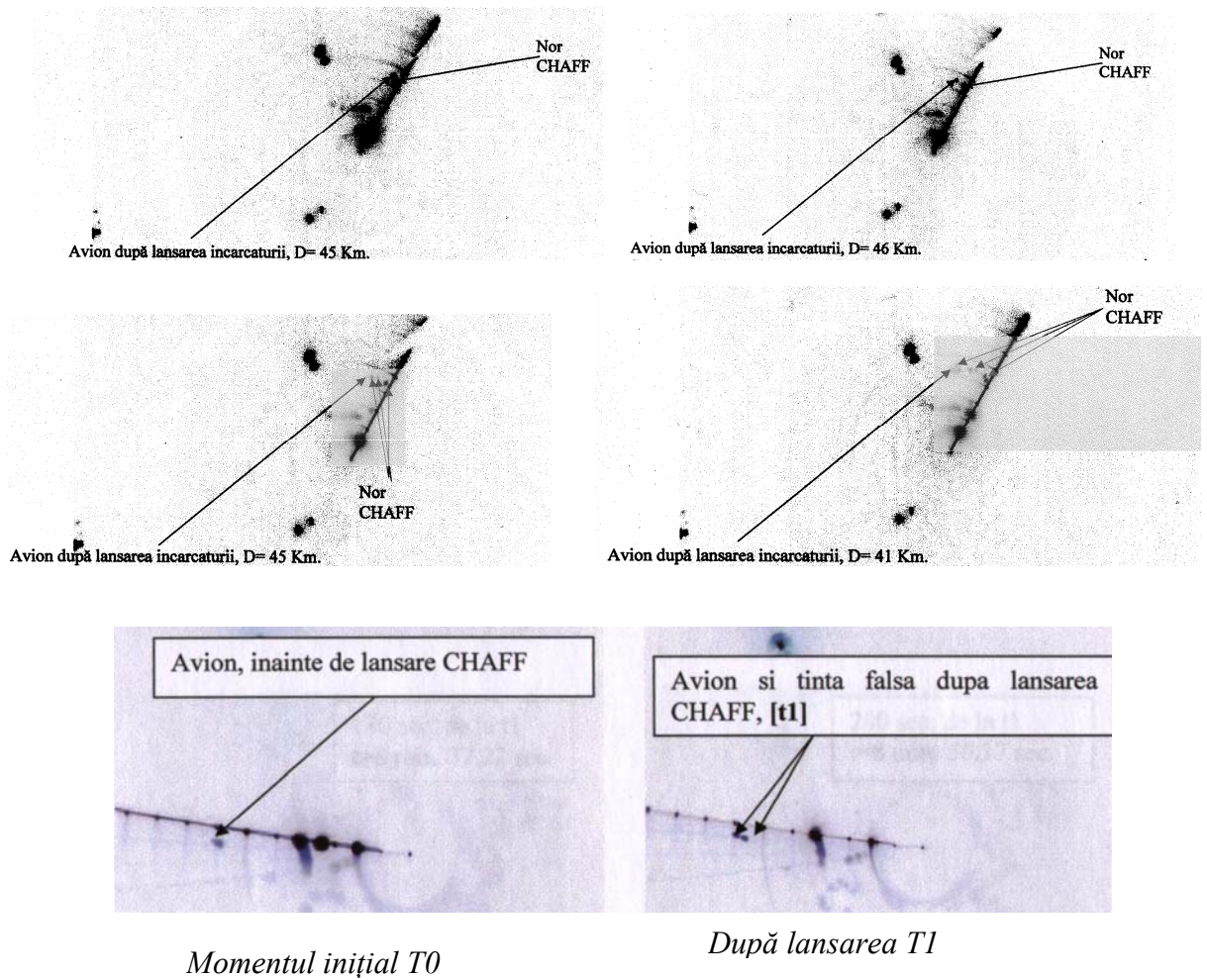


Fig. 6 Efectul „norului” de dipoli asupra radarului (T1) față de momentul inițial – înainte de lansare (T0)

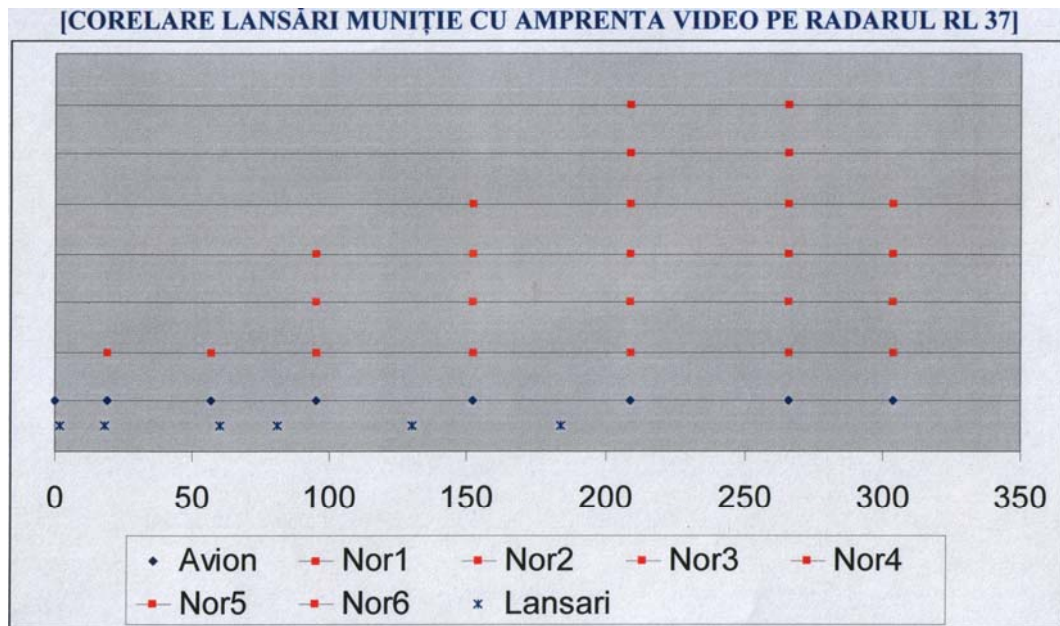


Fig. 7 Testarea funcționării în zbor a muniției CHAFF

### III Cartuș tip 1" x 1" x 8" – FLARE (protecție IR)

#### 3.1 Descriere

Cartușul tip 1" x 1" x 8" – FLARE – F1 (protecție IR) -fig. 8 face parte din categoria munițiilor necesare protecției aeronavelor Mig-21 LanceR, IAR-99 ȘOIM, etc. prin asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare /autodirijare în infraroșu (IR). Cartușul tip 1" x 1" x 8" – FLARE – F1 (numit și muniție 1" x 1" x 8" cu capcană termică – IR) realizează în câmpul tactic capcane cu emisie în infraroșu pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.



Fig. 8 Muniția 1" x 1" x 8" – FLARE

Muniția 1" x 1" x 8" cu capcană termică-IR este compusă din următoarele subansambluri: tub cartuș; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -IR; încărcătura utilă IR.

Muniția 1" x 1" x 8" cu capcană termică – IR se lansează din magazii specifice (lansatoare cu 30 locașuri rectangulare 1"X1" X8" – fig. 2) care se montează pe sistemul de fixare al aeronavele menționate anterior și sunt compatibile cu instalațiile de lansare similare existente la bordul altor tipuri de aeronave care au în dotare acest sistem de protecție (FLARE).



## IV Cartuș tip 1" x 2" x 8" – FLARE (protecție IR)

### 4.1 Descriere

Cartușul tip 1" x 2" x 8" – FLARE – F2 (numit și muniție 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR) - fig. 9 face parte din categoria munițiilor necesare protecției aeronavelor Mig – 21 LanceR, IAR-99 ȘOIM, etc. prin asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare /autodirijare în infraroșu (IR). Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR realizează în câmpul tactic capcane cu emisie în IR pentru bruierea sistemelor de detecție, urmărire și de dirijare a rachetelor aer-aer sau sol-aer.



Fig. 9 Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică – IR

Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică-IR este compusă din următoarele subansambluri: tub cartuș; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -IR; încărcătura utilă IR.

Încărcătura utilă IR - fig. 10 este un amestec pirotehnic cu intensitate termică ridicată cu o structură pe bază de Mg/(-CF1-CF1)-n, care după inițiere, printr-o ardere violentă, realizează în câmpul tactic bruiaj în infraroșu.



Fig. 10 Încărcătura utilă IR

Muniția 1" x 2" x 8" cu capcană termică-IR se lansează din magazii specifice (lansatoare cu 15 locașuri rectangulare 1" x 2" x 8" – fig. 11) care se montează pe sistemul de fixare al aeronavele menționate anterior și sunt compatibile cu instalațiile de lansare similare existente la bordul altor tipuri de aeronave care au în dotare acest sistem de protecție (FLARE).



Fig. 11 Lansatoare cu 15 locașuri rectangulare 1" x 2" x 8"

Prin realizarea acestui tip de muniție se obține un produs performant a cărui încărcătură utilă IR asigură densitatea medie de putere în banda  $3 \div 5 \mu\text{m}$ ,  $8 \div 14 \mu\text{m}$  cu o densitatea medie de putere de  $1,5 \div 3 \text{ kW/sr}$  și cu o durată de ardere aprox. 15 sec. (bruiaj în infraroșu conform cerințelor de protecție ale aeronavei care trebuie protejată).

## V Cartuș tip 1" x 1" x 8" – FLARE – E cu expulzare secvențială

### 5.1 Descriere

Cartușul tip 1" x 1" x 8" – FLARE cu expulzare secvențială (numit și muniție 1"x1"x8" FLARE cu expulzare secvențială pentru elicopter) – fig. 12 – face parte din categoria munițiilor pentru contramăsuri electronice necesare protecției elicopterelor prin asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare /autodirijare în infraroșu (IR).

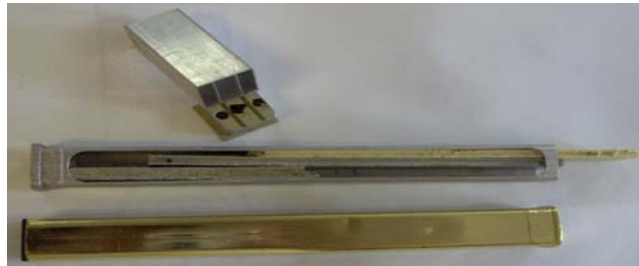


Fig. 12 Muniția 1" x 1" x 8" FLARE cu expulzare secvențială

Încărcătura utilă IR (formată din trei lamele) este inițiată și expulzată secvențial (la intervale de 20-30 msec).

Muniția 1" x 1" x 8" FLARE cu expulzare secvențială pentru elicoptere este compusă din următoarele subansambluri: tub cartuș; suport S.P.I.E; sistem de inițiere și expulzare a încărcăturii utile -IR; încărcătura utilă IR.

### 5.2 Funcționarea cartușelor FLARE

După avertizate este dată comanda „foc” (comanda poate fi dată ca răspuns automat sau cu acționare manuală a pilotului) la care încărcătura utilă cu generare în infraroșu este expulzată din tubul cartuș și inițiată. Încărcătura utilă IR printr-o ardere violentă, realizează în câmpul tactic „capcana” de bruij în infraroșu în banda  $3 \div 5 \mu\text{m}$ ,  $8 \div 14 \mu\text{m}$  cu o putere de  $2 \div 10 \text{ kW/sr}$  (funcție de încărcătura utilă IR a fiecărei muniții în parte).

Lansarea contramăsurilor FLARE se execută conform procedurii de răspuns la avertizare de atac (1, 2, 5, 7 etc) direct proporțional cu cerințele de protecție ale aeronavei..

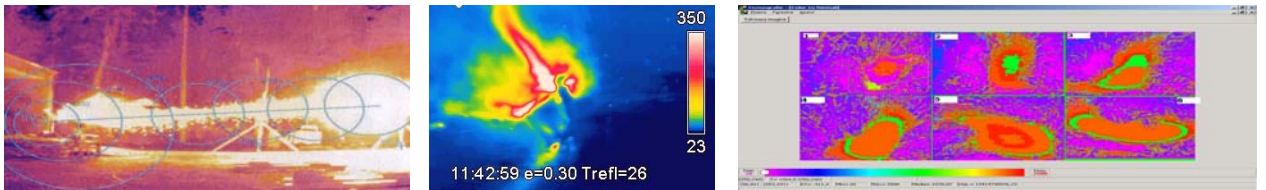
Inițierea încărcăturii se realizează la aprox. 30 m de aeronavă și are ca efect abaterea rachetei de la ținta inițială la actuala „capcană”. Specific la muniția 1" x 1" x 8" FLARE cu expulzare secvențială lamelele încărcăturii IR formează lanțuri de foc fig. 14.

### 5.3 Efectul încărcăturilor IR

Caracteristicile munițiilor cu capcană IR –FLARE (cartuș tip 1" x 1" x 8", cartuș tip 1" x 2" x 8" și cartuș tip 1" x 1" x 8" cu expulzare secvențială) au fost verificate prin trageri atât în poligonul terestru - fig.13 cât și prin trageri în zbor (fig.15) efectele încărcăturilor IR fiind înregistrate de aparatura de detecție și urmărire fig.16.



Fig. 13 Verificarea funcționării muniției FLARE (1'' și 2'') în poligonul terestru



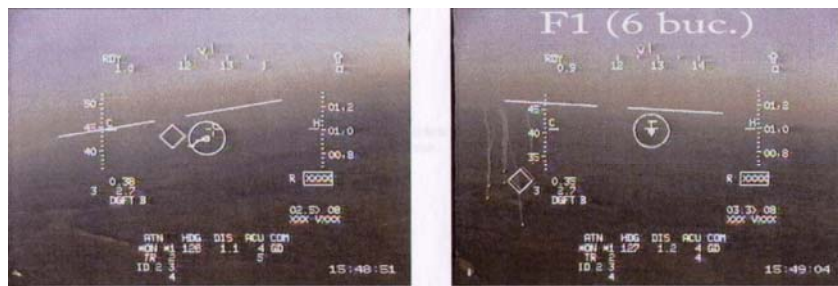
*Determinarea parametrilor aderii*



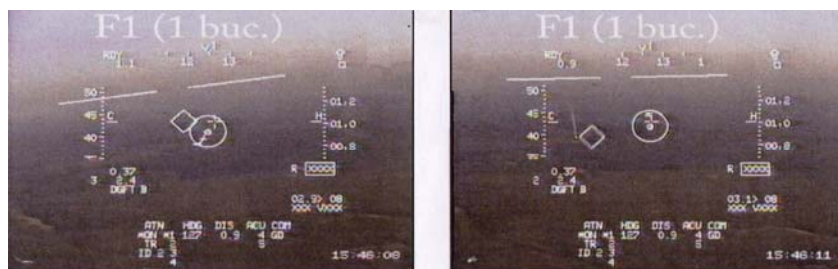
Fig. 14 Verificarea funcționării muniției FLARE secvențială



Fig. 15 Lansarea incarcaturilor FLARE cu aeronava



"Rombul" reprezintă capul rachetei care în prima imagine urmărește avionul, iar în a doua imagine se observă că urmărește țintele false.



"Rombul" reprezintă capul rachetei care în prima imagine urmărește avionul, iar în a doua imagine se observă că urmărește ținta

Fig. 16 Efectul capcanei IR asupra rachetei



## VI Concluzii

Muniția de contramăsuri electronice pentru protecția aeronavelor este muniție de categoria V cu o singură utilizare și numărul stărilor posibile de funcționare este de tipul I cu două stări posibile de funcționare (funcționare sau nefuncționare) face parte din categoria munițiilor necesare protecției obiectivelor de interes și este necesară pentru asigurarea contramăsurilor electronice împotriva rachetelor cu dirijare/autodirijare în infraroșu, radiolocație în mod rapid, eficient și coordonat. Aceste produse nu necesită costuri de întreținere și nici reparații capitale pe durata de funcționare, în condițiile respectării normelor de depozitare.

Muniția de contramăsuri electronice de bruiaj pentru aeronave realizată de C.C.Ș.F.N. și prezentată în această lucrare asigură compatibilitatea și interschimbabilitatea operațională cu muniția similară produsă pe plan mondial îndeplinind standardele NATO pe linia siguranței în exploatare, depozitare, manipulare și transport.

## Bibliografie

- [1] Col ing. Stelian Constantin, col. dr. ing. Tudor Niculescu, (1988). Confruntarea pe calea undelor. Ed. Militară, București.
- [2] Stan Petrescu, (2003). Arta și puterea informațiilor. Ed Militară, București.
- [3] Lt. col. Ion Marcu, (1980). Mecanica zborului rachetelor dirijate. Academia Militară.
- [4] \*\*\* Raport testare evaluare de dezvoltare , C.C.Ș.F.N. Constanța dec. 2007.
- [5] \*\*\* Strategia de securitate națională a României, București, noe. 2001.

---

\* Comandor conf. univ. dr. ing

\*\* CS III colonel dr. ing

\*\*\* CS lt. dor ing.

\*\*\*\* CS III ing.; Centrul de Cercetare Științifică pentru Forțele Navale Constanța

\*\*\*\*\* \* ing., S.C. ELTEX EEI S.R.L., București,

## CONSIDERATIONS ABOUT POSITION AND ATTITUDE DETERMINATION OF A UAV USING INS AND GPS

Adrian STOICA <sup>\*</sup>  
Corneliu AXENTE <sup>\*\*</sup>

### *Abstract:*

*The small unmanned air vehicles (UAVs) have payload and power constraints that prohibit heavy sensors and powerful processors. Based on recent research, this paper presents real-time attitude and position estimation solutions that use integrated and inexpensive sensors and low-power microprocessors. It is essential for small UAV to have the ability of precise navigations, stabilized flying and a good attitude. In order to reduce computational overhead and to simplify the design of UAV avionics, a cascaded filter approach to position estimation is used. The design is insensitive to noise and to loss of GPS lock. Simulation and hardware tests show how the algorithms operate in real-time and they are suitable for control, stabilization, and navigation of UAVs.*

### **I. Introduction**

Few years ago, the interest increases in design and flight of small UAVs, and like direct implications has prompted research into control and navigation of such vehicles.

The potential missions of small and inexpensive air vehicles are spread in a large domain: air surveillance and reconnaissance, search and rescue, remote sensing (nuclear, biological, chemical), traffic monitoring, natural disaster damage assessment etc. A necessary feature imposed in these missions is accurate navigation of the vehicle.

Typically, small UAVs are very difficult to fly without a trained operator on the ground. To automate the stabilization and navigation of these vehicles, suitable estimation and control schemes are needed. This paper will present methods of controlling and stabilizing the attitude and the position of small UAVs, which use instruments that are minimized in volume and weight in order to fit on a small UAV (with 50 cm wingspan).

Small UAVs have some constraints that impose new modern solutions to resolve the attitude and position estimation problems. Most notably, accurate navigation-grade gyros are simply too large to be flown on these small aircraft. Power supply constraints require that low-power embedded microprocessors be used, which can restrict the complexity of algorithms that can be implemented in real-time. One of the contributions of this paper is to show that adequate estimation can be achieved even with these constraints. These methods can also be used as a back-up to more accurate estimation on larger aircraft or cruise missiles.

## II. GPS and INS control

The major components of UAV control system are:

1. Attitude Heading Reference System (AHRS)
2. Inertial Navigation System (INS)
3. Sensors (IMU, BARO, GPS receiver)

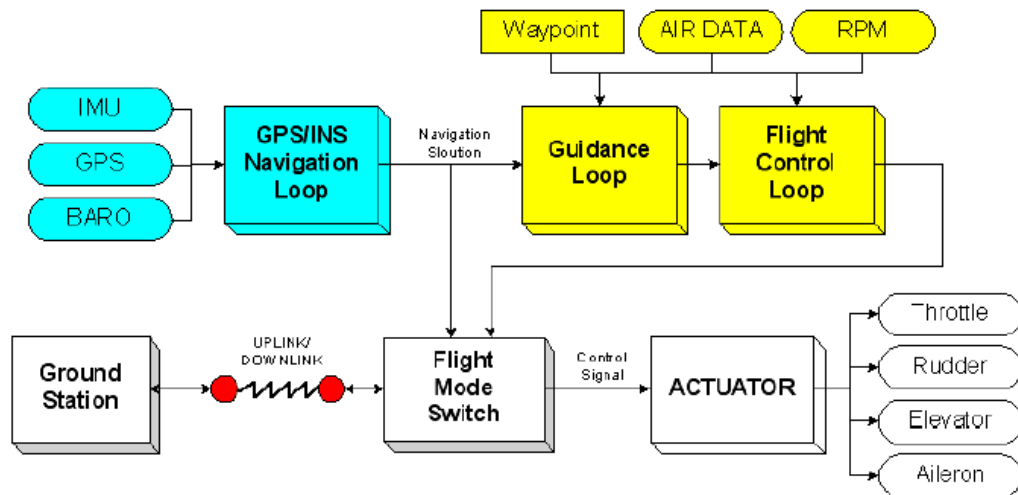


Fig. 1: The overall structure navigation, guidance and control loop in UAV

## III. The Attitude Heading Reference System

In figure 1 the AHRS is represented by a GPS receiver combined with a low-power consumption controller in the navigation loop. The controller has implemented an algorithm based on Kalman filtering in order to calculate the attitude of UAV. In our study case was chosen an Extended Kalman Filter (EKF), due to his simplicity in implementation.

One of the most difficult parts to estimate attitude is obtaining a measurement. A number of different solutions to the attitude measurement problem have been proposed and implemented. One popular method is to use the carrier phase of GPS signals. This involves at least three GPS antennas with a known geometry. Once the phase ambiguity is resolved, phase differences between antennas can be calculated, and a good estimate of attitude is made. The solution improves as the baseline between antennas increases, making implementation on small UAVs very difficult.

Perhaps the most straight-forward way to measure attitude is to use the accelerometers as an inclinometer to give a measurement of roll ( $\phi$ ) and pitch ( $\theta$ ) with the direction of GPS velocity used to measure heading ( $\psi$ ). Complications arise, however, due to the aircraft acceleration in the reference frame. This means that the accelerometers will not measure the gravity vector, rather they will measure the aircraft apparent gravity ( $g_{a \text{ aircraft}}$ ).

Measurements of  $\phi$  and  $\theta$  are made by measuring the acceleration in the body frame and relating it to a reference acceleration vector in the Earth Centered Earth Fixed (ECEF) frame (usually the gravity vector  $\mathbf{g} = [0 \ 0 \ g]^T$ , where  $g$  is the gravitational constant). The reference vector is constructed such that when the reference vector is measured in the body frame, this will correspond to zero roll and zero pitch angles.

To relate the measured acceleration in the body frame to the reference vector in the ECEF frame, a mathematical relationship for transformation between the two frames should be formalized.

The rotation matrix from the ECEF frame to the body frame is given by (1).

$$C_{ECEF \rightarrow body} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) \cdot \sin(\phi) & \cos(\phi) & \cos(\theta) \cdot \sin(\phi) \\ \sin(\theta) \cdot \cos(\phi) & -\sin(\phi) & \cos(\theta) \cdot \cos(\phi) \end{pmatrix} \quad (1)$$

This can be use in the transformation of acceleration from the ECEF frame into acceleration in the body frame with (2).

$$\begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z \end{bmatrix}^T = C_{ECEF \rightarrow body} \begin{bmatrix} r_x & r_y & r_z \end{bmatrix}^T, \quad (2)$$

where  $\mathbf{a}$  is in the body frame and  $\mathbf{r}$  is in the ECEF frame.

With the set (3) of equations can be determined expressions for  $\phi$  and  $\theta$ :

$$\begin{aligned} r_x &= -[\cos(\psi)] \cdot a_{GPS_z} + [\sin(\psi)] \cdot a_{GPS_y} \\ r_y &= -[-\sin(\psi)] \cdot a_{GPS_x} + [\cos(\psi)] \cdot a_{GPS_y} \\ r_z &= g - a_{GPS_z} \\ \sigma_\theta &= \frac{r_x a_x + r_z \sqrt{r_x^2 + r_z^2 - a_x^2}}{r_x^2 + r_z^2} \\ \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{\sigma_\theta r_x - a_x}{\sigma_\theta r_z} \right) \\ r_\theta &= r_x \sin(\theta) + r_z \cos(\theta) \\ \sigma_\phi &= \frac{r_y a_y + r_\theta \sqrt{r_y^2 + r_\theta^2 - a_y^2}}{r_y^2 + r_\theta^2} \\ \phi &= \tan^{-1} \left( \frac{\sigma_\phi r_y + a_y}{\sigma_\phi r_z} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

The procedure for obtaining an UAV attitude measurement using a low-cost GPS receiver and three axis accelerometers is now addressed. While many GPS receivers can be configured to output velocities as well as positions, it will be assumed that the GPS receiver outputs only position information at frequency 1 Hz.

To make a good measurement of UAV attitude the following steps are necessary:

1. Obtaining three consecutive GPS position measurements;
2. Make the difference of the GPS consecutive measurements to obtain two velocity measurements;
3. Average the velocity measurements to give the average velocity over two steps (over 2 seconds);
4. Calculate the heading  $\psi$  from velocity:

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{\dot{X}}{\dot{Y}} \right) \quad (4)$$

5. Make the difference of the GPS calculated velocities to obtain a GPS acceleration measurement  $a_{GPS}$ ;

6. Using average of the accelerometers over the same 2 seconds as the GPS velocity is calculated  $a$  in the body frame;

7. Calculate roll  $\phi$  and pitch  $\theta$  using the accelerometers and GPS acceleration rotated by using equations (3).

A non-linear model with 6 degree of freedom was simulated. The simulated aircraft performed an 11 minute flight, with multiple coordinated turn and climb maneuvers. Figure 2 shows the roll angle over the simulated flight (pitch and yaw angles show similar noise characteristics). The solid line is the true roll angle and the dashed line is the estimate from the AHRS.

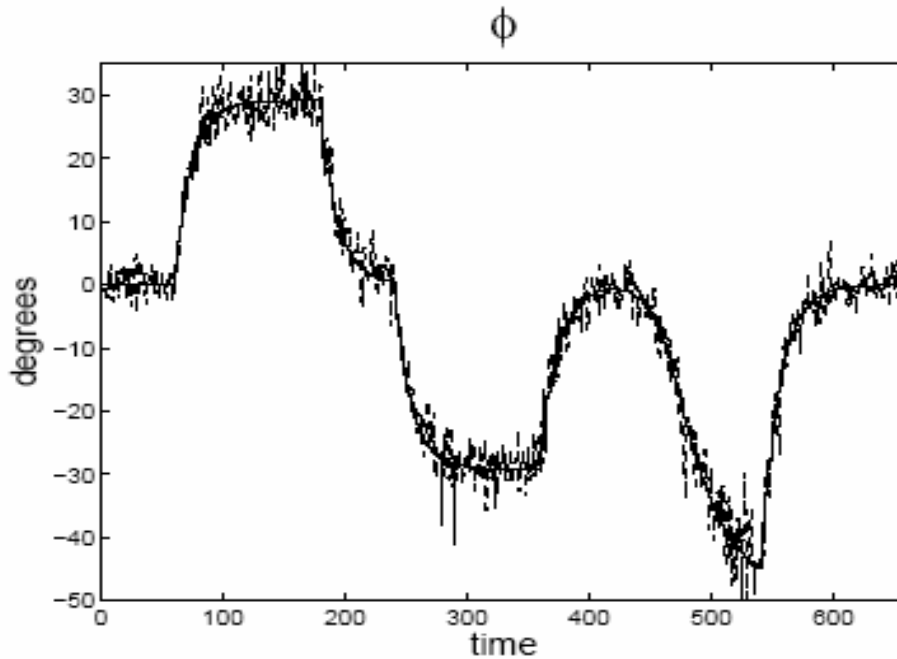


Figure 2: Roll angle over 11 minute flight.

#### IV. The Inertial Navigation System

This system computes position, velocity and attitude of the vehicle with respect to the reference frame by numerical integration of the accelerations and angular rates. The AHRS and INS are in a cascaded (serial) format. In this format, the AHRS and INS filters can be designed and tuned completely independent of each other.

A cascaded structure also reduces computation. In other words, the cascade implementation allows for increased flexibility, is easier to implement and tune, and is dramatically less computationally expensive, with only a small performance loss.

The general UAV equations of motion for navigation are given by (5) and (6) equations.

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{bmatrix} = \mathbf{DCM}^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \mathbf{DCM} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} + \frac{1}{m} \cdot F - \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \otimes X \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (6)$$

Where **DCM** is the Direction Cosine Matrix,  $u$ ,  $v$ , and  $w$  are the body velocities out the nose, the right wing, and the belly, respectively;  $X$  and  $Y$  are the inertial coordinates of the UAV in the Earth Centered Earth Fixed (ECEF) frame;  $(-Z)$  is altitude;  $g$  is the gravitational constant;  $m$  is the mass of the UAV;  $F$  is the translational forces acting on the UAV;  $p$ ,  $q$ , and  $r$  are the roll, pitch, and yaw rates, respectively.

To simplify the calculations the following assumptions will be made: (I) attitude is available from a preceding AHRS filter; (II)  $v$  and  $w$  are much less than  $u$  and close to zero (this is equivalent to assuming small angle of attack and very little sideslip); (III) a measurement of altitude is available even when GPS lock has been lost (say from an absolute pressure sensor).

With these assumptions in place, the cascaded INS and AHRS take the scheme given in figure 3, where  $V_p$  is the airspeed.

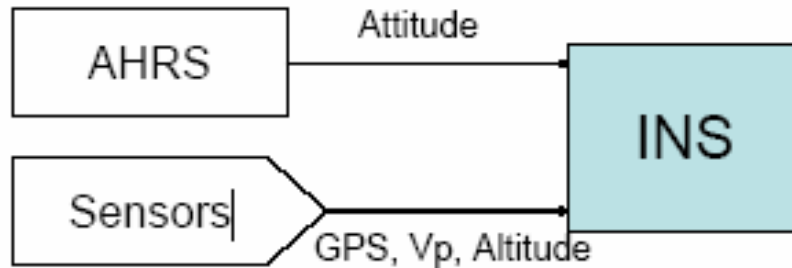


Fig. 3 The general scheme of the flight control and stabilization system

Considering the attitude estimate from the AHRS and the UAV airspeed as an input to the INS, the state-space model of position is given by relation (7).

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{DCM}^T \begin{bmatrix} V_p \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

where the **DCM** is the rotation matrix that maps vectors from the reference frame to the body frame (purely a function of attitude) and  $\mathbf{x} = [X \ Y \ Z]^T$ .

Two flight tests were simulated. First of them where GPS was available for the full time of flight, and the second where GPS information was ignored for the remainder of the flight after the filter had run for a short time.

Figure 4 (a) shows the EKF results with the corresponding GPS measurements in the case when GPS connection is uninterrupted. A magnified portion of the data is shown to verify that the INS correctly smoothes through GPS measurements, providing an estimate of position at every instant of time.

Figure 4 (b) shows the case when GPS lock is lost halfway through the flight. As can be seen, even after 5 minutes of no GPS lock, the INS only strays a maximum of 22 meters from the true position. In these figures the solid line is the true position and the dashed line is the estimated position from the INS.



The performance of the INS is very good considering the quality of the inputs (standard deviation of attitude angles of  $5^\circ$  and on airspeed 4 m/s). It is concluded that the INS is robust to both input noise and GPS loss.

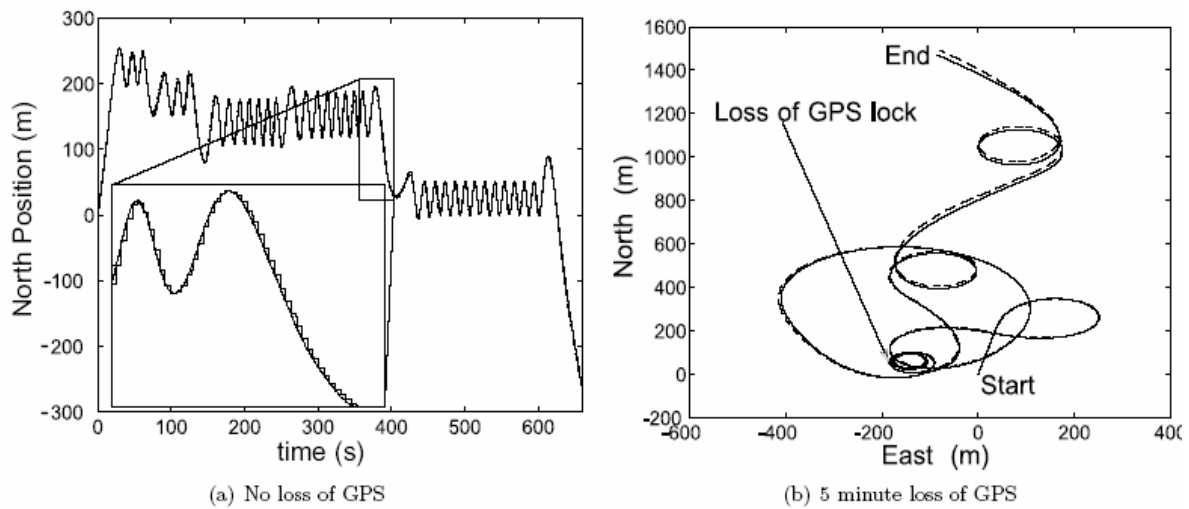


Fig. 4 Simulation results for INS performances

## V. Conclusions

The increased interest for GPS and INS control systems is justified for UAV applications and a good choice for laboratory works can be the integrated micro-pilot *MP 2028* and the associated software "*Horizon*".

The results obtained in simulations confirm the theory about the robustness of INS guidance and navigation systems, and the algorithm proposed, based on Kalman data filtering offer a good way to obtain the attitude of UAV in test flying.

These INS and GPS navigation systems are very versatile, no so expensive (few hundred of dollars). They can be easy adapted for ground vehicles or for small vessels, which can be used in military or civil applications.

## Bibliografie

- [1] Grewal M. S., Weill L. R., Andrews A P., *Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration*, S.U.A. New Jersey, Editura John Wiley and Sons Inc., 2001.
- [2] Grewal M. S., Andrews A P., *Kalman filtering: Theory and practice using MATLAB, second edition*, S.U.A. New Jersey, Editura John Wiley and Sons Inc., 2001.

\* Stoica Adrian, prof. dr. ing., Academia Tehnică Militară, astoica\_60@yahoo.com

\*\* Axente Corneliu, cercetător ing., Agenția de Cercetări, pentru Tehnică și Tehnologii Militare.

## **ELECTRONIC EQUIPMENT FOR COMBAT SEARCH AND RESCUE USED BY NATO FORCES**

Adrian STOICA \*  
Cătălin MORARU \*\*

### *Abstract:*

*When the requirements for NATO troops increase, it must to understand the main concepts and procedures which are designed to search and discover the survivors of unexpected grave event, even civilian and military activities, or both. Also it must to use modern communication and location electronic systems in joint military operations so that, based on distress calls, to set and start the capabilities for intervention and rescue the injured companions in arms or citizens.*

### **I. Introduction**

Joint force commanders have primary authority and responsibility for Combat Search and Rescue (CSAR) in support of military forces within their area of joint operation. For these reasons NATO forces have Joint Search and Rescue Center (JSRC) in the most of theatres of operations in the World. The facilities of these JSRC are operated jointly by personnel from two or more Service (Army, Navy, Air Force, Border Police and so on) and functional components (Civil Protection, Security Companies, Intelligence Service etc.), or it may have a multinational staff of personnel from two or more allied or coalition nations.

The component commanders have the responsibility to establish a Rescue Coordination Center (RCC) to manage and coordinate all steps of CSAR activities.

In order to realize the confidence of own combatants in RCC it must to have very reliable and secure communication personalized equipment, a wide area network to allow real time signal and image processing, and rapid deployment assets, armaments and forces with good experience in combat search and rescue operations.

There are some specific constraints and requests for Search and Rescue Electronic Systems (SARES) refer to low volume and weight, all weather capabilities, facile and secure links in radio network with comrades and CSAR assets, in specific radiofrequency bands or band for via satellite two way communications. Also, there are many requests to allow the compatibility (bands, modulations, codes) between equipment from various producers, in order to implement the imposed standard of interoperability in joint force multinational operations.

## **II. Communications in CSAR missions**

Communications play very important role in normally calls for help and save and in rapidly evolving dynamics which are associated with CSAR operations. Without risk of error it can say that success of CSAR depend on successful of communication links. The most part of primary form of CSAR communications is based on voice by landlines, radio channels, via satellite ways, both insecure and secure mode. During military operations are indispensable efforts to use secure communications because in the battlefield with hostile environment as the compromise of critical information could easily compromise the entire CSAR effort.

Every unit commander should be prepared, based on formed capabilities, to conduct CSAR missions in support of own troops operations and to provide mutual CSAR support to other units. When the CSAR requirements are exceeding available capabilities of unit, they will be forwarded to the component RCC or JSRC.

Every isolated personnel or unit commander who requires active CSAR support should make the request via secure communication link directly to their component RCC.

Usually timing is critical for success in CSAR missions and for this reason the expedition of CSAR requests by use secure radio or cable land link is appropriate, but only on followed up with message text, which can allow the clustering of some critical information.

A message text formatted like search and rescue incident report (SARIR) contains the nature of event causing distress and as much of the information as possible about:

- type, number, tactical call sign, frequency of units or person in distress
- location, last known position and intended track, course and speed of vehicle, vessel or aircraft
- type and amount of survival equipment
- any intelligence information regarding factors or hostile forces activity that caused the incident and current enemy activities in the observable area
- date or time for last sighting or any kind of contact, and rescue attempts made
- evasion plan of action (EPA) of the individuals concerned
- additional information that may assist the CSAR forces reducing risk and total time of their mission.

Unit commanders should develop procedures to ensure that both individual and all unit's EPA are feasible, realistic and supportable within JSRC' s concept of operation. The EPA are properly prepared, classified and regularly updated so that the CSAR mission can be planned and effectuated.

Isolated personnel are those military or civilian persons that are separated from their unit or organisation (group) in bad conditions and environment requiring them to survive or escape, during their waiting for rescue and recovery. Isolated personnel have the responsibility to report for the individual concerned, position, medical status, and to assist their own rescue through the following actions:

- preparation the Isolated personnel report (ISOPREP) which is the key document that facilitates the identification and recovery
- develop the EPA or review the existing EPA if the designated operational area changes caused by hostile forces or environment
- report own situation as soon as feasible, take known about enemy locations and activities, report these to the rescue forces
- each member of a group should be prepared to provide pertinent information about dispersal of the group, and also to receive the instruction from the rescue team that require the transformation of EPA in order to adapt to operational exigencies

- action to realize signalling between isolated personnel and rescue team with respect to the limits and restrictions determined by capabilities of signalling devices, details of terrain, weather and visibility conditions, medical status, activities of hostile forces or environment
- mark the denied territory and mantraps providing evidence to friendly forces and rescue forces in the battlefield or in the hazardous area.

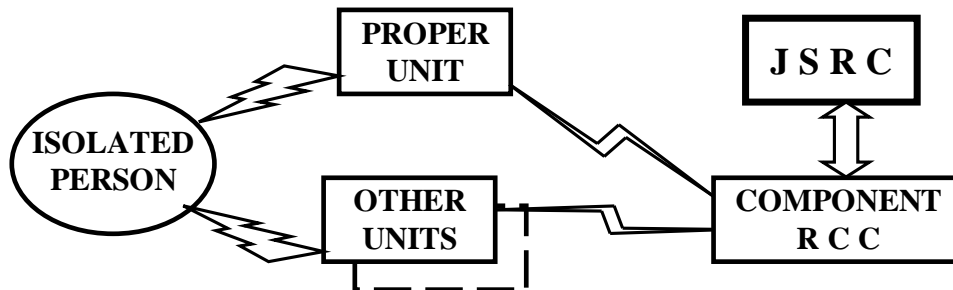


Fig. 1 Typical communication links for ISOPREP

For RCC or JSRC it can be a distress indicator one or more received reports such as: mayday alert, overdue visual or radio contact, non return from mission of persons or craft, emergency beacon transmissions, reports of personnel being isolated by hostile environment or forces activities, sighting a vessel or aircraft going down or crushed, sighting or receiving of emergency coded signals used by survivors or escapers from enemy's prisons.

### III. Standard search methods

CSAR methods include visual and electronic surveillance and search of specified area focusing on inland, coastal, water surfaces and under water environment.

The basic environment, hostile forces activities, proper operations and purposes, weather factors, search and rescue assets features, the CSAR capable and available teams, all of these plays an important role in selection of search and intervention methods.

There are five methods for search of survivor caller, starting usually with *electronic search* based on sensors in various domains of electromagnetic spectrum. After that it must continue with the *inland search* and /or *water surface search* (usually named *maritime search*).

In this cases it can be used the *boundary method* for search in every square or rectangular area described by two latitudes and two longitudes. Also, it can use the *corner method* for search in polygonal areas described by sequence of pair latitude-longitude for each corner. Another way is the *center point method* for search on radial axis divergent from specified latitude-longitude of starting point and the step and sense of angular deviation. The *trackline method* presumes the values of coordinates for start point and the law of movement and the width of coverage for search mission.

These methods can be used for *underwater or in space search* missions, but additionally it must be specified the depth or the altitude. The *coastal search* is a mixed method with inland and maritime searches with the same procedures, practicable in the first time of near water searches.

The search mission of crashed aircraft and aircrews in danger can be significantly aided and simplified by existence and functionality of **Emergency Locator Transmitters (ELT)**. There are four types of standardized ELT:

- ELT-AF, Automatic Fixed variant designed to be permanently attached to the aircraft, before and after unfortunate events including crash;
- ELT-AP, Automatic Portable designed to be mounted and attached to the aircraft before a crash, but easily removable from the aircraft after a crash by survivors in order to signalling their new location;
- ELT-S, Survivor which is intended to be removed from the aircraft, deployed and activated by survivors in a crash, usually by manual means or by automatic activation in contact with water, or in exceeding acceleration any direction;
- ELT-AD, Automatic Deployable designed to be carried in aircraft all time and ejected, automatic or manually if a crash has occurred.

All types of ELT equipment must have good mechanical strength, large domain of temperature maintaining good working regime ( $-40^{\circ}\text{C} \div +85^{\circ}\text{C}$ ), frequency of carrier on 121.5 MHz  $\pm 30$  Hz with pulse code modulation, based on International Civil Aviation Organisation (ICAO) requests. Also, some ELT equipment operate on 243 MHz  $\pm 50$  Hz and on 406 MHz in order to be compliant with receiver characteristics of satellites from American system SARSAT (Search and Rescue Satellite Aided Tracking) or Russian system COSPAS (Cosmicheskaja Sistyema Poiska Avariynyih Sudov).

NATO naval forces use the **Emergency Position Indicating Radio Beacon (EPIRB)** equipment, which should be capable of transmitting a distress alert to a satellite, normally initiated by means of a dedicated activator, which is clearly identified and protected against inadvertent operation. The manual initiation of EPIRB require good thinking and more than two action for release a non inverted mechanism, so that the EPIRB should not be automatically activated after being manually removed.

Using SARSAT system the EPIRB transmit duty cycle with homing signals for aircraft in search mission on 121.5 MHz, that it may be interrupted few seconds during the transmission of alert signal to the satellite on 406 MHz.

Using INMARSAT system, with international access, the EPIRB equipment transmit signals of distress alert to the satellite into the frequency band 1645.5  $\div$  1646.5 MHz. These types of EPIRB provide flashing light with a low duty cycle, active during darkness minimum 48 hours, in order to indicate its position for search and rescue units.

For isolated personnel in NATO forces are used **Personal Locator Beacon (PLB)** signalling and communications set, which is designed to provide as homing and alerting frequencies 121.5 MHz or 243 MHz, as continuous swept tone with the carrier amplitude modulated by rectangular signal, modulation factor of 60  $\div$  100%. Another signalling regime of PLB is with modulated continuous wave, when the carrier has the amplitude modulated with rectangular wave with 1kHz  $\pm 20\%$  and with the keyed ON/OFF ratio between 2 and 3. Also, the PLB provide voice communication like radio-telephony on 243 MHz and optional on the secondary frequency at 282.8 MHz, standardized by STANAG 7007.

#### IV. Standard recovery methods

Usually the Joint CSAR forces can select and employ in their missions any one of a variety of procedures to recover isolated personnel or unit in distress or in imminent danger.

The specific method of recovery will be dictated by the situation. The essential conditions for a successful recovery consist in the accurate location of callers and good information about the hostile environment, forces and risks.

*The single unit recovery* is the recommended and preferred method to recovery. That means a single vehicle, or vessel or helicopter (in the most of cases), used to penetrate and silent rapid motion in hostile or denied territory. The defense of recovery vehicle is accomplished by masking and remaining undetected based on relief of terrain, darkness and

low level visibility, no radio transmission, hard and adverse weather as cover rather than combat fighting or the use of firepower during CSAR mission.

The CSAR Task Force method (CSARTF) is necessary in free space of desert or plane terrain, lighting condition and good visibility all around, when the hostile forces are waiting for CSAR activities and can not be surprised.

CSARTF can help the recovery vehicles by navigation assistance, armed escort, authenticating isolated persons and units in distress, surveillance the enemy activities in the region of interest for CSAR mission, provide electronic warfare actions counter enemy's sensors and communications.

The Special Operation Forces Option (SOF) in recovery operations is an expensive method, used to extract and to place isolated person (VIP or special agent) in company with a highly trained units, as soon as possible, and to transport them in a friendly or controlled area.

Method of Evasion and Recovery Teams (E&R) is based on indigenous friendly groups and/or SOF infiltrated in the hostile territory, which act together or separately to search and recovery isolated persons, to help and rescue them.

Figure 2 present a guide to select the right assets in CSAR missions.

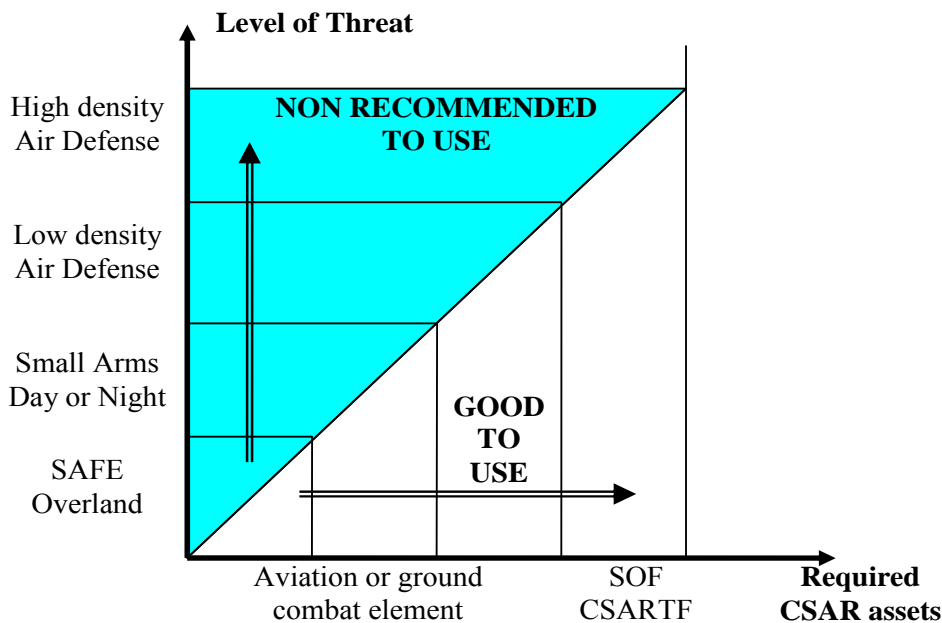


Fig. 2 Decision Map for CSAR assets

## V. State of CSAR in Romania

Now, in Romanian Ministry of Defense there are some approaches to compile and to understand the imperatives of CSAR operations in all categories of armed forces, based on NATO standards with specifications in this domain.

But there is no conception approved in military communications in this moment, and no matching between approaches and concepts of Ministry of Defense, Ministry of Sanity and Family, Ministry of Internal Affairs and Administrative Reform, Ministry of Transports and other national organisations in connection with search and rescue activities.

The basic communications in SAR activities consist in mobile phones using GSM networks authorized in Romania.



Based on the initiative and implementation of Special Telecommunication Service there is a good start point with “112 Emergency Call Phone” system, which can be used like a modern communication network in SAR activities in the entire territory of Romania.

Also, based on the experience of doctor Raed Arafat in SMURD Service (acronym from Mobile Service for Emergency, Resuscitate and Extrication), the emergency medical services are transformed based on new European criteria mixed with government insertions related to financial funds and efficiency in all medical activities. In these conditions the Ambulance Service can be a good support in SAR activities in peace or crisis time.

The Main Air Command and Control Center part of Air Force Headquarter is always interoperable with Romanian Air Traffic Services Association (ROMATSA) and has the responsibility in Air Traffic Control into the Romanian Air Space, in making the Air Police measures, and also to realize the planning, training and conducting of SAR activities in all crashes on the territory of Romania.

Based on the initial ASOC (Air Surveillance Operational Center) structure, the ACCS (Air Command and Control System) is designed to realize data fusion of radar surveillance, air traffic control in the Romanian air space and to build the RAP (Recognizable Aerial Pattern), which will be a good source of information to support decision in management of air space of Romania and command-control for aerial operations with Romanian Air Forces or NATO Air Forces assets.

There are few helicopters in Romanian Air Force, which are in service like aerial ambulance and can be used in SAR mission with ACCS approval.

In port Constanta and for navigable canal Danube – Black Sea is working the Vessel Traffic Management and Information System (VTMIS) based on radio communication network, base stations and transponders on 161.975 MHz with protocol TDMA. This system is connected with RO-RIS (Romanian Rescue Information System), which is part of European IRIS Project (Integrated RIS Project) designed to provide support information for navigation security on navigable fluvial ways and communication networks for fluvial rescue teams and border police patrols.

Few years ago started the European project for Integrated System for Observation, Surveillance and Control of Traffic (ISOSCT) at the Black Sea designed to continuous support, 24 hour per day monitoring Romanian coast by available radar equipment (fixed and mobile), patrol ships, aircraft, helicopters and patrol vehicles as well as technical equipment for ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance).

This system can realize data fusion and build the Border Police Integrated Operational Picture (BPIOP) sea surface, air and ground situation in the land border zone and 12 Nautical miles off shore. The BPIOP will be a good source of information to support decision in many purposes: fishery administration, customs management, maritime offices and activities and SAR maritime operations.

## **Bibliografie**

- [1] Joint Pub 3-50.2, Doctrine for Joint Combat Search and Rescue, 1996.
- [2] STANAG 3650 SAR Essential SAR location equipment and associated characteristics (Aircraft).
- [3] STANAG 7007 SAR Search and Rescue electronic Systems (SARES).

---

\* Stoica Adrian, prof. dr. ing., Academia Tehnică Militară, astoica\_60@yahoo.com

\*\* Moraru Cătălin, col. ing., Direcția Management Programme, Departamentul pentru Armamente.

## UN NOU MODEL MATEMATIC AL FENOMENULUI TRAGERII ÎNTR- O GURĂ DE FOC

Florin- Radu SUCIU\*

**Abstract:** În acest articol se propune un nou model matematic al fenomenului tragerii cu o gură de foc, renunțându- se la unele ipoteze simplificatoare acceptate în mod frecvent în literatura de specialitate.

Pe baza modelului matematic s- a întocmit un program de balistică interioară care permite studierea variației presiunii gazelor și vitezei proiectilului în funcție de spațiul parcurs de proiectil și de timp, precum și variația pierderii de căldură pe timpul mișcării proiectilului în țevă.

Pentru o gură de foc existentă se compară rezultatele teoretice obținute cu ajutorul modelului matematic propus, cu datele experimentale.

### Capitolul I

#### Introducere

Fenomenul tragerii este constituit din totalitatea proceselor care se desfășoară în țeava gurii de foc din momentul inițierii arderii pulberii care formează încărcătura de azvârlire până la momentul ieșirii proiectilului din țevă. Astel, în urma inițierii unei amorse printr-un procedeu oarecare (mecanic, electric sau de altă natură) se produc în camera de încărcare gaze și particule incandescente. Prin transfer termic, temperatura suprafeței elementelor pulbere crește și, după depășirea unei anumite valori, se produce inițierea aprinderii acesteia. În cazul real, dată fiind geometria camerei de încărcare și modul de dispunere a încărcăturii de azvârlire, aprinderea elementelor de pulbere nu are loc simultan. Presiunea amestecului format din gaze și elemente de pulbere care ard la volum constant crește până se realizează valoarea presiunii de forțare, când începe mișcarea proiectilului. Acesta se deplasează sub acțiunea rezultantei forțelor de presiune, de frecare dintre proiectil și pereții țevii și de rezistență a aerului din canalul țevii. În condițiile creșterii volumului dinapoia proiectilului, presiunea gazelor continuă să crească până la o valoare maximă, după care scade până la o anumită valoare când proiectilul părăsește țeava gurii de foc.

În literatura de specialitate se întâlnesc mai multe modele matematice care reflectă fenomenul tragerii, deosebirea dintre acestea constând în ipotezele adoptate.

Datorită complexității fenomenului tragerii la elaborarea modelului matematic se introduc următoarele ipoteze simplificatoare:

- arderea pulberii se desfășoară conform legii geometrice;
- legea vitezei de ardere se exprimă sub forma  $u = u_1 p$ ;
- presiunea la care arde pulberea se consideră o presiune medie  $p$ ;
- lucrurile mecanice secundare sunt proporționale cu lucrul mecanic principal al mișcării de translație a proiectilului și se evaluează cu ajutorul coeficientului de masă fictivă  $\varphi$ , considerat constant;
- tăierea brâului forțator în ghinturile țevii se consideră treptată și nu instantanee;
- compoziția gazelor de pulbere nu se schimbă, ceea ce permite ca pentru forța pulberii  $f$  și covolumul gazelor de pulbere  $\alpha$  să se considere valori constante;
- lucrul mecanic consumat pentru învingerea rezistenței aerului din țeavă, lucrul mecanic consumat pentru deformarea elastică a țevii și energia termică care se pierde prin scăparea gazelor printre proiectil și peretele țevii se neglijează;
- mișcarea proiectilului în țeavă se studiază până în momentul când acesta părăsește gura de foc.

Notațiile utilizate în lucrare sunt cele consacrate în literatura de specialitate din domeniu [1]-[3].

## Capitolul II

### Modelul matematic

Modelul matematic este alcătuit din următoarele ecuații și relații[3]:

a. Ecuația fundamentală a balisticii interioare ținând seama de tăierea treptată a brâului forțator și de pierderile prin cedare de căldură

$$sp(\ell_{\psi} + \ell) = f' \omega \psi - \frac{\theta \varphi q v^2}{2} - \theta L_6, \quad (1)$$

unde:

$$L_6 = s \int_0^{b_f} p_t d\ell; \quad f' = f \left( 1 - \frac{\Delta T}{T_1} \right); \quad \frac{\Delta T}{T_1} = \frac{C_M}{0.7774} \frac{S_0}{\omega} \frac{(l_0 + l)v - \int_0^l v dl}{l_0 v_k};$$

b. Relații care exprimă arderea pulberii și formarea gazelor:

- legea de formare a gazelor de pulbere

$$\psi = \chi z (1 + \lambda z + \mu z^2); \quad (2)$$

- coeficientul de progresivitate a formei pulberii

$$\sigma = 1 + 2\lambda z + 3\mu z^2; \quad (3)$$

- legea vitezei de ardere

$$u = u_1 p; \quad (4)$$

- viteza de formare a gazelor

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\chi}{e_1} u_1 p; \quad (5)$$

c. Ecuația mișcării de translație a proiectilului

$$\varphi q \frac{dv}{dt} = \varphi q v \frac{dv}{d\ell} = s(p - p_i). \quad (6)$$

În modelul matematic propus unele din ipotezele admise în mod frecvent au fost înlocuite cu altele care reflectă mai bine realitățile fenomenului tragerii.

### Capitolul III

#### Rezolvarea sistemului de ecuații care alcătuiesc modelul matematic

Prin rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale și algebrice (1)-(6), se determină variația presiunii gazelor în gura de foc și vitezei proiectilului în funcție de spațiul parcurs de acesta în țevă, precum și variația relativă a temperaturii gazelor.

Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale și algebrice (1)-(6) s-a făcut prin metoda Runge – Kutta de ordinul IV.

Program de calcul elaborat furnizează următoarele mărimi: timpul; presiunea gazelor de pulbere; viteza proiectilului; fracțiunea de pulbere nearsă; scăderea relativă a temperaturii gazelor.

Pentru validarea modelului matematic s-au comparat rezultatele teoretice obținute cu ajutorul programului de calcul cu datele experimentale ale unui sistem de artilerie existent care are următoarele caracteristici: calibrul  $d = 0,7620$  dm; lungimea parcursă de proiectil la părăsirea gurii de foc  $\ell_g = 26,72$  dm; volumul camerei de încărcare  $W_0 = 1,49$  dm<sup>3</sup>; suprafața inițială a camerei de încărcare  $S'_0 = 11,209$  dm<sup>2</sup>; temperatura de formare a gazelor  $T_1 = 2775$  K; caracteristica vitezei de ardere  $u_1 = 0,0000050$ ; caracteristica de formă a pulberii  $\chi = 0,72$  indicele de destindere adiabatică  $\gamma = 1,15$ ; masa încărcăturii de pulbere  $\omega = 1,08$ ; masa proiectilului  $q = 6,21$  kg; covolumul gazelor  $\alpha = 1,1$  dm<sup>3</sup> /kg.

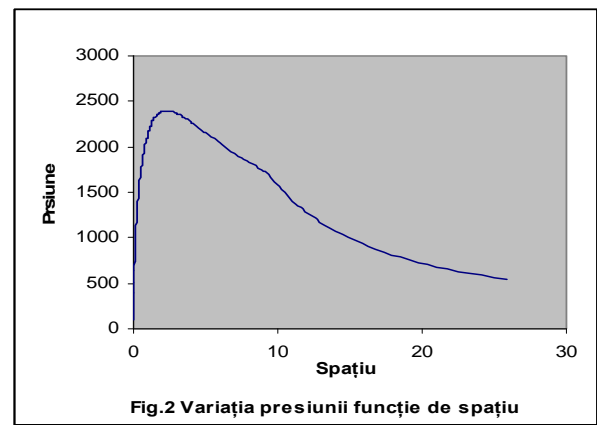
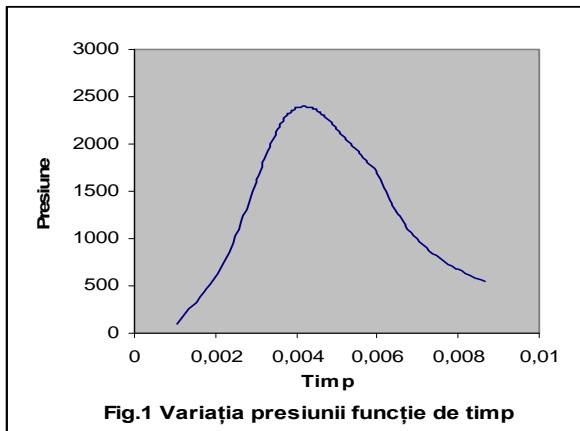
În Tabelul 1 sunt prezentate principalele caracteristicile balistice care se compară.

Tabelul 1

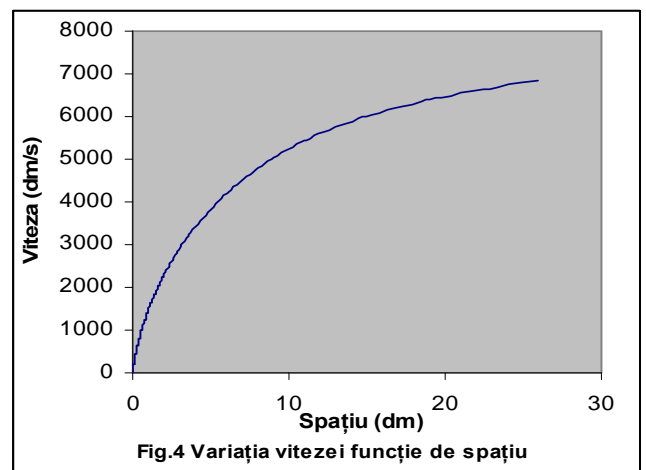
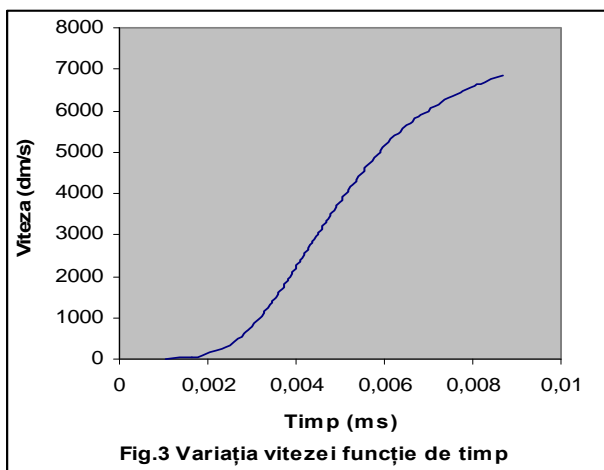
Caracteristici	Presiunea maximă [daN/cm <sup>2</sup> ]	Viteza inițială [m/s]
Date calculate	2349,47	685
Date experimentale	2419,52	719

Din Tabelul 1 se observă ca valorile principalelor caracteristici balistice, teoretice și experimentale, sunt într-un bun acord, ceea ce permite să se afirme că modelul matematic reflectă bine fenomenul tragerii cu tunul și că poate fi utilizat pentru rezolvarea problemelor de balistică interioară.

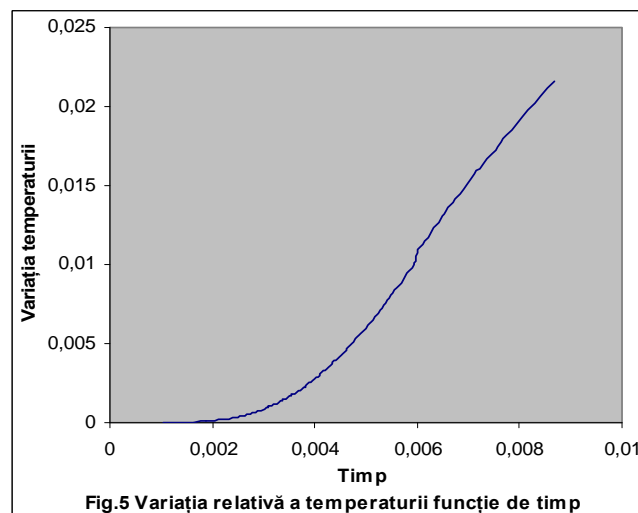
Pe baza datelor rezultate din programul de calcul s-au realizat următoarele grafice:  
 - variația presiunii gazelor de pulbere funcție de timp (Fig. 1) și funcție de spațiul parcurs de proiectil (Fig.2)



- variația vitezei proiectilului funcție de timp (Fig.3) și de spațiul parcurs de proiectil în țeavă (Fig.4)



și variația scăderii relative a temperaturii gazelor funcție de spațiul parcurs de proiectil în țeavă (Fig.5)



## Capitolul IV

### Comentarii

Modelul matematic propus în cadrul acestei lucrări reprezintă o variantă simplificată pentru studiul variației presiunii gazelor și a vitezei proiectilului funcție de timp și de spațiu parcurs de proiectil, precum și pentru evaluarea pierderilor de căldură prin transfer termic pe timpul tragerii. Astfel, la stabilirea modelului matematic al ciclului balistic s-au adoptat o serie de ipoteze simplificatoare care îndepărtează modelul matematic de fenomenul real. Cu toate acestea, prin modelul matematic propus se pune la dispoziția specialiștilor în domeniu un instrument util pentru simularea numerică cu destulă precizie a ciclului balistic în vederea rezolvării situațiilor impuse de proiectarea și exploatarea sistemelor de artilerie actuale.

O soluție de oglindire mai exactă a modelului fizic o constituie adoptarea legii fizice de ardere a pulberii în locul celei geometrice, prin utilizarea datelor obținute în urma arderii pulberii în bomba manometrică la densități de încărcare mult mai mici decât cele din gura de foc.

Din graficul prezentat în Fig.5, se observă că scăderea relativă a temperaturii gazelor în timp crește pe toată perioada ciclului balistic. Cum această scădere este determinată de cedarea de căldură către pereții țevii sistemului balistic, rezultă că și transferul termic crește cu timpul.

În cadrul altor lucrări se va aborda prin prisma curgerii nestaționare a amestecului format din gazele de pulbere și elementele de pulbere nearsă, adică curgerea nestaționară a unui amestec bifazic.

### Bibliografie

- [1]. CIURBANOV, E.V. - *Vnutrenniaia Ballistika*, Izdatelstvo VAOLKA, Leningrad, 1975.
- [2]. SEREBRIAKOV, M.E. – *Internal ballistics of guns and solid propellant rocket engines*, vol. 1 and 2, Military Academy Publishing House, Bucharest, 1970.
- [3]. VASILE, T. – *Internal ballistics of guns*, vol. 1 and 2, Military Academy Publishing House, Bucharest, 1993 and 1996.
- [4]. VASILE, T., MOCANU, R. – *Influența pierderilor prin transfer de căldură asupra principalelor caracteristici ale instalațiilor de impuls*, Revista Termotehnica Nr.2/1994, pg.138-141;
- [5]. VASILE, T., MOCANU, R., - *Studiu privind mișcarea proiectilului, în țeava gurii de foc, ținând seama de tăierea treptată a brâului forțator în ghintuiri*, A XXVIII-a sesiune de comunicări științifice a Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Armatei, Buletinul sesiunii, vol.I, 7 noiembrie 1996, București, pg.137-140;
- [6]. VASILE, T. - *Studies and researches regarding the fundamental problem solving of interior ballistics for weapon with grooved barrel*, PROCEEDINGS of III-rd International Armament Conference on Scientific Aspect of Armament Technology, October 11-13, 2000, Waplewo, pg.157-165.
- [7]. VASILE, T. - *Contributions to the fundamental problem solving of interior ballistics*, PROCEEDINGS of the II-nd International Conference “Artillery Barrel Systems, Ammunition, Means of Artillery Reconnaissance and Fire Control”, 27-29 October 1998, Kiev, pg.440-445;

---

\* Florin-Radu Suci, doctorand la Academia Tehnică Militară, București florinradusuciu@yahoo.com



## A MATHEMATICAL MODELLING OF PROJECTILE MOTION IN GUN WITH GROOVED BARREL

Titica VASILE\*  
Doru SAFTA\*\*  
Cristian BARBU\*\*\*

*Abstract: In this paper it is proposed a mathematical modelling of a projectile motion under action of powder gases pressure inside of a gun with grooved barrel, using physical law of powder burning. On the bases of the mathematical modeling was elaborated an interior ballistic software, which allows to study the variation of the powder gases pressure and the projectile velocity versus its displacement inside of gun and versus time. For an extant gun, the theoretical results obtained with the aid of this soft and the experimental data are compared.*

### Chapter I

#### INTRODUCTION

The mathematical modelling of projectile motion under action of powder gases pressure inside of the barrel of a gun with grooved barrel it is realised, in many cases, accepting a series of simplified assumptions. Thus, in many works of specialty literature [1-4] it is admitted, among others, the geometrical law for powder burning, proposed by French researcher Vieille and a constant index of burning rate law.

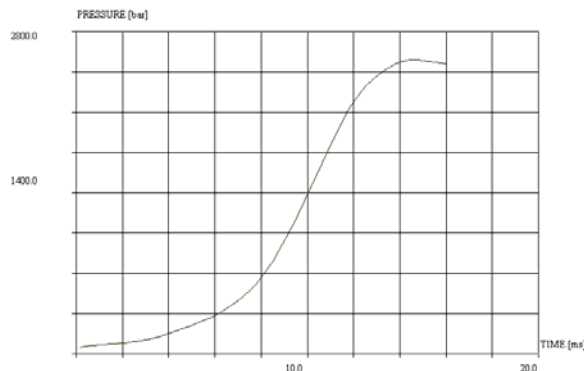


Fig. 1. Pressure in closed bomb versus time

In the elaborated mathematical modelling, for the powder burning was utilized the physical law which reflects better the reality of firing phenomenon, and uses the experimental results obtained during the powder burning in the closed bomb at densities much bigger than the densities from ballistic system. The index from the burning rate law is variable. It is determined as a function of the pressure using the pressure in closed bomb  $P(\tau)$ , which are presented in figure 1.

The elaborated mathematical modelling is consisted of the differential and algebraic equations. By solving the differential and algebraic equations system, in numerical way with the aid of the computer, it is obtained the variation of gases pressure and projectile velocity versus its displacement within the barrel and versus time since the beginning of powder burning, which defines the content of fundamental problem of interior ballistics.

The signification of the used parameters is that established in specialty literature [1-4].

## Chapter II

### MATHEMATICAL MODELLING

The elaborated mathematical modelling is based on the main differential and algebraical equations of interior ballistics [1-3].

The differential equation of displacement is obtained with the aid of the fundamental equation of interior ballistics and of the equation of projectile translation motion, thus:

$$\frac{d\ell}{\ell_{\psi} + \ell} = \frac{\varphi q}{f\omega} \frac{v dv}{\psi + \frac{v^2}{v_{\text{lim}}^2}}, \quad (1)$$

where:

$$\ell_{\psi} = \ell_0 (a - b\psi); \quad a = 1 - \frac{\Delta}{\delta}; \quad b = \Delta \left( \alpha - \frac{1}{\delta} \right); \quad \psi = \left( \frac{1}{\Delta b} - \frac{1}{\delta} \right) \left( \frac{f}{P} + \alpha - \frac{1}{\delta} \right).$$

For the obtaining of velocity differential equation, it is admit that in closed bomb and in ballistic system has been burned the same thickness of powder grain and it is took into account the equation of projectile translation motion, thus:

$$\frac{dv}{dI} = \frac{s}{\varphi q} \left( \frac{P}{p} \right)^{\nu-1}. \quad (2)$$

The differential equation for time has got the following form:

$$dt = \frac{d\ell}{v}. \quad (3)$$

These equations have been adequately transformed in order to allow the utilizing of experimental data, obtained during the powder burning in closed bomb, at the solving of fundamental problem of interior ballistics [4-7].

So, it is adopted as an independent variable  $\zeta$ , defined as ratio between impulse value of powder gases pressure at certain moment  $I$  and impulse value of powder gases pressure at the fragmentation moment  $I_s$ , in the case of multiperforated powders. In the case of simple

shape powders, impulse  $I_s$  is changed with impulse  $I_k$ , i.e. the impulse at the end of powder burning.

In order to increase level of generality of these equations are utilized following dimensionless variables:

$$\eta = \frac{v}{v_{\text{lim}}}; \lambda = \frac{\ell}{\ell_0}; \varepsilon = \frac{t}{t_{\text{lim}}},$$

where:

$$v_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{2f\omega}{\theta\phi q}}; t_{\text{lim}} = \frac{\phi q}{s} \frac{v_{\text{lim}}}{P}.$$

Using the dimensionless variables, the equation (1) becomes

$$\frac{d\lambda}{d\zeta} = 2 \frac{E}{\theta} \frac{\eta d\eta}{d\zeta}, \quad (4)$$

where

$$E = \frac{a - b\psi + \lambda}{\psi - \eta^2}.$$

Taking into account that  $dI = I_s d\zeta$  and  $v = \eta v_{\text{lim}}$ , the equation (2) gets the form

$$\frac{d\eta}{d\zeta} = \sqrt{\frac{B\theta}{2}} \left(\frac{P}{p}\right)^{v-1}. \quad (5)$$

The differential equation for time (3), after the using of the dimensionless variables and the changing of  $\frac{d\lambda}{d\zeta}$  with its expression from equation (4), becomes

$$\frac{d\varepsilon}{d\zeta} = 2 \frac{1}{t_{\text{lim}}} \frac{\ell_0}{v_{\text{lim}}} \frac{E}{\theta} \sqrt{\frac{B\theta}{2}} \left(\frac{P}{p}\right)^{v-1}. \quad (6)$$

After the introducing of the dimensionless variables in the equation of projectile translation motion, this gets the form

$$p = \frac{f\Delta}{E}. \quad (7)$$

It is eliminated the pressure from equations (4), for displacement, from (5), for velocity, from (6), for time and, finally, it is obtained:

$$\frac{d\lambda}{d\zeta} = \sqrt{\frac{2B}{\theta}} \eta E \left(\frac{EP}{f\Delta}\right)^{v-1}; \quad (8a)$$

$$\frac{d\eta}{d\zeta} = \sqrt{\frac{B\theta}{2}} \left(\frac{EP}{f\Delta}\right)^{v-1}; \quad (8b)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\zeta} = \frac{1}{t_{\text{lim}}} \frac{I_s}{P} \left(\frac{EP}{f\Delta}\right)^v; \quad (8c)$$

$$p = \frac{f\Delta}{E}. \quad (8d)$$

For the index  $v$  from burning rate law, it was taken a variable value that is calculated on the base of experimental data from closed bomb, only for two densities of charge, with the aid of relation

$$v = 1 - \frac{\log \frac{dI_2}{dI_1}}{\log \frac{P_2}{P_1}} = \frac{\log \frac{d\tau_1}{d\tau_2}}{\log \frac{P_2}{P_1}}. \quad (9)$$

The differential and algebraical equations system (8) can be used in first period, as well as in the second period of the firing phenomenon.

The differential and algebraic equations system of projectile motion within grooved barrel of gun (8) represents the new mathematical modelling which allows to study the variation of gases pressure and projectile velocity versus its displacement and versus time in conditions closer of the reality of the firing phenomenon.

### Chapter III

#### INTEGRATION OF EQUATIONS SYSTEM

The differential and algebraic equations system (8) was integrated using the Runge-Kutta IV method, with the aid of following initial conditions:

$$\zeta = \zeta_0 \neq 0; \eta = \eta_0 = 0; \lambda = \lambda_0 = 0; \varepsilon = \varepsilon_0 \neq 0,$$

in which

$$\zeta_0 = \frac{I_0}{I_s} = \frac{\int_0^{\tau_0} P d\tau}{\int_0^{\tau_s} P d\tau}; \quad \varepsilon_0 = \frac{t_0}{t_{\text{lim}}} = \frac{2.303}{t_{\text{lim}}} \frac{I_k (1-\alpha\Delta)}{f\Delta} \log\left(\frac{p_0}{p_a}\right).$$

The first period, in the case of multiperforated powder grains has two phases. In the first phase, from the moment of the inflammation of powder until the moment of breaking of powder grains, when  $\psi \leq \psi_s$  and  $v \leq 1$ , it is integrated the equations system (8). In the second phase, from the moment of powder grains breaking until the moment of the end of powder charge burning, when  $\psi_s \leq \psi \leq 1$  and  $v = 1$ , the system (8) becomes:

$$\frac{d\lambda}{d\zeta} = \sqrt{\frac{2B}{\theta}} \eta E; \quad (10a)$$

$$\frac{d\eta}{d\zeta} = \sqrt{\frac{B\theta}{2}}; \quad (10b)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\zeta} = \frac{1}{t_{\text{lim}}} \frac{I_s E}{f\Delta}; \quad (10c)$$

$$p = \frac{f\Delta}{E}. \quad (10d)$$

In the equations of this system is not included the pressure  $P$  from manometrical bomb. However, the solving of this system is done with the aid of the curve  $P(\tau)$ , because the values for  $\psi$  from E relation are calculated on the base of experimental data.

In the second period, from the moment of the end of powder charge burning until the moment when projectile leaves the barrel,  $\psi = 1$  and  $v = 1$ , the expression for E becomes

$$E = \frac{a-b+\lambda}{1-\eta^2}.$$

The initial conditions for the integration of differential and algebraic equations system (10) are just values of ballistic magnitudes at the moment of end of powder charge burning.

If the solving is effectuated for the powder that burns without breaking and in the conditions of the burning rate law  $u = u_1 P$ , in which  $v = 1$ , than it is utilized the system (10), taking into consideration the particularities of the second phase of the powders that burn with breaking of the grains.

## Chapter IV

### RESULTS AND CONCLUSIONS

In the Fig. 2 and Fig. 3 it is presented the variation of gases pressure versus displacement and time obtained with the aid of the interior ballistics software that was elaborated on the bases of proposed new algorithm, as well as usually algorithm in which was used geometrical law for powder burning, for an extant ballistic system.

From the analysis of the data that are presented in the diagrams from Fig. 2 and Fig. 3, can be concluded that there are some differences in the case of the fundamental problem solving of interior ballistics on the bases of physical and geometrical law of powder burning.

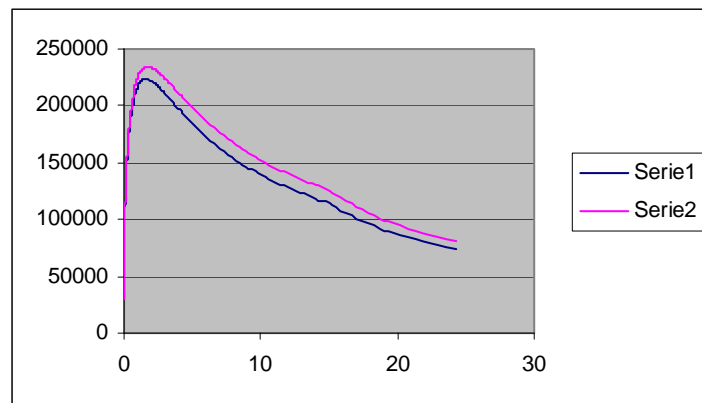


Fig. 2 The variation of the gases pressure versus displacement

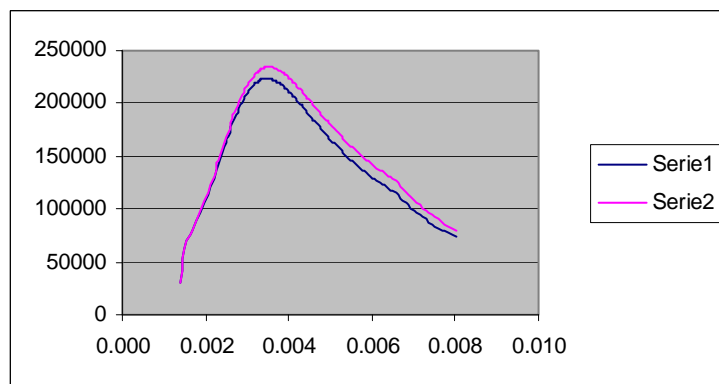


Fig. 3 The variation of the gases pressure versus time

From the analysis of the data, one of them are presented in the diagrams from Fig. 2 and Fig. 3, can be concluded that this way of the fundamental problem solving of interior ballistics is closer of firing phenomenon intimacy with gun that uses multi-perforated powders.

For an extant gun, the experimental and theoretical data are presented in Table I.

Table I

Way of determinations Magnitudes	Experimental data	Theoretical data
Maximum pressure [daN/cm <sup>2</sup> ]	2400	2344,6
Muzzle velocity [m/s]	840	847,1

From the comparing of the experimental data with the theoretical values obtained in the case of the proposed mathematical modelling, had resulted that the difference between the muzzle velocity values is approximately 0,8% and between the maximum pressure values is approximately 3%.

### REFERENCES

- [1]. CIURBANOV, E.V. - *Vnutrenniaia Ballistika*, Izdatelstvo VAOLKA, Leningrad, 1975.
- [2]. SEREBRIAKOV, M.E. – *Internal ballistics of guns and solid propellant rocket engines*, vol. 1 and 2, Military Academy Publishing House, Bucharest, 1970.
- [3]. VASILE, T. – *Internal ballistics of guns*, vol. 1 and 2, Military Academy Publishing House, Bucharest, 1993 and 1996.
- [4]. VASILE, T. - *Contributions to the fundamental problem solving of interior ballistics*, PROCEEDINGS of the II-nd International Conference “Artillery Barrel Systems, Ammunition, Means of Artillery Reconnaissance and Fire Control”, October 27-29, 1998, Kiev, pg.440-445.
- [5]. VASILE, T. - *Studies and researches regarding the fundamental problem solving of interior ballistics for weapon with grooved barrel*, PROCEEDINGS of III-rd International Armament Conference on Scientific Aspect of Armament Technology, October 11-13, 2000, Waplewo, pg.157-165.
- [6]. VASILE, T., BARBU, C. - *The fundamental problem solving of interior ballistics using the experimental data from manometrical bomb*, PROCEEDINGS of the 34-th International Scientific Symposium of the Defence Research Agency, May 29-30, 2003, Bucharest, pg.55-60.
- [7]. VASILE, T., Barbu, C. and Safta, D. – *The Fundamental Problem Solving of Interior Ballistics Using the Physical Law of Powder Burning*, Academic and Applied Research in Military Science Journal, Vol. 3, Nr. 3, ISSN 1588-8789, Budapest, 2004, pg. 407-414.

\* VASILE Titica, professor dr. eng., Military Technical Academy, Bucharest, 81-83, George Cosbuc Av., tel. 0040 21 33 54 660, fax 0040 21 33 55 763, e-mail: [titica@mta.ro](mailto:titica@mta.ro);

\*\* SAFTA Doru, professor dr. eng., Military Technical Academy, Bucharest, 81-83, George Cosbuc Av., tel. 0040 21 33 54 660, fax 0040 21 33 55 763, e-mail: [DSafta@mta.ro](mailto:DSafta@mta.ro);

\*\*\* BARBU Cristian, professor dr. eng., Military Technical Academy, Bucharest, 81-83, George Cosbuc Av., tel. 0040 21 33 54 660, fax 0040 21 33 55 763, e-mail: [barbu@mta.ro](mailto:barbu@mta.ro).



## NOI METODE ÎN CREȘTEREA SIGURANȚEI ȘI SECURITĂȚII ZBORULUI

ZGREABĂ CRISTIAN\*

*Abstract “New methods for safety and security of flight improvement”*

*Safety of air transportation is of major concern to the aviation industry, to governments and to the public. When compared with other transportation industries (maritime, rail or road transportation) the aviation industry enjoys a superior safety record. Safety consciousness and resources devoted to safety within the civil aviation community are among the reasons of this record. David R. Hinson, Administrator at the U.S. Federal Aviation Administration ascribes the observed safety enhancement to four major factors: the improvement in airborne engine's reliability, the increased airborne automation, the extensive usage of flight simulators and the continuous advances in Air Traffic Control. The first step in this process is the identification of potential hazards: for example, potential hazards could be identified during the investigation of an incident, safety surveys or the Functional Hazard Assessment of airborne System. The second step, risk analysis, analyses the risk involved in identified hazards, i.e. estimates the probability of occurrence of hazards and evaluates their degree of severity. The third step, risk assessment, aims at determining whether the organization is prepared to accept that risk.*

### CONCEPTUL DE SIGURANȚĂ A ZBORULUI

Obiectivul central al organizațiilor aeronautice românești și internaționale îl constituie adoptarea unor programe de securitate care să permită evitarea accidentelor și incidentelor de zbor.

Astfel, programul Aviation Security Programme (AVSEC) elaborat de Organizația Internațională a Aviației Civile (I.C.A.O.) precizează că **“obiectivul principal al programului de securitate al ICAO este asigurarea că pasagerii, echipajul, personalul terestru, publicul larg nu vor fi afectați de incidente sau accidente de zbor cauzate de motive tehnice sau umane sau de accesul ilegal la bordul aeronavelor”**.

*Din punct de vedere secvențial, conceptul de siguranța zborului pornește de la starea psiho-fizică a personalului participant, continuă cu pregătirea tehnicii și a personalului, cu dirijarea și conducerea zborului și se finalizează cu asigurarea protecției personalului.*

Pornind de la cele afirmate, rezultă că **siguranța zborului** depinde de o multitudine de factori care acționează în toate etapele existenței aeronavei, variabile ce pot determina evenimente, incidente sau accidente uneori cu urmări foarte grave privind pierderile materiale și umane.

În cele ce urmează vom defini noțiunile de **accident** și de **act de intervenție ilicită**.

Prin **accident** se înțelege un eveniment legat de operarea unei aeronave, care se produce între momentul în care o persoană se îmbarcă la bordul acesteia cu intenția de a efectua un zbor și momentul în care toate persoanele aflate la bord sunt debarcate și în cursul căruia :

a) cel puțin o persoană este rănită grav sau mortal datorită faptului că se află:

- în aeronavă;

- în contact direct cu aceasta sau cu un obiect care este fixat în aeronavă;

- în contact direct cu o parte oarecare a aeronavei, inclusiv cu părțile care se detașează din aceasta;

- expusă direct aspirației sau suflului motoarelor ori elicelor;

b) aeronava suferă deteriorări, avarii sau cedări structurale, care alterează caracteristicile de rezistență structurală sau performanțele de zbor, necesită o reparație importantă care nu poate fi făcută în mod normal cu mijloacele existente la bord sau necesită înlocuirea elementelor deteriorate;

c) aeronava a fost distrusă;

d) aeronava a dispărut sau este total inaccesibilă (aeronava este considerată dispărută atunci când căutările s-au încheiat oficial și epava nu a fost localizată).

Se exclud din categoria accidentelor următoarele situații:

- decesul la bordul aeronavelor, provenit dintr-o cauză naturală;

- rănirea gravă sau decesul oricărei persoane aflate la bord, ca urmare a unei tentative de sinucidere sau a neglijenței proprii;

- rănirile cauzate pasagerilor clandestini care se ascund în afara zonelor accesibile în mod normal pasagerilor și echipajului;

- când deteriorarea este limitată la accesoriile motorului sau când este vorba despre deteriorări limitate la elice, la extremitățile aripii, la antene, pneuri, frâne, carenaje sau mici perforații în înveliș care nu periclitizează siguranța în zbor sau la sol a aeronavei.

Prin **act de intervenție ilicită** se va înțelege o acțiune produsă cu intenție, constând în:

a) violență împotriva uneia sau a mai multor persoane la bordul unei aeronave la sol și în zbor, dacă acel act periclitizează siguranța aeronavei respective;

b) distrugerea unei aeronave în serviciu sau provocarea de avarii unei astfel de aeronave, care o fac indisponibilă pentru zbor sau care îi pot periclita siguranța în zbor;

c) amplasare sau favorizare a amplasării, prin orice mijloace, a unui dispozitiv sau a unei substanțe care poate distruge o aeronavă aflată în serviciu sau îi poate provoca avarii care să o facă indisponibilă pentru zbor ori care îi poate periclita siguranța în zbor;

d) distrugerea sau avarierea mijloacelor de navigație aeriană sau de intervenție în timpul funcționării lor, dacă un asemenea act poate periclita siguranța aeronavelor în zbor;

e) comunicarea intenționată a unor informații false, punând astfel în pericol siguranța unei aeronave în zbor;

f) folosirea ilegală a oricărui dispozitiv, substanță sau armă pentru:

- producerea unui act de violență împotriva uneia sau a mai multor persoane, care provoacă rănirea gravă sau moartea acestora, pe un aeroport care deservește aviația civilă;

- distrugerea sau avarierea gravă a facilităților care aparțin aviației civile sau a aeronavelor care nu sunt în serviciu, dar se află pe un aeroport, ori pentru întreruperea serviciilor aeroportului, dacă un asemenea act pune în pericol sau poate periclita siguranța aeroportului.

Este deci foarte clar ca un act de intervenție ilicită poate provoca un accident, dar în cele ce urmează noi vom analiza numai chestiunile legate de elementele normale provocatoare de accidente.

## TEORIA ACCIDENTULUI NORMAL

### Introducere

În pofida investițiilor de miliarde de dolari de care a beneficiat N.A.S.A. pentru îmbunătățirea siguranței misiunilor și a utilizării unor experți din afara agenției, la data de 28 ianuarie 1986 întreaga lume a fost șocată de explozia navei spațiale Challenger și de moartea celor șapte membri ai echipajului.

Concluzia desprinsă de administrația N.A.S.A a fost că îmbunătățirea siguranței unor sisteme complexe, precum navele spațiale, trebuie realizată de proprii specialiști prin metode calitative și cantitative pentru identificarea riscurilor de accident și a consecințelor acestora.

Aceasta nouă abordare a managementului riscului se bazează în primul rând pe **cunoaștere și prevede implicarea personalului la toate nivelurile proiectului și utilizarea eficientă a resurselor.**

În aceste circumstanțe, a fost elaborată așa-numita teorie “**a accidentului normal**”, dezvoltată în anul 1998 de către Dr. Michael A. Greenfield, Șeful Departamentului de Siguranță și Asigurare a Misiunii din N.A.S.A, în cadrul lucrării “**Schimbarea feței N.A.S.A. și a domeniului aerospațial**” care vizează în esență sensibilizarea personalului la problemele privind cauzele accidentelor și a modalitățile de diminuare a efectelor produse de acestea.

În sinteză, teoria accidentului normal conduce la concluziile:

- ❑ Accidentele sunt inevitabile – **normale**
- ❑ Accidentele **pot fi prevenite** printr-o bună organizare și management al proiectului;
- ❑ **În sistemele complexe sau cuplate, accidentele sunt inevitabile**
- ❑ O analiză detaliată va conduce la descoperirea unor probleme neplanificate și de neimaginat;
- ❑ O examinare riguroasă scoate în evidență întotdeauna **interacțiuni complexe.**
- ❑ Este esențială folosirea experienței rezultate din incidente pentru a preîntâmpina intrarea lor în complexitate interactivă.
- ❑ Pentru a preîntâmpina accidentele normale, trebuie să înțelegem interacțiunile complexe ale programului, să analizăm sesizările și greșelile astfel încât să descoperim cauzele și să folosim aceste cunoștințe dobândite pentru îmbunătățirea programelor și a funcționării sistemelor.

Prin teoria accidentului normal, sistemele complexe și caracteristicile lor se definesc astfel :

- ❑ Un sistem este **complex** atunci când, prin concepție, **au fost introduse interacțiuni complexe** de felul:
  - ✓ Urmări neobișnuite, neplanificate sau neașteptate care nu sunt imediat vizibile
  - ✓ Caracteristici de proiectare, ca ramificații sau bucle de reacție, care pot conduce la defectări
  - ✓ Premise ca defectele să producă direct sau indirect defectarea altor subsisteme
- ❑ **Un sistem complex este interdependent când implică:**
  - ✓ procese dependente de timp care nu preconizate ;
  - ✓ Procese strict secvențiale (cum ar fi secvența A trebuie să fie urmată de secvența B);
  - ✓ Funcționarea corectă se poate realiza numai într-un singur mod;
  - ✓ Sistemul este foarte sensibil (pentru o funcționare reușită sunt necesare cantități precise de resurse specifice)

### Cauzele accidentelor

- ❑ **Eroarea umană;**
- ❑ Defecțiuni mecanice;
- ❑ Mediu de lucru nefavorabil (inclusiv managementul organizației);
- ❑ Proiectarea incorectă a unui sistem;
- ❑ Procedurile folosite;

- Așteptările nerealiste

#### **Factori aleatorii de producere a accidentului**

- **Defectarea** (indiferent de natura ei: materială, umană, organizatorică) poate coincide cu alte defectări, sau poate determina alte defectări. Astfel de combinații nedorite pot cauza defectări în cascadă ale altor părți sau subsisteme.
- În **sistemele complexe, aceste posibile combinații sunt practic nelimitate;**
- Un sistem **complicat are propria sa inteligență**, cu conexiuni invizibile, redundanțe neutralizate, protecții și condiții de exploatare pe care proiectanții nu pot să le anticipeze sau planifice corespunzător.
- **Defectările în cascadă** pot accelera pierderea controlului, confuzia operatorilor umani și incapacitatea lor de a proceda pentru repunerea în funcțiune a sistemului.

#### **Evitarea accidentelor din domeniul aerospațial printr-o abordare bazată pe fiabilitate**

- Obiectivul principal este siguranța zborului;
- Siguranța acestuia poate fi mărită prin proiectarea unor subsisteme redundante, prin dublarea și suprapunerea sistemelor vitale, modalitate ce poate conduce la realizarea unui sistem fiabil din componente nefiababile;
- Descentralizarea deciziei permite răspunsuri prompte și flexibile la evenimente neprevăzute;
- Cultura pentru fiabilitate crește siguranța prin uniformizarea nivelului de cunoaștere și pregătire al operatorilor;
- Utilizarea continuă, încercarea și simularea crează și menține fiabilitatea sistemului;
- Experiența și concluziile desprinse din studiul accidentelor de zbor anterioare sunt benefice și trebuie dublate de anticipare și simulări. După cauzele ce le-au produs, accidentele se datorează unei (unor)
- Eroare de utilizare;
- Erori de proiectare a sistemului;
- Defecțiuni mecanice;
- Proceduri;
- Încercări neadecvate;
- Mediu de lucru nefavorabil (inclusiv managementul organizației)

**Deși de multe ori eroarea umană este citată drept cauză a accidentelor, proiectarea sistemelor ar trebuie să împiedice operatorul să poată greși.**

#### **Verificări /inițiative în cadrul organizației**

- Cauzele accidentelor majore pot fi descoperite prin analize interne amănunțite.
- Analizele interne pot conduce la descoperirea interacțiunilor complexe neprevăzute.
- Pot fi dezvoltate acțiuni corective proprii pentru prevenirea accidentelor cauzate de factorul uman.

#### **Elementele programului privind factorul uman**

- Accidentele majore pot fi evitate prin înțelegerea premizelor de defectare și eliminarea cauzelor aferente.
- Trebuie promovate soluții tehnice care limitează complexitatea și interdependența sistemelor.
- Trebuie aplicate măsuri corective atunci când sunt identificate cauzele accidentelor
- Trebuie luate în considerație observațiile utilizatorului sau personalului

#### **CONCEPTUL DE RISC**

Realizarea obiectivelor și proiectelor unei organizații presupune identificarea și asumarea unor riscuri multiple, cum ar fi schimbările de mediu sau schimbări interne, conceperea unor strategii nerealiste, erori și omisiuni în concepție, proiectare și execuție,

etc. Definim noțiunea de **risc** ca **gradul de nesiguranță** asociat oricărui eveniment. Nesiguranța se poate referi la probabilitatea de apariție a unui eveniment sau la influența, la efectul, unui eveniment în cazul în care acesta se produce.

Riscul apare atunci când:

- un eveniment se produce sigur, dar rezultatul acestuia e nesigur;
- efectul unui eveniment este cunoscut, dar apariția evenimentului este nesigură;
- atât evenimentul cât și efectul acestuia sunt incerte.

În cazul organizațiilor din orice domeniu, **riscul** este reprezentat de **probabilitatea** de a nu se respecta obiectivele stabilite în termeni de **performanță a produselor sale** (nerealizarea standardelor de calitate sau așteptărilor clienților), nerealizarea **programelor** de livrare sau a termenului de execuție, nerespectarea **costurilor planificate** (depășirea bugetului), etc.

**Element de risc** este reprezentat de orice element care are o probabilitate măsurabilă de a devia de la plan, pentru realizarea obiectivelor cărui este necesară derularea unor seturi de activități. Această abordare presupune desigur existența unui plan, concretizat în strategii sau programe ce constituie elemente care permit prefigurarea realității și apoi confruntarea realizărilor efective cu cele așteptate.

### CONCEPTUL DE RISC ÎN DOMENIUL AEROSPAȚIAL

Uzual, conceptul de risc include atât probabilitatea de producere a unui accident cât și consecințele nedorite ale acestuia, de exemplu numărul de persoane rănite sau de victime. Uneori, riscul este definit ca valoarea prognozată a consecințelor unui accident. De remarcat că nici una din definiții nu descriu de fapt fenomenul produs, ele fiind doar expresii ale mărimii lui. Pentru a obține o distribuție probabilă a consecințelor unui eveniment, este necesară o descriere detaliată a acestuia.

În concepția Biroului de Securitate și Asigurare Misiuni de Zbor (*Office of Safety and Mission Assurance*) din cadrul N.A.S.A., prezentată în lucrarea “*Probabilistic Risk Assessment/ Procedures Guide for Managers and Practitioners*”, **definiția riscului** implică analiza a trei elemente de bază:

- Ce poate merge rău ?
- Cât de acceptabil este aceasta ?
- Care sunt consecințele?

Răspunsul la prima întrebare îl constituie **un set de scenarii de producere a accidentului**;

Răspunsul la a doua întrebare îl reprezintă **evaluarea probabilității de producere a acestor scenarii**;

Răspunsul la a treia întrebare, cea mai importantă, **este estimarea consecințelor acestor scenarii**.

Potrivit N.A.S.A, *NPR 8000.4, Risk Management Procedural Requirements w/Change 1 (4/13/04) valabil între 04.2002 – 04.2007/* și PR 7120.5 “*NASA Program and Project Management Processes and Requirement*”, **riscul** este definit astfel:

**combinația dintre:**

**1) probabilitatea ca într-un program sau proiect sa apară un eveniment nedorit** (cum ar fi depășirea costului, nerespectarea termenelor planificate, accident de siguranță, compromis de securitate, etc. ) **și**

**2) consecințele, impactul, sau severitatea unui eveniment nedorit care poate apare.**

În activitatea managerială din domeniul aerospațial a apărut un concept nou și anume managementul riscului bazat pe metode de analiză probabilistică a riscului în scopul stabilirii deciziei manageriale celei mai eficiente.

## MANAGEMENTUL RISCULUI

Managementul riscului este un proces ciclic ce conține trei **faze** distincte, și anume identificarea riscului, analiza riscului și reacția la risc.

### IDENTIFICAREA RISCULUI

În faza de identificare a riscului se evaluează pericolele potențiale, efectele și probabilitățile de apariție ale acestora pentru a decide care dintre riscuri trebuie prevenite. Practic, în această fază se identifică toate elementele care satisfac condițiile (1) și (2).

Totodată, se elimină riscurile neconcordante, adică acele elemente de risc cu probabilități reduse de apariție sau cu un efect nesemnificativ.

Identificarea riscurilor trebuie realizată în mod regulat luând în considerare atât riscurile interne cât și pe cele externe. Riscurile interne sunt cele pe care echipa managerială le poate controla sau influența, în timp ce riscurile externe nu se află sub controlul acesteia.

Riscul poate fi identificat folosind diferite metode:

- ✓ întocmirea unor liste de control care cuprind surse potențiale de risc, cum ar fi: condiții de mediu, rezultatele așteptate, personalul, modificări ale obiectivelor, erorile și omisiunile de proiectare și execuție, estimările costurilor și a termenelor de execuție, etc.;
- ✓ analiza documentelor disponibile în arhivă, pentru identificarea problemelor care au apărut în situații similare celor curente;
- ✓ utilizarea experienței personalului direct productiv (șefi de secții și de echipe) prin invitarea acestora la o ședință formală de identificare a riscurilor. De multe ori personalul din teren este conștient de riscuri și probleme nesizate de cel din proiectare și de aceea comunicarea eficientă este una dintre cele mai bune surse de identificare și diminuare a riscurilor;
- ✓ identificarea riscurilor induse din exterior.

### ANALIZA RISCULUI

Faza a doua ia în considerare riscurile identificate anterior și realizează o cuantificare aprofundată a acestora. Pentru analiza riscului se folosește un instrumentar matematic divers, mergând de la analiza probabilistică la analiza prin metoda Monte Carlo. Alegerea aparatului matematic trebuie să fie adaptată necesităților analizei și să țină seama de acuratețea datelor disponibile.

Cea mai simplă metodă de cuantificare a riscurilor este aceea a **valorii așteptate** (VA), care se calculează ca produs între probabilitățile de apariție ale anumitor evenimente și efectele acestora:

$$VA(a) = P(a) \times E(a) \quad (3)$$

unde: VA(a) = valoarea așteptată a evenimentului (a)

P(a) = probabilitatea de apariție a evenimentului (a)

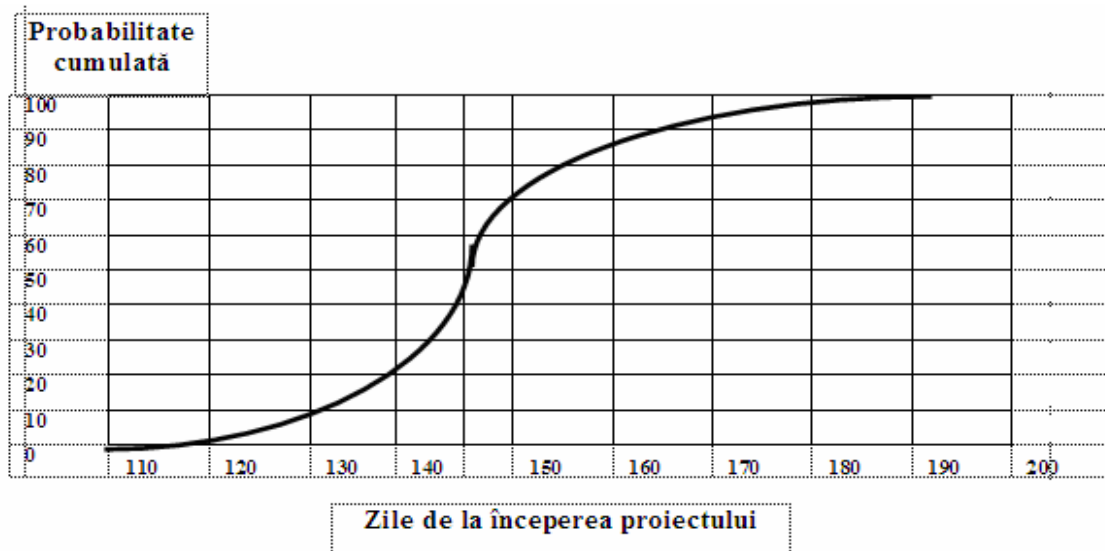
E(a) = efectul apariției fenomenului (a)

Având în vedere faptul că estimarea probabilităților este un proces cu un grad mare de subiectivitate, rezultatele obținute prin metoda valorii așteptate sunt de obicei utilizate ca date de intrare pentru analize ulterioare.

**Simulările** constituie o metodă avansată de cuantificare a riscurilor. care utilizează un model matematic al unui sistem pentru a analiza performanțele sau comportamentul acestuia. Pentru proiecte complexe se folosește frecvent simularea **Monte Carlo** a programului de execuție și a costurilor asociate activităților.

Această tehnică simulează realizarea obiectivelor de un număr mare de ori furnizând o distribuție statistică a rezultatelor.



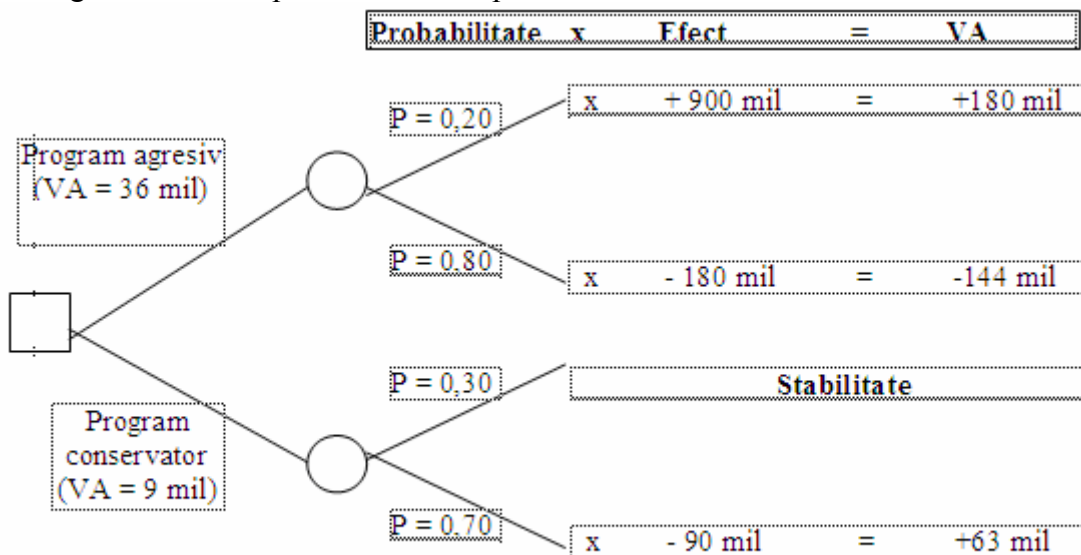


Rezultatele unei simulări Monte Carlo a programului de execuție

Această curbă – S arată probabilitățile cumulate ale realizării obiectivului până la o anumită dată. De exemplu, există o probabilitate de 50% ca obiectivul să fie atins în 145 zile. Datele de realizare a obiectivului din partea stângă prezintă riscuri mai mari decât cele din partea dreaptă a graficului.

**Arborii decizionali** sunt instrumente care descriu interacțiunile cheie dintre decizii și evenimentele aleatoare, așa cum sunt percepute de către decidenți. Ramurile arborelui reprezintă fie decizii (reprezentate ca pătrate), fie rezultate aleatoare sau incerte (reprezentate sub forma unor cercuri).

Figura următoare prezintă un exemplu de arbore decizional.



Arbore decizional

- **Valoarea așteptată (VA) a unui efect** = Efect x Probabilitatea de apariție a efectului
- **Valoarea așteptată a unei decizii** = suma valorilor așteptate ale tuturor efectelor rezultând din acea decizie
- Programul “agresiv” are valoarea așteptată de 36 milioane \$ și va fi preferat programului “conservator” care are o valoare așteptată de 9 milioane \$.



Reacția la risc este faza de acțiune din cadrul ciclului managementului riscului, în care se încearcă să se elimine riscurile și să se reducă sau să se repartizeze riscurile.

### REAȚIA LA RISC

Această a treia etapă își propune **eliminarea riscurilor** identificate și analizate anterior. Pe cale de consecință, echipa managerială poate sau nu să inițieze o anumită activitate, care să acopere riscurile.

Cele mai multe dintre opțiunile care își propun să elimine total riscul au dezavantajul că tind să transforme organizația într-una necompetitivă. O organizație cu aversiune prea mare față de risc nu va supraviețui mult timp și va trebui să-și investească capitalul în altă zonă.

**Diminuarea riscurilor** se poate realiza printr-o serie de instrumente cum sunt:

- *programarea.* În cazul în care riscurile sunt legate de termenul de execuție, programarea științifică a activităților cu ajutorul graficelor de rețea poate diminua riscurile în limite rezonabile.
- *instruirea.* Multe riscuri sunt legate de securitatea muncii, care influențează productivitatea și calitatea lucrărilor. Probabilitatea producerii accidentelor și efectul acestora se poate reduce prin programe de instruire și conștientizare în domeniul securității muncii.
- *reproiectarea.* Riscurile pot fi de multe ori diminuate printr-o reproiectare judicioasă a echipelor de muncă, fluxurilor de materiale, folosirii echipamentelor și a forței de muncă.

**Repartizarea riscurilor** este, de asemenea, un instrument performant de management al riscului. Această metodă vizează identificarea entităților organizaționale care vor accepta o parte sau întreaga responsabilitate pentru consecințele riscului. Repartizarea riscului trebuie să se facă ținându-se seama de comportamentul față de risc al diferitelor organizații implicate. În acest sens, regula generală de alocare a riscului este ca acesta să fie atribuit subsistemului organizațional care are capacitatea maximă de control a acestuia.

Un proces formalizat de management al riscului va da rezultate pozitive numai dacă ia în considerare toate aspectele acestuia. Performanța în procesul de management al riscului este dată de calitatea managerilor și a personalului implicat și în special de cea mai slabă verigă din cadrul său.

Managerii firmei trebuie să se asigure că echipa care realizează managementul riscului este competentă și a găsit o cale de mijloc între tehnicizarea excesivă a procesului și acțiunea pe bază de intuiție.

## MANAGEMENTUL CONTINUU AL RISULUI (MCR)

### GENERALITĂȚI

Standardele moderne privind managementul programelor, dintre care, cităm standardul american NPG 7120.5A, impun managementul **continuu** al riscului în ciclul de viață al proiectului, astfel încât, să fie posibilă **decizia proactivă privind dezvoltarea programului**. Managementul riscului în ciclul de viață presupune evaluarea **continuuă** a riscului, determinarea riscurilor majore, implementarea măsurilor de control al acestor riscuri și asigurarea aplicării efective a strategiilor stabilite.

Această nouă abordare pentru managementul riscului este bazată în primul rând pe **cunoaștere și prevede implicarea personalului la toate nivelurile proiectului având drept consecință utilizarea eficientă a resurselor**. Procesul de management continuu al riscului poate fi schematizat astfel:

**Identificarea** riscului și stabilirea constrângerilor proiectului pentru definirea criteriilor de succes și a riscurilor, prin metode de evaluare probabilistică a riscului

**Analiza** –evaluarea probabilității și severității riscului

**Elaborarea planului** - modul de abordare a riscului (acceptare, diminuare, monitorizare); stabilirea nivelelor și a costurilor de diminuare a riscului.

**Urmărirea** – realizarea, analiza și organizarea datelor referitoare la risc, raportarea, verificarea și validarea acțiunilor de reducere a riscului.

**Controlul deciziei** - în cazul riscului acceptat.

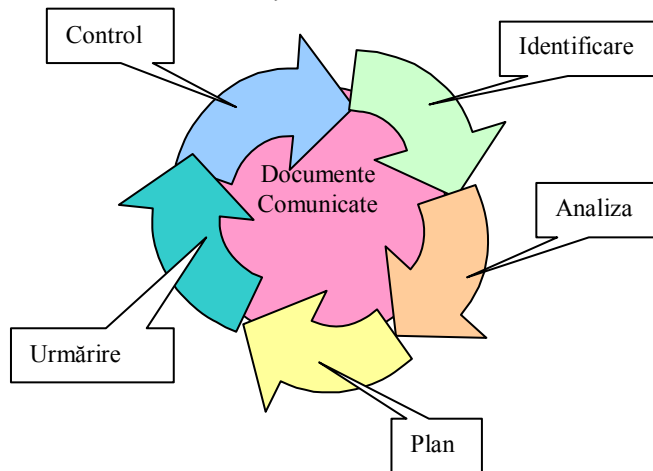
**Comunicarea – deciziilor** privind riscul și a înregistrărilor referitoare la risc

Procesul menționat urmează să fie reiterat în întreg ciclul de viață al produsului iar managementul riscului începe odată cu demararea programului/proiectului și trebuie să continue într-o manieră ordonată, de-a lungul ciclului său de viață. Esențial pentru succesul managementului de risc este vederea de ansamblu asupra desfășurării proiectului și asupra criteriilor de succes impuse precum și comunicarea în timp real între membrii echipei care participă la realizarea proiectului.

Trebuie menționat că, pe parcursul timpului, elementele managementului de risc au fost denumite diferit, deși în esență exprimau concepte similare.

De exemplu, se folosește adesea termenul:

- ✓ *amenințare* pentru evenimentele nedorite,
- ✓ *vulnerabilitate* echivalent cu probabilitatea de a se produce un eveniment nedorit, sau
- ✓ *impact* echivalent cu consecința.



Procesul continuu al managementului de risc

Fig.1

## IDENTIFICAREA RISCULUI

### Conceptul de identificare a riscului.

Prima etapă în procesul MCR este identificarea riscurilor (tehnice și programatice) specifice proiectului, atât în termeni de accidente /evenimente neașteptate ca și a consecințelor acestora. În plus, identificarea riscului include cunoașterea informațiilor necesare pentru a încadra riscul în contextul programului/proiectului.

Identificarea riscului trebuie să continue în întregul ciclu de viață, acțiune ce trebuie realizată într-o manieră clară, astfel încât să poată fi înțeleasă de oricine, chiar după trecerea timpului.

Riscul poate fi considerat identificat, dacă se răspunde cel puțin la întrebările:

- " Ce poate merge rău ?
- Cât de acceptabil este aceasta ?
- Care sunt consecințele?

### **Datele de intrare pentru identificarea riscului**

Sursele de informare care pot furniza elemente utilizabile ca date de intrare sunt:

- a. Membrii echipei.
- b. Analize anterioare, experiențe anterioare, baze de date privind accidente și incidente anterioare.
- c. Analize privind fiabilitatea și securitatea sistemelor echivalente.
- d. Interveniile cu experți din diferite domenii – proiectare, fabricație, exploatare, încercări în zbor, etc.
- e. Extrapolarea unor date bazate pe analize și evaluări ale unor date anterioare;
- f. Modelări, simulări, date de încercare;
- g. Analize distructive pe structuri similare;
- h. Analize comparative privind obiectivele, criteriile de performanță, planificarea, performanțele realizate, tehnologiile utilizate, comportarea în exploatare, fiabilitatea, mentenabilitatea;
- i. Analize ale resurselor disponibile și necesare, schemelor de realizare, rapoartelor de monitorizare;
- j. Analizele relațiilor cu furnizorii și utilizatorii, procedurile de colaborare cu aceștia, reclamațiile și modul lor de soluționare.
- k. Analizele cererilor de modificare documentație;
- l. Rezultatele încercărilor;
- m. Rapoartele de neconformitate;
- n. Analizele și evaluările factorilor externi care pot afecta nivelul de risc al proiectului/programului precum securitatea datelor, performanța factorului uman, condiții de mediu;
- o. Evaluarea rezultatelor analizelor de risc din alte programe/ proiecte;
- p. Infrastructura necesară și disponibilă;
- q. Metodele, instrucțiunile și procedurile de lucru și sistem existente și necesare.

### **Datele de ieșire pentru identificarea riscului**

Pentru identificarea datelor de ieșire privind riscul sunt necesare următoarele acțiuni:

- a. Stabilirea nivelului de risc pentru fiecare element de risc;
- b. Întocmirea listei de risc a programului;
- c. Actualizarea listei pe întreg ciclul de viață al programului/proiectului, cu date identificate pe parcursul concepției, dezvoltării, aprovizionării, fabricației, încercărilor și exploatării.

### **ANALIZA DE RISC (Evaluare sau Estimare)**

#### **Conceptul privind analiza de risc.**

În analiza de risc este necesar să se răspundă la următoarele întrebări:

- **Cât este de probabil să se producă acest risc?**
- **Cum putem reacționa prompt la acest risc?**
- **Cum este acest risc în comparație cu altul?**

Analiza de risc constă în evaluarea probabilității de apariție (scenariul de producere a evenimentelor inclusiv estimarea frecvenței și modului de apariție) și a consecințelor acestora. Estimarea poate fi cantitativă sau calitativă, dar trebuie avut în vedere în ce măsură riscurile identificate pot fi clasificate după nivelul lor de pericol.

Analiza se poate efectua prin:

- a. Expertize tehnice;
- b. Analize statistice ale înregistrărilor anterioare;
- c. analize de incertitudine (constând în modelarea sistemului investigat, cu modificările inerente apărute în ciclul de viață)
- d. Evaluarea probabilistică a riscului; analiza arborelui de defect, analiza modurilor de defectare și a efectelor defectărilor (v. cap 7)
- e. Ordonarea după nivelul de risc;
- f. Comparații cu sisteme analoge.

Înainte de a stabili gradul de prioritate, riscul trebuie clasificat și grupat funcție de similitudinea cu alte riscuri.

Scopul clasificării este:

- a. Înțelegerea naturii riscului și gruparea acestora, pentru adoptarea unei scheme cu raportul cost-eficiență cât mai favorabil;
- b. Identificarea riscurilor identice, echivalente sau o combinație a acestora;
- c. Eficientizarea urmăririi și monitorizării

Scopul stabilirii gradului de prioritate este sortarea/separarea riscurilor care nu pot fi acceptabile, dintre riscurile posibile. Pentru stabilirea gradului de prioritate se pot folosi metode cantitative sau calitative cum ar fi numărul de voturi sau de atribute

### **Consecințe**

Consecința reprezintă o evaluare a unei situații potențial credibile apărută ca urmare a unui risc, iar unitatea de măsură diferă funcție de riscul specific. De exemplu, riscul privind costul se exprimă în bani (dolari, euro, lei) sau în procente din bugetul programului/proiectului.

- Consecințele se clasifică în:
  - Consecințe catastrofale
  - Consecințe critice
  - Consecințe moderate sau marginale
  - Consecințe neglijabile
- a. Clasa I - Consecințe catastrofale. O situație care poate cauza:
    - ✓ moarte sau infirmitatea unor persoane;
    - ✓ distrugerea aeronavei;
    - ✓ distrugerea unor facilități la sol;
    - ✓ neîndeplinirea unei misiuni vitale;
    - ✓ depășirea costurilor cu peste 50% din costurile planificate.
  - b. Clasa II – Consecințe critice. O situație care poate cauza:
    - ✓ rănirea gravă sau boli profesionale
    - ✓ avarii grave ale aeronavei;
    - ✓ avarii ale facilităților de la sol
    - ✓ depășirea costurilor cu peste 15% până la 50% din costurile planificate
  - c. Clasa III – Consecințe moderate. O situație care poate cauza:
    - ✓ răniri sau boli profesionale minore;
    - ✓ distrugerea minoră a facilităților;
    - ✓ depășirea costurilor cu 2% până la 15% din bugetul proiectului
  - d. Clasa IV - Consecințe neglijabile. O situație care poate cauza:
    - ✓ răniri minore care pot necesita primul ajutor, dar nu afectează sănătatea sau siguranța persoanelor;
    - ✓ avarii ale aeronavei, sistemelor sau echipamentelor care nu sunt mai mari decât cele produse prin uzură;
    - ✓ depășirea costurilor planificate cu mai puțin de 2%.

### □ Probabilitate de producere

Probabilitate de producere este posibilitatea de a se produce un risc identificat.

Exemple de categorii pentru probabilități de producere a riscurilor identificate sunt:

a. Probabilitate de producere A.

Posibil să se producă (de ex. probabilitate  $> 0.1$ ).

b. Probabilitate de producere B.

Probabil se va produce (de ex.  $0.1 \geq$  probabilitate  $> 0.01$ ).

c. Probabilitate de producere C.

Poate să se producă (de ex.  $0.01 \geq$  probabilitate  $> 0.001$ ).

d. Probabilitate de producere D.

Puțin probabil sa se producă (de ex.  $0.001 \geq$  probabilitate  $> 0.000001$ ).

e. Probabilitate de producere E.

Improbabil (de ex.  $0.000001 \geq$  probabilitate).

### □ Matricea de risc.

Matricea din figura 2 prezintă aplicarea claselor de consecințe și probabilitate de producere pentru determinarea calitativă a riscului – ridicat, mediu, slab.

CONSECINȚE CLASA	PROBABILITATE DE PRODUCERE				
	A	B	C	D	E
I	1	1	2	3	4
II	1	2	3	4	5
III	2	3	4	5	6
IV	3	4	5	6	7

figura 2 Matricea de risc - codurile de evaluare a riscului

## BIBLIOGRAFIE

- 1 **DECISION NO. 2003/1/RM OF THE EXECUTIVE DIRECTOR OF THE AGENCY** of 17 October 2003 on acceptable means of compliance and guidance material for the airworthiness and environmental certification of aircraft and related products, parts and appliances, as well as for the certification of design and production organisations (“AMC and GM to Part 21”)-- [www.easa.eu](http://www.easa.eu).
- 2 Normal Accident Theory/ The Changing Face of NASA and Aerospace/ Hagerstown, Maryland/November 17, 1998/ Dr. Michael A. Greenfield/Deputy Associate Administrator Office of Safety and Mission Assurance
- 3 SAFETY AND MISSION ASSURANCE ROLE IN ACQUISITION/ NASA Assurance Technology Conference/May 25-26, 1999 /Michael A. Greenfield, Ph.D Deputy Associate Administrator Office of Safety and Mission Assurance (nasa.gov)
- 4 CHALLENGES IN THE BETTER, FASTER, CHEAPER ERA OF AERONAUTICAL DESIGN, ENGINEERING AND MANUFACTURING / Earl M. Murman, Myles Walton, Eric Rebentisch/ Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139 USA (esd.mit.edu)
- 5 Fault Tree Handbook with Aerospace Applications Prepared for NASA Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters Washington, DC 20546/ August, 2002
- 6 Risk-Based Design Overview /Thomas A. Zang / ASCAC Methods Development Peer Review November 27-29, 2001(nasa.gov)
- 7 Aerospace Risk Management/ Bristol Consortium University of Bristol 27th – 29th April 2004

- 8 NASA FAR Supplement (NFS) Federal Register: July 20, 1999 (Volume 64, Number 138) [Proposed Rules] [Page 38880-38884] From the Federal Register Online via GPO Access [wais.access.gpo.gov] [DOCID:fr20jy99-33]
- 9 NPG 7120.5 NASA Program and Project Management Processes and Requirements
- 10 ESA Alert System *OPERATIONAL PROCEDURE* Doc. Ref. Q/EAS/PROC/2 /December 1998
- 11 Probabilistic Risk Assessment Guide for NASA Managers and Practitioners/ Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters/ Washington, DC 20546 August, 2002
- 12 Risk-Based Acquisition Management (R-BAM) / Office of Safety and Mission Assurance NASA Headquarters Washington, DC 20546 August, 2002
- 13 Risk Balancing Profile Tool / Dr. Michael A. Greenfield, Deputy Associate Administrator for Safety and Mission Assurance / National Aeronautics and Space Administration / Washington, D.C. 20546
- 14 Risk Management Guide for DoD Acquisition / DEPARTMENT OF DEFENSE DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY DEFENSE SYSTEMS MANAGEMENT COLLEGE
- 15 Risk Management “Risk As A Resource” Langley Research Center/ 1998/ Dr. Michael A. Greenfield Deputy Associate Administrator/ Office of Safety and Mission Assurance

---

\* col.drd. ing. ZGREABĂN CRISTIAN Academia Națională de Informații

## SOLUȚIE ALTERNATIVĂ PENTRU COMBUSTIBILII DIN TERMOCENTRALE

Ciprian BĂNCILĂ\*  
Dumitru CUIBAR\*\*

*Deoarece, în urma arderii combustibililor fosili rezultă noxe care au efecte negative asupra mediului, resursele de combustibili clasici sunt în scădere, iar pe piața mondială prețul gazului metan are o curbă ascendentă, biomasa poate fi o soluție alternativă pentru producerea energiei electrice și termice.*

Conform datelor furnizate de către Agenția Națională de Reglementare a Energiei, [1] structura de producție a energiei electrice pentru luna noiembrie a anului 2007 în România a fost următoarea:

- combustibili solizi: 35%,
- combustibili gazoși și lichizi: 18%,
- nuclear: 17%,
- hidro: 30%.

Se poate observa faptul că în această structură, o pondere ridicată o au combustibilii solizi, iar dintre aceștia, utilizarea cea mai mare o au cărbunii. În România producția de energie electrică și termică se bazează în principal pe lignit ( Bacău, Brașov, Giurgiu, Craiova, Govora, Turceni, Rovinari, Turnu Severin, Timișoara, Arad, Oradea, Zalău) și pe ulei (Suceava, Iași, Deva, Paroșeni). Dezvoltarea producerii de energie utilizând cărbunii a avut două direcții și anume: amplasarea termocentralelor în zonele de exploatare a cărbunilor (în special în bazinul carbonifer al Olteniei), sau în zone importante de consum. Pentru varianta a doua apare dezavantajul transportului cărbunilor pe distanțe mari, fapt care are repercursiuni negative asupra costului de producție, la care se adaugă prețul destul de ridicat al transportului (în unele cazuri acesta poate fi egal cu prețul de achiziție al cărbunelui). Pe lângă acest dezavantaj se mai adaugă faptul că arderea cărbunilor este un proces poluant: în principal emisii de noxe sub formă de praf și cenușă, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dar și alte noxe. În perioada în care cea mai mare parte a acestor instalații de ardere au fost proiectate și realizate, nu s-au luat în considerare aceste aspecte, de la punerea lor în funcțiune au trecut perioade mari de timp și ele nu mai fac față cerințelor actuale de mediu. În unele dintre cazuri, mai ales al termocentralelor amplasate în zone mari de consum, odată cu



trecerea timpului, unii consumatori și-au restructurat activitatea, alții chiar au dispărut de pe piață, fapt care a determinat scăderea consumului de energie electrică, dar și sub formă de energie termică (în special abur industrial și apoi energie termică pentru încălzire și preparare apă caldă de consum). O reducere a producției de energie va avea loc în viitoarea perioadă și datorită măsurilor ce se vor adopta privind reducerea consumurilor de energie și utilizarea eficientă a energiei și resurselor energetice. În această situație se impune respectarea normelor de mediu, redimensionarea instalațiilor în vederea satisfacerii noilor consumuri și producerea energiei la prețuri competitive impuse de piață. Analizele care se vor efectua pentru fiecare producător în parte vor impune adoptarea unor soluții radicale privind combustibilii utilizați, putându-se ajunge la renunțarea la actualele soluții de combustibili. De cele mai multe ori, aplicarea soluțiilor tehnice necesare integrării instalațiilor actuale în normele de mediu impuse, implică cheltuieli foarte mari, dar aceste măsuri nu au și efecte pozitive asupra eficienței și a randamentului global. De aceea, în multe situații se constată că este mai convenabilă construirea unor instalații noi care să înglobeze tehnologii moderne, de ultimă oră, decât modernizarea celor actuale.

Soluțiile moderne de combustibili prevăd și utilizarea biomasei pentru producerea de energie electrică și termică. Pe plan mondial, [2] biomasa are o utilizare largă în ponderea combustibililor pentru producerea energiei necesare: în SUA 3,2% din consumul primar, Danemarca 8%, Austria 11%, Suedia 19%, Finlanda 21%. La ora actuală în România, biomasa se utilizează în special în instalații mici, preponderant în gospodării individuale, sau în localități mai mici. Un proiect de succes "Rumeguș 2000" a fost dezvoltat în patru localități (Vatra Dornei, Huedin, Gheorghieni și Întorsura Buzăului), unde, în colaborare cu guvernul danez s-au realizat instalații de încălzire centralizată, în care se arde rumegușul.

Biomasa [2] este ansamblul materiilor organice nefosile. La fel ca și energiile obținute din combustibilii fosili, energia produsă din biomasă provine din energia solară înmagazinată în plante, prin procesul de fotosinteză. Rezervele de biomasă sunt în special deșeurile de lemn, deșeurile agricole, deșeurile menajere și culturile energetice. Producerea de biomasă nu reprezintă doar o resursă de energie regenerabilă, ci și o oportunitate semnificativă pentru dezvoltarea durabilă. România este o țară cu un potențial energetic ridicat de biomasă de aproximativ 8000 mii tep/an, ceea ce la nivelul anului 2000 reprezenta 19% din consumul total de resurse primare. Cea mai mare pondere o reprezintă deșeurile lemnoase, constituite din reziduurile exploatărilor forestiere (crengi, vârfuri etc), din reziduurile proceselor de prelucrare ale lemnului (rumeguș, resturi de la decupări sau alte prelucrări), sau din alte utilizări ale lemnului (demolări ale clădirilor construite din lemn, deteriorarea pieselor și structurilor confecționate din lemn, etc.). Aceste deșeuri pot fi arse direct, sau mai eficient, după tocare. În privința utilizării crengilor rezultate în urma exploatărilor forestiere, pot apărea controverse, deoarece silvicultorii din România recomandă ca acestea să fie utilizate pentru regenerare și protecția solurilor. Deșeurile agricole sunt constituite din paie, tulpini de porumb, sau reziduuri ale proceselor de prelucrare ale produselor agricole (coji de semințe, etc). Arderea paielor în instalațiile energetice poate genera stoparea fenomenului de incinerare a lor în câmp, cu efecte negative în privința poluării, a solului și a siguranței privind incendiile. Deșeurile urbane pot fi incinerate în instalații de ardere, sau pot fi exploatate în vederea obținerii biogazului. Deși în România nu s-au utilizat până în prezent, culturile energetice au o largă utilizare în Italia, Danemarca, sau Suedia. Ele constau din cultivarea unor specii arboricole care au o viteză de creștere foarte mare, cu un potențial energetic ridicat față de alte soiuri, pe terenuri denivelate, puțin fertile sau impropriei altor culturi. Cel mai des în astfel de cazuri se procedează la dezvoltarea culturilor de sălcii, dar și alți arbori pot da rezultate benefice (plop, răchită, eucalipt, etc), în funcție de condițiile și specificul zonei. În prezent, în România nu s-au dezvoltat tehnologii de valorificare completă a tuturor deșeurilor (de exemplu,

nu există utilaje specializate în scoaterea cioatelor și a rădăcinilor, acest potențial de deșuri lemnoase neputând fi astfel valorificat cel puțin în prezent). Pe termen lung este necesară achiziționarea tehnologiilor deja existente pe piață pentru scoaterea și valorificarea cioatelor și rădăcinilor, ținând seama de faptul că această practică este aplicată la scară largă în țările nordice ale Europei și în Italia. Țările europene aplică această tehnologie în cadrul plantațiilor energetice, datorită beneficiului economic pe care îl reprezintă utilizarea acestora ca și combustibil, dar și din considerente de pregătire a solului pentru viitoarele plantatii.

Avantajele utilizării deșeurilor sunt:

- aplicarea standardelor de calitate și de mediu, la nivel European,
- asigurarea protecției ecologice eficiente pentru populație, apă, păduri, sol, etc,
- eliminarea deșeurilor de pe suprafețele de depozitare,
- utilizarea eficientă a deșeurilor lemnoase rezultate în urma prelucrării lemnului,
- realizarea unor noi locuri de muncă, realizarea unor alternative simple și eficiente pentru producerea energiei electrice și termice, utilizând resurse locale.
- cenușa rezultată poate fi utilizată ca îngrășământ în agricultură,
- reducerea costurilor de producere a energiei electrice și termice,
- accesul la piața creditelor de carbon,
- securizarea energetică prin evitarea dependenței de importul de gaze naturale și alte resurse energetice.

Tabelul nr. 1 - Mărimile caracteristice pentru diferiți combustibili [3].

	U.M.	Paie uscate	Paie verzi	Lemn	Cărbune	Gaz natural
Conținut de apă	%	10-20	10-20	40	12	0
Volatile	%	>70	>70	>70	25	100
Cenușă	%	4	3	0,6-1,5	12	0
Carbon	%	42	43	50	59	75
Hidrogen	%	5	5,2	6	3,5	24
Azot	%	0,35	0,41	0,3	1	0,9
Sulf	%	0,16	0,13	0,05	0,8	0
Putere calorică	MJ/kg	14,4	15	10,4	25	48

Din datele prezentate comparativ în tabelul nr. 1, se poate observa că paiele și lemnul au un potențial energetic ce poate permite utilizarea lor în instalațiile energetice, dar și că cenușa rezultată în urma arderii lor este mult mai mică decât în cazul cărbunilor. Acest fapt determină realizarea unor depozite pentru cenușă mult mai mici, pentru cazul în care aceasta nu este utilizată în agricultură.

Arderea biomasei are loc pe grătare, în strat. De regulă, schema instalației de ardere este similară celei prezentate în figura 1. Combustibilul transportat cu ajutorul mijloacelor auto, este deversat într-un buncăr de stocare, de unde este preluat cu ajutorul unor instalații de încărcare în buncării individuali de consum. De aici, prin cădere naturală sau cu ajutorul benzilor de alimentare, este deversat pe grătar, unde are loc arderea în strat. Pentru a preveni arderea combustibilului în afara camerei de ardere, banda de alimentare este prevăzută cu o instalație automată care controlează temperatura combustibilului sau prezenta flăcării în această zonă. Grătarele au viteze reduse de deplasare pentru a putea permite arderea în totalitate și degajarea întregii cantități de căldură conținută în combustibil. Arderea volatilelor conținute are loc în camera următoare a cazanului. În cele mai multe cazuri, în a doua cameră are loc și arderea gazului metan suplimentar, pentru a se putea usca și ridica parametrii finali ai aburului rezultat. Resturile metalice și cenușa sunt colectate la partea inferioară, cenușa este separată de resturile metalice care sunt trimise la reciclare, iar cenușa la depozit sau pentru utilizare în agricultură. Gazele rezultate sunt filtrate în cicloane și electrofiltre. În funcție de noxele conținute, gazele pot fi supuse și altor procedee de curățare.

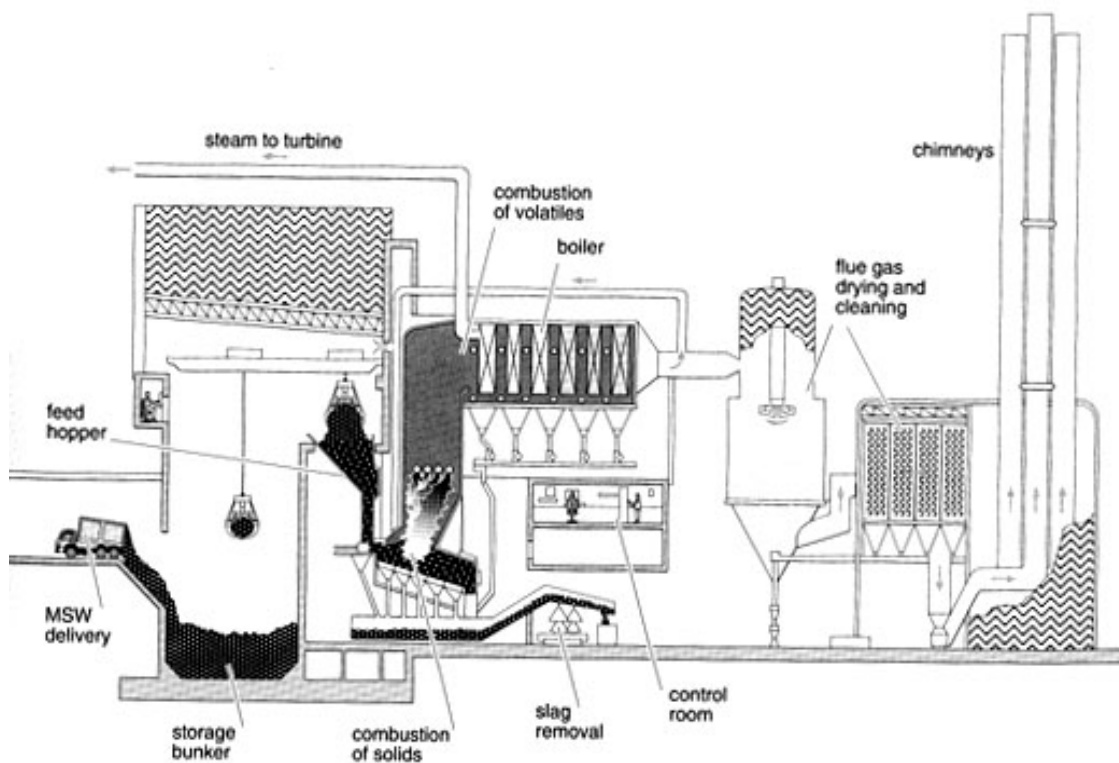


Fig. 1 – Instalatie de ardere a deșeurilor solide, schema generala

Pe plan [4] mondial, utilizarea biomasei în instalații energetice a constituit o preocupare permanentă. Astfel, în 1965 la Vestra Gotoland în Suedia s-a pus în funcțiune termocentrala Ryavert, având două grupuri energetice (1x20MW și 1x25MW) și care utilizează reziduurile lemnoase drept combustibil. Cea mai mare putere instalată la o unitate energetică (1x240 MW) este în Finlanda la Jakobsland (fig. 2) și care arde, lemn, lignit și turbă.



Fig. 2 – Termocentrala de la Jakobsland

La Mabjerg în Danemarca, autoritățile din două localități învecinate (Holstebro și Stuer) au construit o termocentrală (fig. 3), în care sunt arse paie, resturi de lemn, gunoi urban și gaz metan (acesta se utilizează pentru aprinderea celorlalți combustibili și pentru uscarea și supraîncalzirea aburului final). Primele două cazane se utilizează pentru arderea gunoierului urban, iar al treilea pentru arderea resturilor de lemn și a paielor. Gazele arse sunt filtrate în instalații moderne, de ultima generație. La ieșirea din cele două corpuri de joasă presiune ale turbinei, aburul cedează căldura către circuitul de termoficare, care este prevăzut cu un rezervor de stocare de 5000 m<sup>3</sup>, care permite oprirea funcționării termocentralei fără efecte vizibile în circuitul de termoficare.

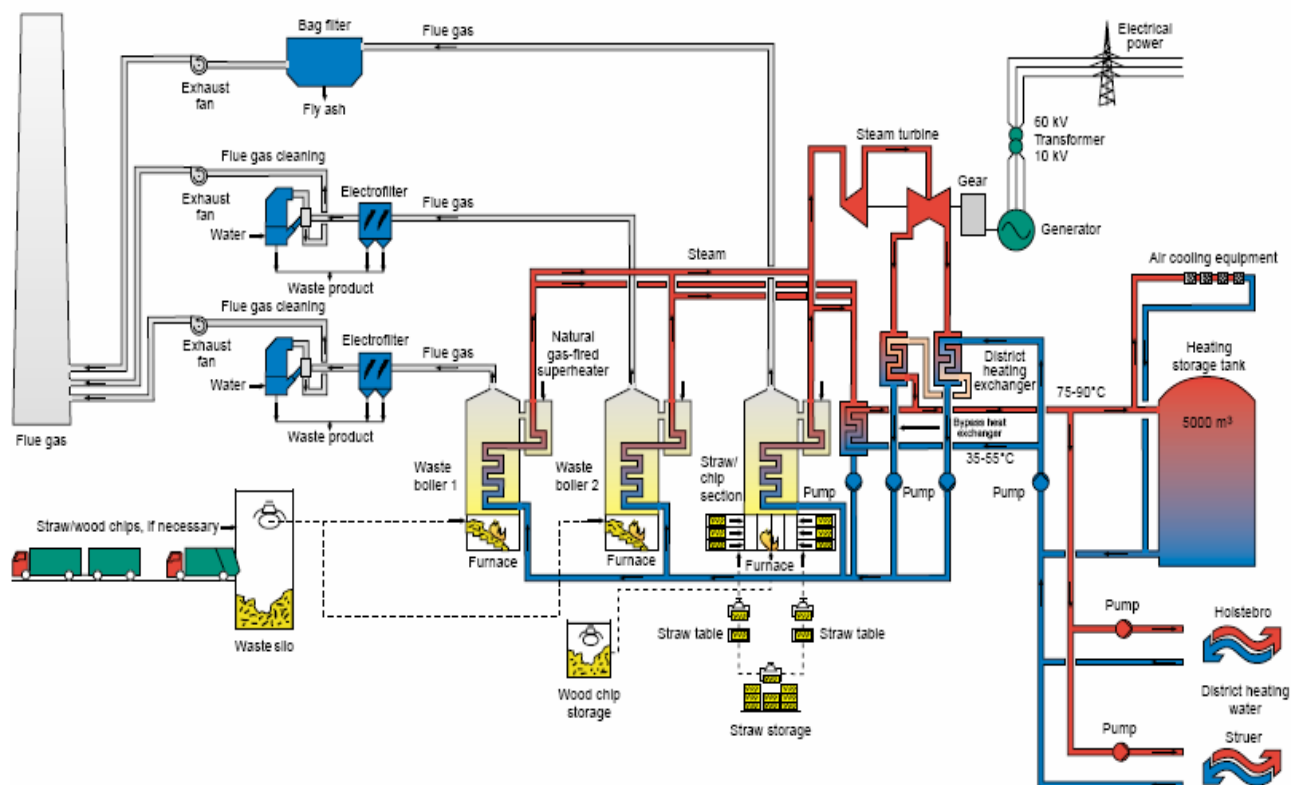


Fig.3 – Schema tehnologică de principiu a termocentralei de la Mabjerg

În România [1] pentru anul 2008, producătorii calificați de energie electrică și termică din surse regenerabile sunt în număr de 33, din care 10 din surse eoliene, 23 hidro, iar pentru biomasă nu se înregistrează nicio poziție. Acest fapt trebuie să constituie o serioasă problemă, deoarece până în 2010 România trebuie să asigure 33% din consumul de energie din surse alternative. Pentru realizarea acestor investiții se pot atrage fonduri europene prin programele de coeziune sau prin credite carbon. Un alt avantaj al producerii de energie electrică și termică din biomasă o constituie și faptul că pentru energia produsă din surse regenerabile România trebuie să aloce cote anuale obligatorii pentru achiziția certificatelor verzi, astfel: în 2008 cota este de 5,26%, în 2009 de 6,78%, iar în 2010 de 8,3%. Aceste certificate verzi au o valoare de 25 €/CV în Suedia, 103 €/CV în Belgia regiunea Valonia și 139,1 €/CV în Italia (pentru anul 2006). În România, prețul mediu pentru anul 2006 a fost de 42 €/CV.

Se poate observa că în toate cazurile prezentate, instalațiile satisfac în totalitate condițiile de mediu impuse, dar în același timp satisfac și necesarul de energie electrică și termică al zonei. Acest lucru ne permite să tragem concluzia că soluțiile prezentate pot fi o alternativă viabilă pentru producerea în cogenerare a energiei electrice și termice.

#### BIBLIOGRAFIE

1. ANRE – Structura de producție a SEN pe tipuri de resurse
2. Tehnica Instalațiilor nr 7(38)/2006 – Energie din biomasă
3. Center of biomass Technology, Vidcenter Danemarca
4. Indust Cards – Power plant around the world

---

\* Ciprian Băncilă, drd. ing., Agenția Pentru Protecția Mediului Brașov, Politehnicii nr.3, tel 0268419013, e-mail: [director.executiv@apmbrasov.ro](mailto:director.executiv@apmbrasov.ro)

\*\* Dumitru Cuiabar, drd. ing., S.C. Energy Saving Agency S.A., Brașov, Olteț nr. 11, tel 0268422025, e-mail: [dcu@esa.com.ro](mailto:dcu@esa.com.ro)

## DESIGN SENSITIVITY ANALYSIS AND SHIPS STERN HYDRODYNAMIC FLOW FIELD IMPROVEMENT BY USING SOME NEW STRICTLY ORIGINAL CONCEPTS AND IDEAS

Ali BEAZIT\*

Ali LEVENT\*\*

**Abstract:** *The project tries to draw attention and briefly focuses on ships hull's stern flows in the light of two absolutely strict original ideas (concepts) in ship hydrodynamics, belonging to the author: 1. a new stern hydrodynamic concept (NSHC), with radial crenellated-corrugated sections 2. using of an inverse piezoelectric effect [(electric current→high-frequency power generator→ piezoelectric driver made of certain ceramic material, which induces an elliptical vibratory movement (high frequency over 20 kHz), into the elastic side plates (15 mm thickness) in the streamlines direction (of the external flowing water)], able to reduce the total forward resistance.*

### 1.Introduction

No one, whether he be a naval architect, a ship owner, or a simple passenger, can look over the stern of a ship and view the turbulent tossing above the propeller race without an instinctive realization that most of this upheaval is wasted effort. When he takes time to visualize the irregular nature of the currents which flow into the propeller disc he must certainly feel great admiration for a propulsion device which can take such confused water and make so much out of it in the way of useful thrust. By the same token, he must have confidence that some day, somehow, the turmoil surging out of the propeller disc can be converted into useful power that will speed him faster on his way. How, he asks, is this to be done? The answer is simple: by a greater knowledge of the basic phenomena and a better understanding of the fundamental principles governing the flow and motion of water and the reasons for the particular modeling of a ship and its propulsion devices.

### 2.Theoretical aspects

In real conditions, a propeller is fitted behind the ships (models) hull's stern, working in a non-uniform water stream, which has been disturbed by the ship's hull during its forward motion. The ship's moving hull carries with it a certain mass of the surrounding water forming a region in which there is a rapid change in velocity well-known under the name of **boundary layer**. The propeller being placed behind the ship's hull stern, there is in the ship's body trail. As a consequence (even considering the average velocity), the velocity of water particles relative to the propeller disk is no longer (both neither in magnitude and nor in direction), equal to the velocity of advance of the propeller relative to still water. This trail, in



which there is a difference between the ship speed and the speed of the water particles relative to the ship is also termed **wake**. Generally speaking, the wake is a zone not investigable theoretically (analytically), due to very complex, aleatory flow character within it. In ship's propeller theory, a distinctive importance is having only the incipient part of the trail (wake), located immediately in the front of the propeller disk plane. The movement from this zone is called wake movement or simply wake. The wake movement can be investigated or in the presence or in the absence of the propeller, when is taking the attribute of the effective wake or the nominal wake, respectively. However, the wake movement of interest is only that from the plane where the propeller follows to be situated. The flow's average velocity from that plane is termed wake speed  $V_w$ , and is in general smaller than ship's speed  $V_s$ , relative to infinite upstream water. If the water is moving in the same direction as the ship, the wake is said to be positive. Then

For adimensionalization, the precedent relation can be divided by either  $V_w$  or  $V_s$  leading to two wake factors

$$\text{- Froude wake factor} = w_F = (V_s - V_w) / V_w; \quad (2.1)$$

$$\text{- Taylor wake factor} = w = (V_s - V_w) / V_s; \quad (2.2)$$

Besides, this general effect of the ship's hull, there will be local perturbations due to the shaft, shaft modeling or shaft brackets and other appendages. These effects combined lead to the so called relative rotative efficiency (RRE), defined by:

$RRE = \eta_R = \text{efficiency the ship hull} / \text{efficiency of propeller in open water (at speed } V_w)$ ;

Always, but especially in present circumstances, propeller cavitation reducing, overall propulsive efficiency and stability improving, represent important challenges for researchers from ship hydrodynamics field and not only. As already mentioned previously, the dynamics of a cavitating propeller depends on the system environment in which it is operating: such as, the flow field within a propeller mounted behind of a ship hull is very different from that one in an open water test or in a section of a cavitation tunnel. Thus, a propeller that is very efficient in open water can not be suited for a certain kind of stern shape architecture. For this reason, the wake distribution in the propeller disk plane represents a key element for designing of a ship hull stern form. A uniform wake distribution from an immediately upstream propeller parallel plane disk can lead to the formation of propeller cavitation decreasing (having as indirect consequence on the noise and vibration level induced on board and in the hull stern structure, lowering), the propulsive efficiency increasing (for minimum energetic consumptions obtaining). Therefore, obtaining of a good nominal wake distribution is an important objective of all naval architects. In addition, the global – directional hydrodynamic stability improving by using a special kind of stern having certain architecture (more appropriate), can not be but favourable.

Of propeller behind Wake =  $V_s - V_w$

### 3. Up-to-date level in the field

Present-day tendency in maritime transportation industry is represented by designing and building of bigger, faster, more energy-efficient and stable ships but simultaneously having stricter noise and vibration levels for stern hull structure. A modern ships hull lines are designed to minimize forward resistance, to reduce propeller cavitation, to improve propulsion performance and to increase global hydrodynamic stability.



Since the apparition of the first ships, the naval architects ceaselessly were racking their brains how to improve the existing hull forms. As a general recently accepted opinion, the ships of the future will be designed and built only on the basis of some **new devised concepts**. It is well known that the stern flow problem is rich in complexity and poses many challenges. Ships hull's stern flows have received much attention these last years, in particular with regard to their modeling and design principles. As **a state of the art** in the field, the most recently known industrial achievements, focused on flows improvement in the stern region, which consist in symmetrically flattening of the stern lateral surfaces towards the central plane. This concept has resulted in a huge amount of inconveniences almost in all practical applications to real ships (unsuitable placing of equipments, lack of necessary spaces for inspections, repairs, etc.). For a long time, the present project's author thought how to redesign the two systems – hydroframe system and propulsion system – very important (critical) for a ship, so that the hydroframe may meet the propulsion and the propulsion may meet the hydroframe in an optimal way.

#### 4. Scientific research's objectives

- total forward resistance reduction, propulsive efficiency increasing (for minimum energetic consumptions obtaining);
- propeller cavitation reduction (for level of noise and vibration induced on board and in the stern structure decreasing);
- development of a numerical parameterized model;
- design sensitivity analysis of fields generated;
- optimizations;
- original concepts and ideas validation;
- new methodologies establishing.

It is hoped that the successful solving of the above mentioned objectives will contribute to the top new knowledge accumulation and progress, in a very important, actual and complex scientific field as contemporary ship hydrodynamics is.

I have proposed (intuitively, based on experience), a new stern hydrodynamic concept of streamline tube type, (having quasi-cylindrical increasing sections), which starts from front propeller disk and stretches until hull cylindrical region (Fig. 1). In devising of this new design concept, the author referred (as a supplementary basic background) to two very well known and simple existing theories: - the streamline tube theory (the water particles axial velocities distribution at entrance in the propeller disk can be configured favourably - homogenized - by comprising the radial crenellated - corrugated stern sections in a stream tube that also comprises the propeller disk); - the Bernoulli Effect (increasing of water particles axial velocities in the regions within which the water pressure is decreased). Taking into account the streamline tube theory and the Bernoulli effect, we can estimate that **the 3D spectrum** of flow generated around and outside of a classical stern hull having practiced transversal crenellated-corrugated stern sections can be substantially improved by an architectural optimization in the sense of axial velocities from a propulsion propeller immediate front plane uniformization (Fig.2).

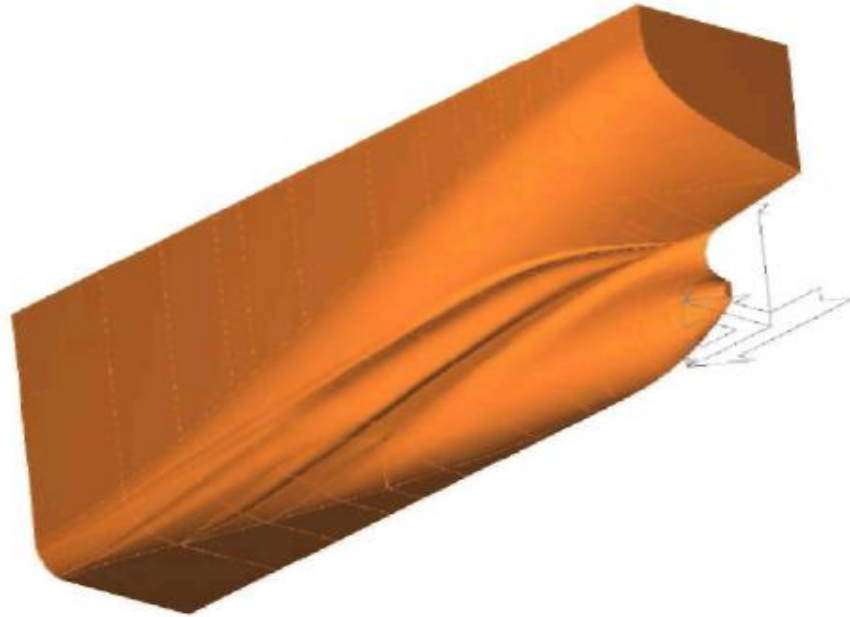


Fig.1

The directions of the crenellated-corrugated sections teeth crests and troughs longitudinal curved lines, will be those of the stern natural streamlines (which can be established experimentally in a flow visualization test) for vortices turning up avoiding and for a minimum forward resistance obtaining.

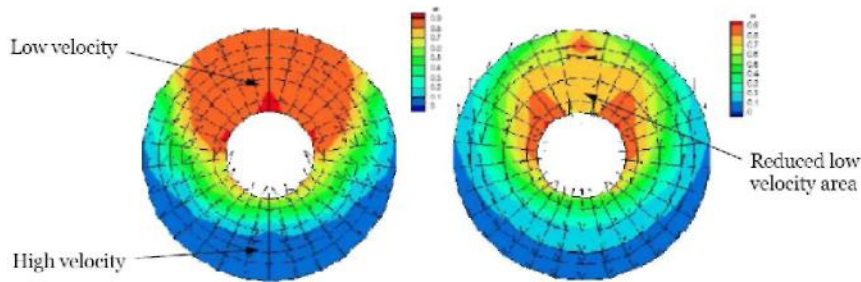


Fig.2

Comparison between experimental wake obtained for the model with initial stern shape design (left) and for the model with modified stern shape in conformity with the new concept design (right).

Finally, the most important, until now, proved result, is the reducing of propeller cavitation (working in the simulated nominal wake of the hull using the new stern hydrodynamic concept with radial crenellated - Fig.3).



Fig.3

Simulated nominal wake testing, in 850x850 mm section of the cavitation tunnel at 25 rps rotative speed (it can be remarked lack of cavitation).

Unfortunately, this cavitation decreasing (lack of cavitation) is associated with a total forward resistance (of the ship) increasing (approximately 4-5%) due to initiation and movement of some multiple increased vortices (Fig. 4), resulted from the separation (although a low one – Fig. 5) of the boundary layer (destruction of an important part of fluid mechanical energy, pressure decreasing on the down stream part of the ship stern body, etc...).

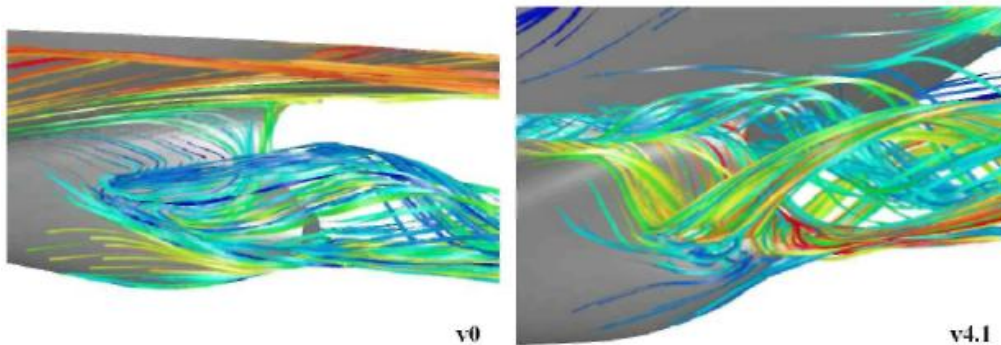


Fig.4

Vortex initiation and separation – FLUENT 6.3

( left - the model with initial stern shape design - simple vortex; right- the model with modified stern shape in conformity with the new concept design- multiple vortices)

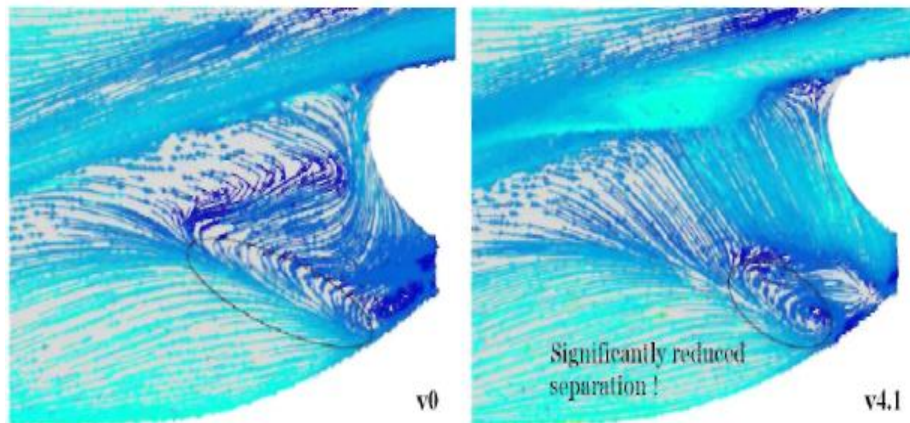


Fig.5

Limit streamlines on stern surface- FLUENT 6.3

( left - the model with initial stern shape design; right - the model with modified stern shape inconformity with the new concept design)

Therefore, it would be necessary (a much more) reducing or even complete separation and multiple vortices phenomena (within the turbulent boundary layer) avoiding. In this direction I thought that I should try to use the inverse piezoelectric effect (electric current → high-frequency generator → piezoelectric driver made of certain ceramic material – Fig. 6), which induces an elliptical vibratory movement (high frequency over 20 kHz), into the elastic side plates (15 mm thickness) in the streamlines direction (of the external flowing water).

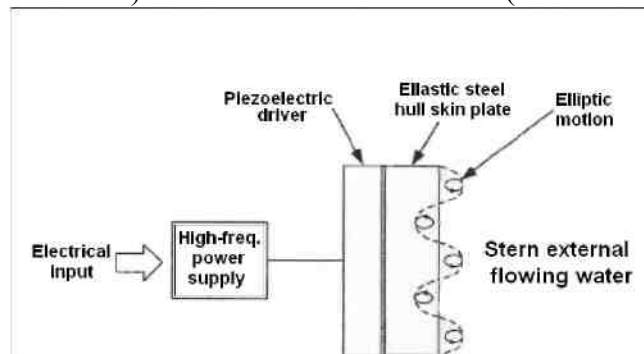


Fig. 6

Principle scheme of an ultrasonic vibrator

Piezoelectricity is the ability of crystals and certain ceramic materials to generate a voltage in response to an applied mechanical stress. Piezoelectric effect was discovered by Pierre and Jacques Curie in 1880.

The basic principle would be the following: certain piezoelectric ceramic materials can be used to convert electrical energy into mechanical energy in the form of vibrations of an elastic body (ship hull stern plates), whose surface points perform an linear elliptic motion (in the streamlines direction of the external

Water particles (from within the ship hull stern turbulent boundary layer – Fig.7), are pressed against vibrating steel plates reducing the interface (hull - water), skin friction drag. It is hoped that such a combination of devices can reduce ship forward resistance due to hull skin-water friction reduction by controlling the inside turbulent boundary layer flow characteristics.

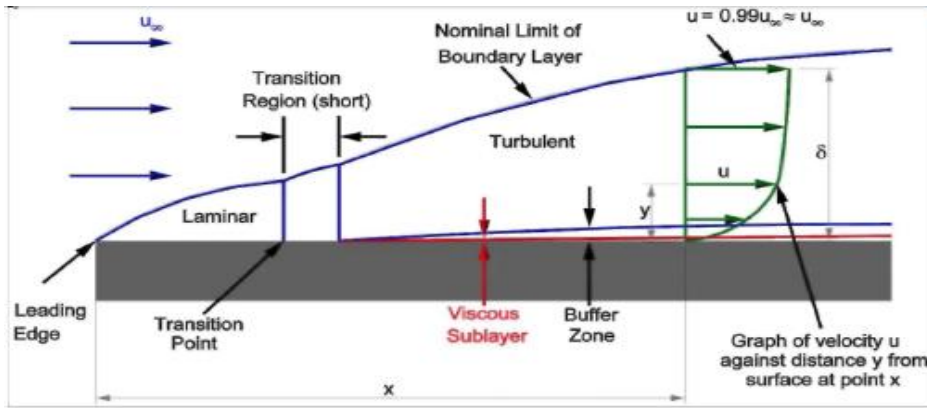


Fig. 7

Boundary-layer flow regions

I consider as interesting the realization of a:

- parameterized geometrical model streamline tube type, (including the effects of new stern design having quasi-cylindrical increasing radial crenellated-corrugated sections on inside propeller flow);
- design sensitivity analysis of the new stern fields generated.

In these cases different geometries (as necessary form, width and depth, along hull distances, for flow separation avoiding), should be studied theoretically, numerically and experimentally. Design sensitivity analysis consists in determining derivatives of a system's response with respect to its design parameters  $x_i$ . In the context of design optimization (of the new hydrodynamic stern concept proposed), the response is expressed in terms of objective and constraint functions, and accordingly the overall aim of design sensitivity analysis is to find the gradients of these functions. However, since any such problem function depends explicitly on the dependent variables  $\phi$  of the considered problem, sensitivity formulations in essence aim at the calculation of the derivatives  $\delta\phi / \delta x_i$ . In other words, the changes in flow field  $\phi$  resulting from a given change in design must be predicted. After the determination of these flow field sensitivities, it is a matter of straight forward calculus to compute the design

$$Vf = \frac{df}{dx_i} = \underbrace{\frac{\partial f}{\partial x_i} + \frac{\partial f}{\partial \gamma} \left[ \frac{\partial \gamma}{\partial x_i} \right]}_{\text{grid sensitivity}} - \underbrace{\frac{\partial f}{\partial \phi} \left[ \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right]}_{\text{flow sensitivity}}$$

$i = 1 \dots n_{dv} \rightarrow$  where:  $dv$  – design variables; sensitivities

$f(x_i)$  – problem function (typically identical with objective and constraints function);  $x_i$

– design parameters;  $\gamma(x_i)$  – geometrical quantities;

$\phi(x_i)$  – vector containing unknown flow variables (velocities, static pressure, possibly turbulence modeling quantities), determined by the governing equations). Obviously, both geometry and flow are implicitly controlled by the design parameters through hull stern surface parameterization, mesh generation and flow analysis.



### **Interdisciplinarity degree**

The main disciplines from which the present project is taking its sap are:

- mathematical-physics (partial differential and integral equations);
- physics applications; technical physics;
- materials physics;
- modeling and simulation;
- hydraulics and fluid mechanics;
- naval hydrodynamics.

of any problem function

### **References**

- [1] G. K. Batchelor, F.R.S. “An Introduction to Fluid Dynamics”, Cambridge University, 1991;
- [2] C. A. J. Fletcher, “Computational Techniques for Fluid Dynamics”, Springer-Verlag, 1991;
- [3] FLUENT 6.3, “User’s Manual”, Fluent Incorporated, Lebanon, NH, 2006;
- [4] J. P. Ghose, R. P. Gokarn, “Basic Ship Propulsion”, ALLIED PUBLISHERS Pvt. LIMITED, New Delhi, Mumbai, Kolkata, Lucknow, Chennai, Nagpur, Bangalore, Hyderabad, Ahmedabad, 2004;
- [5] S. K. Godunov, V. S. Reabenki, “Finite Difference Computing Schemes”, Bucharest, 1977;
- [6] Sir Horace Lamb, “Hydrodynamics”, Cambridge University, 1952;
- [7] J. N. Newman, “Marine Hydrodynamics”, Massachusetts Institute of Technology, 1982;
- [8] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannerly, “Numerical Recipes in Fortran – The Art of Scientific Computing”, Cambridge University, 1992;
- [9] K. J. Rawson, E. C. Tupper, “Basic Ship Theory”, Longman Group Limited, 1995
- [10] M. G. Salvadori, M. L. Baron, “Numerical Methods in Engineering”, Bucharest, 1972;
- [11] H. E. Saunders, “Hydrodynamics in Ship Design”, The Society of Naval Architects and Marine Engineers 74 Trinity Place, New York 6, N.Y. 1957
- [12] N. Tanasescu, “Numerical Methods in MATLAB”, MATRIXROM, Bucharest, 2002;
- [13] H. C. Tanasescu, Al. A. Vasilescu, “Fluid Mechanics”, Course for engineers, University of Galati, 2000;
- [14] H. C. Tanasescu, “Numerical Analysis”, Course for master of science engineers, University of Galati, 2001;
- [15] H. C. Tanasescu, “Contributions concerning surface ships forward resistance studied by numerical simulation”, thesis, University of Galati, 1998;
- [16] Al. A. Vasilescu, “Hydromechanics Course”, University of Galati, 1962

---

\*ALI BEAZIT, senior lecturer, Ph. D. , Naval Academy, Constanta, [acad\\_ali@yahoo.com](mailto:acad_ali@yahoo.com)

\*\* ALI LEVENT , student , Naval Academy, Constanta, [levent@yahoo.com](mailto:levent@yahoo.com)

## ESTABLISHMENT OF CRITERION EQUATION OF WATER FLOW PHENOMENON AROUND THE SHIP

ALI BEAZIT\*  
ALI HANDERIS\*\*

*Abstract : By analysis the phenomenon of water flow surrounding the careen it can obtain the model theory and implicit the similarity criterions which shape this phenomenon.*

### 1. Introduction

There are situation when the performing possibilities of the model impose deviations from the complete geometrical similarity obtaining distorted models which have horizontal lengths and vertical lengths reduced on different scales.

Generally, the distorted models are imposed either when the practical achievement possibilities of models make impossible the strict observance of geometrical similarity between the model and prototype, or when the evolution of the phenomenon on the model performed on a single scale should lead to a laminar motion instead of a turbulent motion what should make more difficult all the experiments.

By using the distorted models the water rate and depth in desired limits are provided on these models removing the above mentioned difficulties.

Any physical phenomenon can be expressed in the most general way by a function of more physical magnitudes and the establishment of a connection between them is made ( when the number of physical magnitudes  $n > 5$  ) by means of  $\Pi$  theorem.

Any homogeneous function of more physical magnitudes determining a physical phenomenon can be always reduced to a relation between complex non- dimensional magnitudes under the form of :

$$\Phi(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-k}) = 0 \quad (1.1)$$

In similarity theory, this function is called a criterion equation and its establishment represents the first phase of study on the model of a phenomenon ..

### 2. Establishment of Criterion Equation of Water Flow Phenomenon Around the Ship

We propose on to establish the criterion equation in the case of advance resistance for a ship model performed on two scales.

For constant speed motion, the advance resistance is equal and of opposite direction with the thrust force of the propeller.



It is determined the implicit function of the advance resistance

$$f(L, B, T, \delta, d, n, v, \rho, \eta, g, R) = 0 \quad (2.1)$$

where: L – ship length [m];  
 B – overall breadth [m];  
 T – ship draught [m];  
 $\delta$  – boundary layer thickness [m];  
 d – propeller diameter [m];  
 n – propeller speed [rot/s];  
 v – propeller transfer speed [m/s];  
 $\rho$  – water density [kg/m<sup>3</sup>];  
 $\eta$  – water dynamic viscosity [kg/ms];  
 g – gravitational acceleration [m/s<sup>2</sup>];  
 R – ship advance resistance [kg m/s<sup>2</sup>].

Imposing the study of this matter according to I.S., we shall choose the following main physical magnitudes: water density  $\rho$ ; propeller speed v; propeller diameter d.

According to  $\Pi$  theorem, the complex non- dimensional magnitudes n - k = 8 will result.

The general unique formula by which all the complex non – dimensional magnitudes are expressed, will have the following form:

$$\Pi = \rho^{x_1} \cdot v^{x_2} \cdot d^{x_3} \cdot n^{x_4} \cdot \eta^{x_5} \cdot g^{x_6} \cdot L^{x_7} \cdot B^{x_8} \cdot T^{x_9} \cdot \delta^{x_{10}} \cdot R^{x_{11}} \quad (2.2)$$

Of which the dimensional equation in I.S. is:

$$\Pi = \left(\frac{kg}{m^3}\right)^{x_1} \left(\frac{m}{s}\right)^{x_2} m^{x_3} \left(\frac{1}{s}\right)^{x_4} \left(\frac{kg}{ms}\right)^{x_5} \left(\frac{m}{s^2}\right)^{x_6} m^{x_7} m^{x_8} m^{x_9} m^{x_{10}} \left(\frac{kg \cdot m}{s^2}\right)^{x_{11}} \quad (2.3)$$

$$\text{or } [\Pi] = kg^{x_1+x_5+x_{11}} \cdot m^{-3x_1+x_2+x_3-x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}} \cdot s^{-x_2-x_4-x_5-2x_6-2x_{11}}$$

The homogeneity condition by which all the terms must have the same size leads to

$$\begin{aligned} x_1 + x_6 + x_{11} &= 0 \\ -3x_1 + x_2 + x_3 - x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} &= 0 \\ -x_2 - x_4 - x_5 - 2x_6 - 2x_{11} &= 0 \end{aligned}$$

the equation system: (4) :

(2.4)

It is built up the dimensional matrix of the variables:

	$\rho$	v	d	n	$\eta$	g	L	B	T	$\delta$	R
Kg	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
m	-3	1	1	0	-1	1	1	1	1	1	1
s	0	-1	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	-2

(2.5)

It is calculated the dimensional matrix rank with Kronecker's theorem. The matrix has the left third – order.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -3 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} = 1 \quad (2.6)$$

As all the the fourth – order minors are null (these minors are formed by adding a zero line to the dimensional matrix) it results that the main determinant is of the third – order and the matrix rank is  $r = 3$ . The system (4) is solved by Cramer’s rule and the matrix of the system solution is obtained:

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$
	$\rho$	$v$	$d$	$n$	$\eta$	$g$	$L$	$B$	$T$	$\delta$	$R$
$\Pi_1$	0	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
$\Pi_2$	-1	-1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0
$\Pi_3$	0	-2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
$\Pi_4$	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0
$\Pi_5$	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0
$\Pi_6$	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
$\Pi_7$	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0
$\Pi_8$	-1	-2	-2	0	0	0	0	0	0	0	1

(2.7)

The number of lines in the solution matrix represents the number of non – dimensional complexes interfering in the phenomenon studied. In the present case, the non – dimensional complexes are:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= v^{-1} \cdot d^1 \cdot n^1 = \frac{nd}{v}; \\ \Pi_2 &= \rho^{-1} \cdot v^{-1} \cdot d^{-1} \cdot \eta^1 = \frac{\eta}{\rho v d}; \Pi_3 = v^{-2} \cdot d^1 \cdot g^1 = \frac{gd}{v^2}; \\ \Pi_4 &= d^{-1} \cdot L^{-1} = \frac{L}{d}; \Pi_5 = d^{-1} \cdot B^1 = \frac{B}{d}; \Pi_6 = d^{-1} \cdot T^1 = \frac{T}{d}; \\ \Pi_7 &= d^{-1} \cdot \delta^1 = \frac{\delta}{d}; \Pi_8 = \rho^{-1} \cdot v^{-2} \cdot d^{-2} \cdot R = \frac{R}{\rho v^2 d^2} \end{aligned} \quad (2.8)$$

So, the homogeneous function (1.1) is reduced to a function of eight non – dimensional complexes representing the criterion equation of the phenomenon:

$$\Phi \left( \frac{nd}{v}, \frac{\eta}{\rho v d}, \frac{gd}{v^2}, \frac{L}{d}, \frac{B}{d}, \frac{T}{d}, \frac{\delta}{d}, \frac{R}{\rho v^2 d^2} \right) = 0 \quad (2.9)$$

In criterion equation is explained with regard to the last term obtaining the expression :

$$R = \rho v^2 d^2 \Phi_1 \left( \frac{nd}{v}, \frac{\eta}{\rho v d}, \frac{gd}{v^2}, \frac{L}{d}, \frac{B}{d}, \frac{T}{d}, \frac{\delta}{d} \right) \quad (2.10)$$

### 3. Conclusion

After faking knowledge of the non – dimensional complexes entering the criterion equation, before building the model of the phenomenon studied, we shall establish the connection relations between the scales of physical magnitudes determining these complexes, that is we shall establish “the law of the model”.

Knowing the law of the distorted model, we can transpose the results of the measurement obtained on the model to the ship prototype.

### REFERENCES

- [1]. Vasilescu Al., A., *Analiză dimensională și teoria similitudinii*, Editura Academiei, București, 1969.
- [2]. Reynolds, A., J., *Curgeri turbulente în tehnică*, Editura tehnică, București, 1982.
- [3]. Bella, D., I., *Dinamica della nave, vol I*, Editore Briano, Genova, 1950.

---

\*ALI BEAZIT, senior lecturer, Ph. D. , Naval Academy, Constanta, [acad\\_ali@yahoo.com](mailto:acad_ali@yahoo.com)

\*\* ALI HANDERIS , student , Naval Academy, Constanta, [handeris@yahoo.com](mailto:handeris@yahoo.com)

## PARABOLIZI LICHIZI PENTRU TELESKOAPELE VIITORULUI

Victor BENCHE\*  
Radu ȚĂRULESCU\*\*

### Rezumat

*În această lucrare se prezintă o succintă informare privind realizări ale unor instituții, universități, agenții etc și tendințe în construcția telescoapelor viitorului cu oglinzi lichide.*

*Autorii prezintă un studiu cu privire la obținerea unor parabolizi de revoluție prin centrifugarea unor lichide cu față liberă în mediu controlat. Se evidențiază factorii de influență (de proiectare și exploatare).*

*Aplicația numerică obține caracteristicile principale definitorii (adâncimea, poziția și volumul parabolidului, viteza unghiulară și turația de antrenare, masa și greutatea lichidului dizlocat etc.).*

### I. Introducere

Echilibrul relativ al lichidelor conținute în vase în mișcare de rotație prezintă numeroase aplicații tehnice industriale [1]:

- Turnarea centrifugală a unor materiale, metale și aliaje topite, ca de exemplu tuburi cilindrice din azbociment, piese din sticlă, din bazalt topit etc; bușe, inele, cuzineți de arbori ai motoarelor cu combustie internă, bandaje de roți de vagoane feroviare din fonte aliate etc. Turnarea centrifugală este echivalentă cu turnarea sub presiune în forme rotative.
- Principiul separatorului centrifugal, al filtrului centrifugal, al unui motor hidraulic cu jeturi reactive [3].
- Principiul generatoarelor hidro-gazo-aero-dinamice centrifugale (pompe radiale, turbocompresoare, turbosuflete, ventilatoare).
- Principiul tahometrului hidraulic.
- Apariția portanței în lagărele verticale.

Autorii cunosc realizarea unor lentile și oglinzi parabolice de mari dimensiuni prin rotirea lentă și răcirea îndelungată a unor materiale topite, conținute în vase/forme cu suprafața deschisă. Topirea se poate realiza cu ajutorul unor curenți de înaltă frecvență (CIF).

În [2], sub titlul "Oglinzi lichide pentru telescoapele viitorului" se prezintă informația de mai jos.

Celebrele fotografii luate de telescopul spațial Hubble vor fi surclasate de cele pe care le va transmite LLMT (*Lunar Liquid Minor Telescope*). Un proiect lansat de echipa cercetătorului canadian Ermanno Borra de la Centrul de optică, fonică și laser al Universității Laval din Quebec și prezentat Agenției NASA. E vorba de un telescop cu oglinda lichidă cu un diametru de 100 de metri, ce va fi construit pe Lună. Este de cinci ori mai ieftin decât costul unui telescop clasic.

Instrumentul va putea detecta un „furnicar” de peste 1000 de astre, asta în timp ce succesorul lui Hubble, prevăzut pentru anul 2013, nu va fi capabil să observe mai mult de 10 astre. O mare provocare pentru cosmotogi, care vor putea detecta obiecte spațiale formate în timpul în care Universul avea mai puțin de 6% din vârsta actuală, adică 750 de milioane de ani. S-ar putea, așadar, identifica galaxiile formate în prima etapă a formării Universului și, probabil, prima generație de stele.

Proiectul vizând telescoapele cu oglindă lichidă se afla în atenția cercetătorilor de 15 ani. Conform legilor fizicii, forța centrifugă imprimă lichidului deversat pe un disc aflat în rotație o curbura similară cu cea a unui telescop, fără a se recurge, așadar, la șlefuire. Viteza de rotație a oglinzii trebuie să fie extrem de precisă, fără ca suprafața să prezinte cea mai mică abatere/eroare. A fost ales ca lichid, mercurul (spre disperarea apărătorilor mediului) care se evaporă lent dar care formează rapid un strat de oxid ce blochează vaporii toxici.

Ideea a fost susținută și de cercetătorii Universității din Columbia-Britanică (Canada) care au realizat un telescop cu oglindă lichidă având un diametru de 6 metri (tot cu mercur), care se rotește cu o viteză de 5 km/h.

Centrul de optică din Quebec, în colaborare cu Observatorul european austral (ESO), va construi un astfel de telescop cu diametrul de 4 metri, în Silla (Chile).

## II. Elemente de calcul

În absența unei documentații/memoriu de calcul, la îndemâna specialiștilor, privind proiectele semnalate mai sus, autorii prezentului studiu elaborează și prezintă câteva relații și calcule de hidrostatică adecvate, elementare/de bază.

Condiția echilibrului static al fluidelor este exprimată prin relația vectorială:

$$\vec{f} - \frac{1}{\rho} \cdot \text{grad} p = 0 \quad (1)$$

În care  $\vec{f}$  este rezultanta forțelor masice care acționează asupra unității de masă (forța masică unitară, cu dimensiune și semnificație de accelerație),  $\rho$  este masa specifică a fluidului, iar  $\text{grad} p$  este gradientul presiunii.

Raportat la referențialul triortogonal, cu planul xOy orizontal și axa verticală Oy de rotație, Fig. 1, relația (1) se transformă/proiectează în trei ecuații cu derivate parțiale (Euler):

$$\begin{cases} f_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = 0, \\ f_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \\ f_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

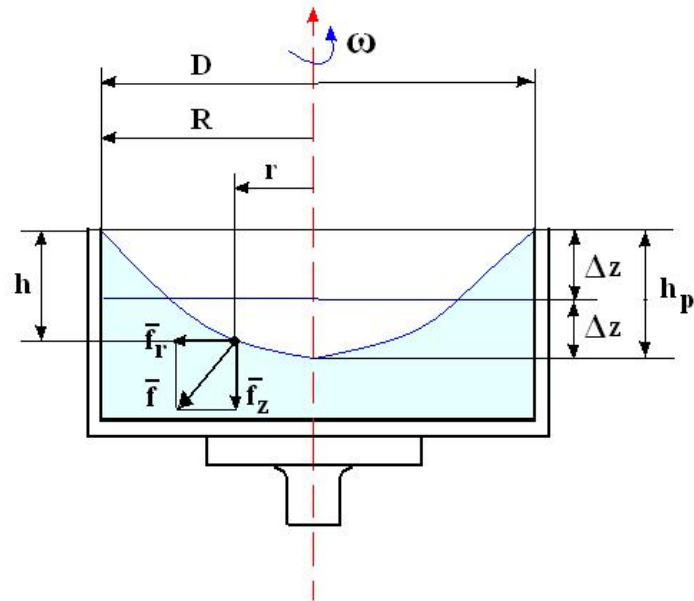


Fig. 1.

În cazul lichidelor este justificată izodensitatea lor practică,  $\rho = \text{ct.}$  În câmp gravitațional, cu accelerația gravitațională  $g$ ,  $f_z = -g$ . În cazul mișcării de rotație cu viteză unghiulară  $\omega = \pi n/30$ , turația  $n$ ,  $f_r = r\omega^2$  este componenta radială, orizontală, având proiecțiile  $f_x = x\omega^2$  și  $f_y = y\omega^2$ . Raza curentă  $r \in [0, R=D/2]$ ,  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ .

În cazul turnării centrifugale, la componenta hidrostatică a presiunii  $p_{st} = \rho gh$  se adaugă presiune radială, centrifugală:

$$p_r = \frac{\rho \cdot r^2 \cdot \omega^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (3)$$

Relația (3) arată creșterea pătratică a presiunii radiale cu raza, deci suprapresiunea realizată are o distribuție parabolică.

Suprafața liberă a lichidului, în repaus, este plană, orizontală pentru că  $f_z = -g$ ,  $f_r = 0$ . În echilibru relativ de rotație  $f_z = -g$ ,  $f_r = r\omega^2$  și suprafața liberă echipotențială, izobară, izotermă, devine, din punct de vedere geometric, o cuadrică: un paraboloid de rotație/revoluție, de tipul  $X^2+Y^2-Z=0$ , (fig. 1).

Față de planul orizontal inițial (în repaus) vârful paraboloidului coboară pe axa Oz cu  $\Delta z$ , iar pe peretele cilindric al vasului lichidul se ridică tot cu:

$$\Delta z = \frac{R^2 \cdot \omega^2}{4g} \text{ [m]} \quad (4)$$

Se consideră adâncimea paraboloidului pe axa Oz:

$$h_p = 2 \cdot \Delta z = \frac{R^2 \cdot \omega^2}{2g} \text{ [m]} \quad (5)$$

Volumul paraboloidului (volumul de lichid dizlocat) este:

$$V_p = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h_p = \frac{\pi}{4 \cdot g} \cdot R^4 \cdot \omega^2 \text{ [m}^3\text{]} \quad (6)$$

Având masa:

$$M_p = \rho \cdot V_p = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot R^4 \cdot \omega^2 \text{ [kg]} \quad (7)$$



### III. Aplicație numerică

Date cunoscute: diametrul interior  $D = 2R = 6$  m; viteza periferică, tangențială, maximă:

$$u = \omega \cdot R = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,387 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

Lichidul – mercur, cu  $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Se calculează viteza unghiulară de rotație:

$$\omega = \frac{u}{R} = 0,464 \text{ s}^{-1}$$

Și turația de antrenare  $n = \frac{30}{\pi} \cdot \omega = 4,43 \frac{\text{rot}}{\text{min}}$ .

Adâncimea paraboloidului suprafeței libere  $h_p = \frac{R^2 \cdot \omega^2}{2g} = 0,098 \text{ m}$ , volumul

$V_p = \frac{\pi}{4} \cdot R^4 \cdot \omega^2 = 1,4 \text{ m}^3$  și masa dizlocată  $M_{\text{Hg}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot V_p = 19000 \text{ kg}$ .

Adâncimea curentă a paraboloidului  $h(r) \in [h_p, 0]$ , cu  $r \in [0, R]$ , la  $\omega = \text{ct}$ .

$$h = h_p \cdot \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] = \frac{R^2 \cdot \omega^2}{2g} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right] \text{ [m]} \quad (5')$$

Coordonatele curbei directoare a suprafeței libere (parabola) pentru câteva valori ale razei curente,  $h(r)$ , sunt calculate și prezentate în tabelul 1.

Tabel 1.

r [m]	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
h [m]	0,098	0,095	0,087	0,0735	0,0545	0,0294	0

### IV. Concluzii

În condițiile lunare e nevoie de un lichid care să nu înghețe la  $-150$  °C, temperatura solului unde va fi instalat LLMT. O soluție ar fi lichidele ionice întrucât compușii lor organici pe bază de macromolecule se solidifică la o temperatură mult mai joasă. Și, poate, se va construi un telescop cu un diametru de cel puțin un kilometru, plasat pe orbită.

În calculele prezentate se vor modifica  $\rho$  și  $g$ , care vor prezenta valori mai mici.

### Bibliografie

- [1] – Benche, V., Mecanica fluidelor și mașini hidraulice, Editura Universității Transilvania din Brașov, 1978;
- [2] – Benche V., Țârulescu R., Țârulescu S., Reactive centrifugal rotor – the analytical study of two applications, Proceeding of The Symposium “CIVIL Engineering 2007”, “Ovidius” University Annals –Constanta, 2007;
- [3] – Măran D., Oglinzi lichide pentru telescoapele viitorului, Revista Magazin săptămânal cultural-științific, nr. 46 (2609), 15. 11. 2007, pag. 3, București.

---

\* Victor BENCHE, Profesor Univ. Dr. Ing, Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra de Termodinamica şi Mecanica Fluidelor, Braşov, 500036, Bdul Eroilor 29, Tel.: 0268412921 / int.193, Fax : +40 268 474761.

\*\* Radu ȚĂRULESCU, Asistent Univ. Ing, Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra de Termodinamica şi Mecanica Fluidelor, Braşov, 500036, Bdul Eroilor 29, Tel.: 0268412921 / int.193, Fax : +40 268 474761, E-mail – [radu.tarulescu@unitbv.ro](mailto:radu.tarulescu@unitbv.ro)

## CONTRIBUȚII ANALITICE LA DEFINIREA FUNCȚIONALĂ (DINAMICĂ) A UNOR VEHICULE RAPIDE, DESCHISE, AERIENE, DIN PARCURILE DE DISTRACTȚII CELEBRE ALE LUMII

Victor BENCHE\*  
Stelian ȚĂRULESCU\*\*

### Rezumat

*În această lucrare se prezintă câteva informații sumare, incomplete, din literatura de specialitate, privind unele instalații și vehicule rapide, deschise, aeriene, din parcurile de distracție celebre, moderne ale lumii (Six Flags Great Adventure și Kingda Ka, de lângă New York; Diving Coaster Vanish din Yokohama; Insanity din Las Vegas).*

*Autorii adaugă câteva calcule sumare, preliminare, în sprijinul definirii funcționale dinamice a acestor montagnes russes: viteze de cădere liberă și de rulare, turații și viteze unghiulare de rotație, coeficienți de frânare, accelerații liniare și radiale, forțe de inerție liniare și centrifugale.*

*Studiul permite aprecierea absolută și comparată a performanțelor, înscriindu-se într-un memoriu de calcul propus.*

### I. Introducere

Progresul tehnic nu poate lipsi din parcurile de distracții. Pentru amatorii de senzații tari s-au inventat acele instalații/mașinării infernale numite montagnes russes, prevăzute cu un fel de vehicule/trenulețe aparent inofensive, dar care-i fac să scoată strigăte (de plăcere sau de groază) pe curajoșii pasageri. Într-o permanentă cursă contracronometru, în ultimii ani, oferta în domeniu s-a diversificat în forme aproape de neimaginat.

Prezentăm mai jos câteva informații sumare [1], la care adăugăm câteva calcule, în sprijinul definirii funcționale dinamice a unor vehicule/trenulețe rapide, deschise, aeriene, cu performanțe remarcabile din câteva parcuri de distracții celebre ale lumii.

### II. Descrierea instalațiilor și elemente de calcul

#### a) “Taurul” de lemn

Vehiculele/trenulețele despre care vorbim au de fapt o vârstă respectabilă, primele fiind construite la începutul secolului al XIX-lea. Interesant este că suportul de rulare, acea dantelărie cu multe curbe, suișuri și coborâșuri bruște, era realizat din grinzi de lemn. O replică modernă, însă mult mai mare, a fost pusă în funcțiune de puțin timp în parcul Six

Flags Great Adventure, de lângă New York. Se numește El Toro și are înălțimea maximă de  $h = 55$  m, cât un imobil cu 18 etaje, „altitudine” de la care viteza maximă de coborâre ajunge la 113 km/h. Odată începută marea aventură, miile de grinzi încep să trosnească și să scârțâie din toate încheieturile, „melodie” deloc optimistă, dar care e întotdeauna acoperită de urletele pasagerilor.



Fig. 1. El Toro (“Taurul” de lemn)

După calculele noastre, viteza teoretică, maximă, care poate fi atinsă prin cădere liberă, este viteza Torricelli:

$$v_t = \sqrt{2gh} = 4,44 \cdot \sqrt{55} = 33 \text{ [m/s]} \quad (1)$$

Se afirmă că se atinge o viteză reală maximă  $v_r = 113 \text{ km/h} = 31,4 \text{ m/s}$ . Atunci, coeficientul de fânare totală a vehiculului (prin rezistența aerodinamică și de rulare) ar fi:

$$\varphi_v = \frac{v_r}{v_t} = \frac{31,4}{33} = 0,95 \quad (2)$$

Ceea ce provoacă o reducere a energiei cinetice specifice  $\frac{v_t^2}{2g}$ , cu  $\varphi_v^2 = 0,9025$ , de 9,75%, deci randamentul mecanic al vehiculului în instalație este de 90,25%.

#### b) Cădere “în vid”

Impresionantă alura lui El Toro, dar performanțele sale nu se compară cu cele ale lui Kingda Ka, din același parc american. Cu cei 139 metri înălțime, este cel mai înalt montagne ruses din lume, coborârea făcându-se practic pe verticală, cu calea de rulare doar puțin spiralată. După ce e urcat în vârful instalației, trenulețul e catapultat astfel încât în numai 3,5 secunde viteza lui de cădere ajunge de la 0 la 206 km/h. Un adevărat sadism din partea constructorilor, corpul uman, după calculele noastre, fiind supus la accelerația:

$$a = \frac{206}{3,6 \cdot 3,5} = 16,4 = 1,67 \cdot g \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (3)$$

Un om având masa corporală în repaus de  $m = 75 \text{ kg}$ , capătă, în câteva secunde, o forță de inerție de 125 kgf.



Fig. 2. Gyro Drop

Cu situația de mai sus încearcă să concureze Gyro Drop, un „joc” oarecum similar situat într-un parc din capitala sud-coreeană, Seul. O roată uriașă, pe care sunt așezate scaunele, este ridicată încet pe un pilon central, până la 70 de metri. Ajunsă în vârf, nacela e lăsată să cadă în gol. Rezultatul: 120 km/h.

După calculele noastre, viteza teoretică, maximă, care poate fi atinsă este:

$$v_t = \sqrt{2gh} = 4,44 \cdot \sqrt{70} = 37 \text{ [m/s]} \quad (4)$$

Se afirmă că se atinge o viteză reală maximă  $v_r = 120 \text{ km/h} = 33,3 \text{ m/s}$ , cu coeficientul de fânare  $\varphi_v = 0,9$  și accelerația imprimată  $a = 16,65 = 1,7 \cdot g \text{ [m/s}^2\text{]}$ , în timpul de două secunde.

### c) Cu capul în jos

Ridicările la cer și căderile în vid cunosc și alte rafinamente. Japonezii îl au pe Eejanaika, o roată verticală, pe marginea căreia sunt montate scaune rotitoare. Nu are nici dimensiuni colosale, nici viteză deosebită, dar pe măsură ce trenul își urmează parcursul nacelele se rotesc în jurul propriei axe, făcând, ca pasagerii să se găsească în 2 minute și 10 secunde de 14 ori cu capul în jos.

După calculele noastre, se realizează o turație de  $n = 6,45 \text{ rot/min}$ , cu o viteză unghiulară de rotație de:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = 0,675 \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (5)$$

Pentru o rază a cercului de  $R = 15\text{m}$ , se obține o accelerație radială/centrifugală de  $R \cdot \omega^2 = 0,7 \cdot g \text{ m/s}^2$ . Când sunt cu capul în jos, pasagerii sunt supuși unei accelerații de  $g + R \cdot \omega^2 = 1,7 \cdot g \text{ m/s}^2$ , valoare întâlnită și la exemplele anterioare.

La Yokohama, în schimb, se află Diving Coaster Vanish, singurul montagne russe din lume care nu numai că se plimbă deasupra unui lac, ci își transportă pasagerii și pe sub apa acestuia.



Fig. 3. Diving Coaster Vanish

Ca să încheiem în aceeași notă, îl amintim și pe înfricoșătorul Insanity din Las Vegas, asemănător întrucâtva cu vechile „lanțuri” din bălciurile noastre de odinioară, care-și rotește clienții cu 60 km/oră, la 275 de metri deasupra orașului.



Fig. 4. Insanity

Cu o rază de  $R = 15\text{m}$ , după calculele noastre, se asigură o viteză periferică:

$$u = \omega \cdot R = \frac{60}{3,6} = 16,7 \text{ [m/s]} \quad (6)$$

cu o viteză unghiulară de rotație  $\omega = 1,11 \text{ s}^{-1}$ . Pasagerii sunt supuși unei accelerații unghiulare, centrifugale, de  $R \cdot \omega^2 = 18,5 = 2g \text{ m/s}^2$ .

### III. Concluzii

Autorii au realizat câteva calcule sumare, preliminare, în sprijinul definirii funcționale dinamice a acestor montagnes russes: viteze de cădere liberă și de rulare, turații și viteze unghiulare de rotație, coeficienți de frânare, accelerații liniare și radiale, forțe de inerție liniare și centrifugale.

Studiul permite aprecierea absolută și comparată a performanțelor.

### Bibliografie

- [1] – Popescu A. N., Dantelăriile cerului, Magazinul cultural-științific, nr. 5 (2619), 31 ianuarie 2008, București;
- [2] – Țârulescu R., Benche V., Țârulescu S., *The analytical study of the dynamics for vehicles with lifting wing*, The 1<sup>st</sup> International Conference MOTOR VEHICLE AND TRANSPORTATION, MVT2006, Timișoara 15-17 noiembrie 2006.

---

\* Victor BENCHE, Profesor Univ. Dr. Ing, Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra de Termodinamica și Mecanica Fluidelor, Brașov, 500036, Bdul Eroilor 29, Tel.: 0268412921 / int.193, Fax : +40 268 474761.

\*\* Stelian ȚÂRULESCU Asistent Univ. Ing, Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra de Autovehicule și Motoare, Brașov, 500036, Bdul Eroilor 29, Tel.: +40.68.413000 Int. 173, E-mail – [s.tarulescu@unitbv.ro](mailto:s.tarulescu@unitbv.ro)



## INVESTIGAȚII EXPERIMENTALE ASUPRA SUPRAFETELOR IRADIATE CU LASER

Remus BOBOESCU \*  
Ion SPOREA \*\*

*Abstract: Sudarea laser a metalelor este un domeniu cu largă aplicabilitate. Puterea laserului, viteza de sudare, intensitatea la suprafață sunt parametrii reglabili care influențează calitatea suprafețelor cordonelor. Sunt prezentate rezultatele experimentale legate de studiul procesului. Ca funcție de răspuns s-a folosit lungimea conturului valului. Se folosește metoda experimentelor factoriale pentru obținere unui polinom de regresie. Se discută aspecte fizice și de calitate asupra proceselor.*

### I Introducere

Sudarea laser a materialelor metalice este în prezent un procedeu industrial larg răspândit. Laserii cu mediu solid Nd:YAG pot fi utilizați la sudarea laser a aluminiului și oțelului titanului și aliajelor acestuia. Transmiterea radiației prin fibră optică și atașarea capului de sudare la un sistem robotizat asigură flexibilitatea procesului. Cercetarea în domeniu proceselor de prelucrare laser a cunoscut în ultimul timp o dezvoltare datorată apariției laserilor cu mediu solid care pot opera la puteri mari (3-4kW) în regim continuu și apariția laserilor cu discuri care permit dezvoltarea unor puteri mari. În industria aeronautică sudarea laser este utilizată pentru sudarea componentelor obiectelor interioare din aeronave cum ar fi spre exemplu dulapuri din aluminiu sau umplutura din pereții avionului de tip „fagure de albine”. Ca poziție de sudare se folosește sudarea prin suprapunere a tablelor subțiri și sudarea cap la cap cu sau fără adaos de material. Aceste procedee tehnologice sunt apropiate de experimentele realizate. Cercetarea în sudarea laser înregistrează două direcții de dezvoltare una strict tehnologică iar cealaltă îndreptată către înțelegerea fenomenelor fizice care au loc în timpul procesului. Iradierea cu o sursă termică concentrată conduce la apariția unor fenomene particulare legate de topirea și vaporizarea metalului topit. Problema studiată în lucrare se referă la suprafața cordonului sudat. Ea a fost analizată prin studiul unor linii de fuziune și al unor iradieri pe plăci de oțel. Linia de fuziune prezintă trei caracteristici și anume o supraînălțare (sau o coborâre) față de suprafața plăcii, valuri regulate datorate solidificării topiturii în mișcare și ridicăturii neregulate.

Obținerea unor cordoane a căror calitate a suprafeței să fie constantă și predictibilă poate constitui un obiectiv tehnologic. În lucrare sunt prezentate dependența unora din caracteristicile suprafeței în funcție de parametri procesului. Cercetarea valurilor produse pe suprafața cordonului sudat a fost abordată în lucrările [1] [2] și [3]. Valurile produse la suprafața cordoanelor apar ca oscilații între forța gravitațională și tensiunea superficială care apar la suprafața topiturii. Ele apar acolo unde metalul lichid are o vâscozitate ridicată (datorită răcirii). Timpul cât durează unda fiind de același ordin de mărime cu timpul de solidificare face ca valul să fie prins de solidificare în mișcare.

## II Realizarea experimentelor

Experimentările au fost efectuate la Institut de Traitement et matériau Le Creusot France în cadrul unui program finanțat de Consiliul Regional Bourgogne. S-a folosit în experimentări o sursa laser HL 3006D produsă de firma TRUMPF care prezintă următoarele caracteristici : Este un laser cu mediu solid Nd :YAG având lungimea de undă de  $\lambda=1064$  nm. Pompajul optic se realizează cu ajutorul lămpilor. Poate să emită atât în regim continuu cât și în regim pulsant. Puterea maximă la suprafața piesei este de 3kW. Parametru de calitate al fascicolului (BPP este egal cu  $25 \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ . Diametrul mediului fibrei optice de ieșire este de  $600 \mu\text{m}$ . Ca material s-a folosit oțel carbon cu limită ridicată de elasticitate ( limită ridicată de curgere) având o concentrație apropiată de 0.16%, tabla având o grosime de 10 mm. Iradierile s-au efectuat în atmosferă protectoare de Ar. Pata generată de radiația laser pe suprafața piesei a avut diametru de  $600 \mu\text{m}$ . A fost studiată variația a trei parametri : puterea medie  $P$ , viteza de sudare  $v$ , poziția punctului focal față de suprafața piesei  $\delta$ . Laserul a funcționat în regim continuu. S-a urmărit cercetarea întregului domeniu experimental prin planuri clasice și planuri factoriale. Iradierile staționare au urmărit variația timpului de expunere și a poziției punctului focal față de suprafața piesei. Figura prezintă 1 exemple de linii de fuziune iar figura 2 prezintă exemple de iradierii staționare.



Fig. 1 Fotografie cu cordoanele de sudare obținute



Fig. 2 Fig. 1 Fotografie cu iradierile staționare

## III Analiza rezultatelor obținute

Cordoanele de sudare obținute au fost fotografiate la un microscop cu o mărire de 15X. Pe fotografiile respective au fost măsurate lungimea conturului valului. Figura 3 prezintă un exemplu de astfel de fotografii. Aceasta este o mărime care arată mișcarea topiturii și efectul acesteia raportat la mărimea zonei topite.

Măsurarea lăgimii conturului valului (notată cu LW, l, S) a fost efectuată folosind fotografiile prin aproximarea liniară pe intervale. Rezultatele au fost utilizate pentru reprezentările grafice din figurile 4, 5:

Se observă din figura 4 că există o tendință crescătoare cu puterea laserului pentru lungimea valului. Coborîrea punctului focal în interiorul piesei aigură o lungime a valului relativ constantă la puteri mici dar are un efect punernic la puteri mari. La puteri medii poziția punctului focal ( defocalizarea) nu influențează lungimea valului. Din figura 5 se observă o scădere a lungimii valului în funcție de viteză . Ea este mai pronunțată pentru focalizarea la suprafață și mai puțin pronunțată pentru focalizările în interiorul piesei. Pentru acestea apar diferite tendințe de instabilitate. În mod suplimentar s-au efectuat cercetării privind variația lungimii valului funcție de energia liniară ( raportul dintre putere și viteză și energia volumică( mărime arbitrar definită ca fiind raportul dintre intensitatea la suprafață, dependentă de poziția punctului focal ,și viteză) . Aceste mărimi sunt date de formulele (1) și

$$(2) E_l = \frac{P}{v} \quad [\text{j/cm}] \quad (1)$$

$$E_v = \frac{I(\delta)}{v} \quad [\text{j/cm}^3]$$

Introducerea acestor mărimi au cumulat datele din experimentarea clasică

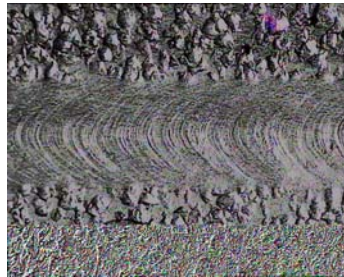


Figura 3 Cordon care prezintă o supraînălțare mică Parametrii  $P = 1.5 \text{ kW}$ ,  $v = 0.6 \text{ m/min}$ ,  $\delta = 0 \text{ mm}$  Direcția de sudare  $\rightarrow$

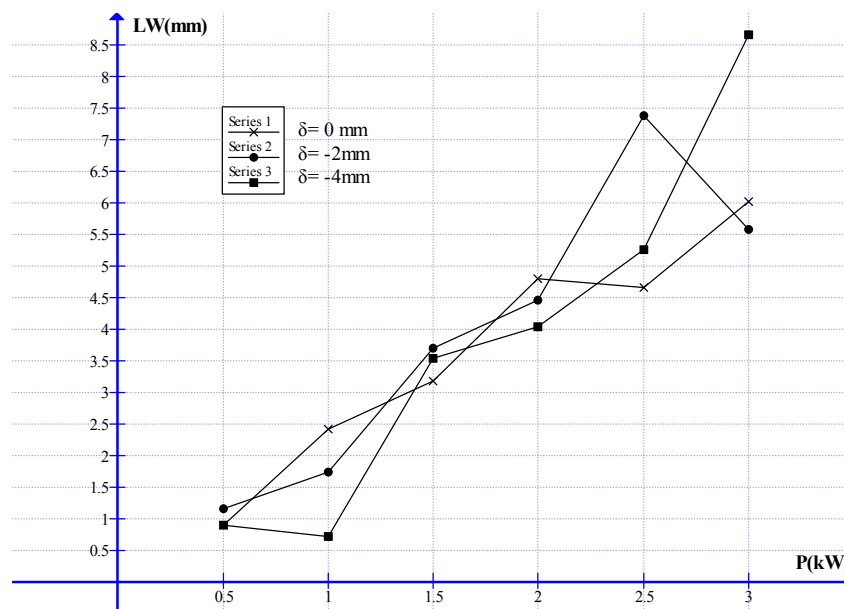


Fig. 4 Variația lungimii valului în funcție de putere la  $v = 0.6 \text{ m/min}$

Lungimea valului are o tendință de creștere logartimică față de aceste mărimi. Se observă însă că considerând efectul combinat al puterii și vitezei în cazul variației în funcție de energia liniară și efectul puterii, vitezei și al poziției punctului focal față de suprafață în cazul energiei volumice conduce la împrăștierea rezultatelor. Aceasta arată că fiecare din factorii are un tip particular de influență asupra procesului.

Folosind un plan de experimentare factorial s-a obținut următoarea funcție de corelație între mărimi:

$$\text{lungimea valului} = 3.461 + 1.58375A - 0.69375B - 0.02375C - 0.27375 AB + 0.22125 AC + 0.25375 BC + 0.16375 ABC \quad (3)$$

unde s-au introdus următoarele transformării pentru parametrii variații :

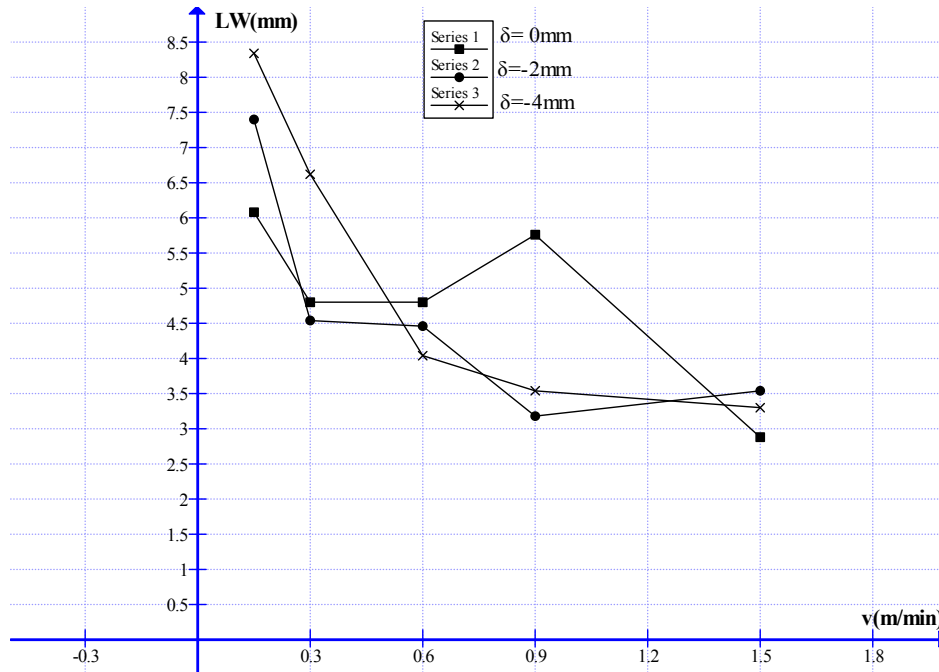


Fig. 5 Variația lungimii valului în funcție de viteza de sudare la  $P = 2 \text{ kW}$

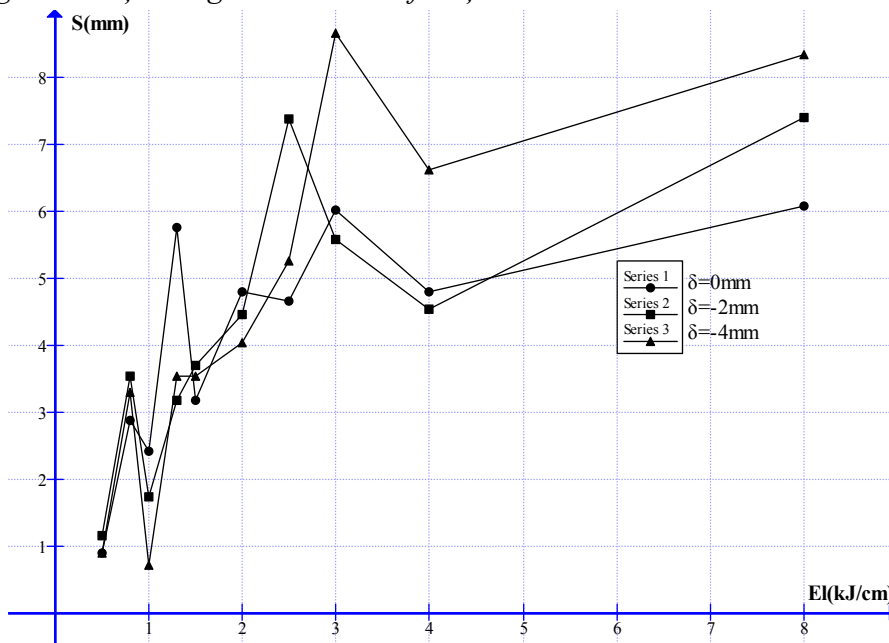


Fig. 6 Variația lungimii valului în funcție de energia liniară  $E_l$

Puterea  $P$  [kW]

$$A = -1 + \frac{P-1}{3-1} \cdot (1 - (-1)) = -1 + \frac{P-1}{2} \cdot 2 = P - 2 \quad (4)$$

Viteza  $v$  [m/min]

$$B = -1 + \frac{v-0.6}{1.5-0.6} \cdot (1 - (-1)) = -1 + \frac{v-0.6}{0.9} \cdot 2 = -1 + \frac{v-0.6}{0.45} \quad (5)$$

poziția punctului focal față de suprafața piesei  $\delta$  [mm]

$$C = -1 + \frac{\delta - 0}{-2 - 0} \cdot (1 - (-1)) = -1 + \frac{\delta - 0}{-2 - 0} \cdot 2 = -1 - \delta \quad (6)$$

Aprecierea statistică s-a bazat pe două replici efectuate în punctul central al experimentului. Analiza statistică a modelului obținut a arătat un coeficient de corelație  $R^2 = 0.78$ . Dintre mărimile variabile cel mai important efect îl are puterea urmată de viteză. Iradierile staționare au fost realizate folosind o putere de 3kW, doi timpi de expunere de 50 ms și respectiv 100 ms. Poziția punctului focal a fost stabilită la suprafață  $\delta=0$  și în interiorul piesei  $\delta = -1 \text{ mm}$ ,  $\delta = -2 \text{ mm}$  și  $\delta = -4 \text{ mm}$ . S-a obținut o zonă topită având în centru un crater. Pentru fiecare încercare s-a efectuat trei replici. Observarea acestora a arătat că zona topită este mai mare pentru iradierile cu timp de expunere de 100ms decât cele cu timp de expunere de 50ms. Curgerea topiturii este mai puternică pentru cele la care focalizarea a fost făcută la suprafață. Zona vaporizată nu prezintă însă variații semnificative în funcție de timp însă scade odată cu coborârea punctului focal în interiorul piesei. Focalizarea în interiorul piesei asigură o creștere progresivă a reproductibilității zonei topite. Acest lucru a fost observat și pe cordonale de sudare. Supraînălțarea, frecvența valurilor au devenit mai reproductibile odată cu coborârea punctului focal în interiorul piesei. De asemenea s-a reușit eliminarea definitivă a ridicăturilor ( variații discontinue ale supraînălțării). Astfel se recomandă ca pentru a obține o estetică a cordonului de sudare punctul focal să fie coborât puțin în interiorul piesei ( $\delta = -2 \text{ mm}$ ).

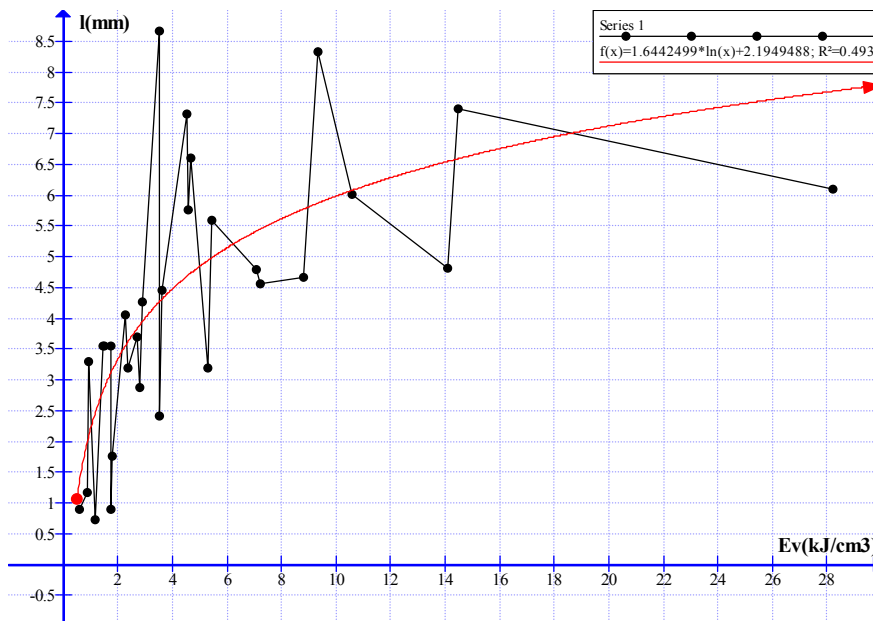


Fig. 7 Variația lungimii valului în funcție de energia liniară  $E_v$

#### IV Discuții

Studiul valurilor observate la suprafața cordonului trebuie încadrat în contextul mai larg al cercetării. Studiul cordonalelor respective a arătat că toate mărimile măsurate la suprafață prezintă coeficienți de corelație relativ scăzuți. Există pentru toate acestea o reproductibilitate relativ scăzută care face ca formulele de regresie obținute să nu poată să fie privite cu o încredere de 95% solicitată în tehnică. Aceasta se datorează în principal topirii materialului care în esență fenomenului prezintă o reproductibilitate mai scăzută decât cea

care este la prelucrările mecanice. Pentru lungimea conturului valului se observă scăderea dependenței de viteză în raport cu cea pentru lățimea cordonului. Acest lucru face ca în studiul cordoanelor de sudare să putem deosebi două tipuri de mărimi și anume cele care au în vedere dezvoltarea topiturii în material după o singură direcție spațială și cele care au în vedere dezvoltarea topiturii după două sau trei direcții spațiale. Rezultatele experimentale au arătat că odată cu considerarea unei mărimi studiate care se dezvoltă după mai multe direcții crește ponderea de influență a puterii asupra rezultatului final. Lungimea valului vizează dezvoltarea topiturii după două direcții spațiale și se înscrie în acest tip de comportament observat. Cercetarea valurilor impune și studiul altor mărimi. Este vorba despre frecvența valurilor. Aceasta nu a putut fi măsurată cu precizie deoarece fenomenul este afectat de supraînălțare astfel că rezultatele nu sunt comparabile între cordoane diferite. Valurile se unesc pe partea suprînălțată de la mijlocul cordonului astfel că nu poate fi măsurată cu precizie frecvența lor. La marginea cordonului topitura curge liber și astfel iarăși se unesc valurile. Există o zonă intermediară pe latura cordonului între centru și margine unde ar putea fi măsurată frecvența. Aici însă este dificil atât prin măsurătoare directă cât și prin măsurătoare indirectă (pe fotografii). Cu toate acestea s-a stabilit ca o distanță medie între valuri apropiată de 0.1 mm care pare a nu depinde de parametrii variați. Un alt tip de fenomene observate este instabilități mari și anume ridicături, valuri dublate sau îngroșate care sunt reproductibile la distanțe mari de ordinul a mai mulți milimetri sau chiar centimetri. Sprînălțarea este una din aceste mărimi. Ea se stabilizează după sudarea a 5-6 cm. Astfel încălzirea materialului înaintea capului de sudare are un rol important în cadrul formării formelor de suprafață. Deși cordoanele au avut 10 cm ele nu au fost suficient de lungi pentru predicția unor astfel de mărimi. O altă problemă o reprezintă cantitatea de topitură. S-a observat că aceasta este mai mică în cazul unei iradierii staționare decât cea obținută în cadrul procesului de sudare deși timpul de expunere a fost același. Aceasta reconfirmă importanța cumulării căldurii în material și efectului acesteia asupra formei cordonului de sudare. Prin fenomenele puse în evidență se arată că sudarea laser este un domeniu în care se poate pune în evidență fizica topirii și vaporizării libere a materialului în condițiile în care sursa termică este concentrată și nu aduce material străin în zona de interacțiune. Astfel există un dublu interes în ceea ce privește studiul fenomenelor care au loc în sudarea laser din punct de vedere al fizicii și din punct de vedere al tehnologiei.

## V Concluzii

În lucrare au fost prezentate și interpretate rezultatele experimentale obținute în studiul valurilor formate la suprafața cordoanelor sudate cu laser. S-a efectuat apoi o analiză de ansamblu a rezultatelor experimentale. S-au prezentat metoda experimentării clasice și cele factoriale aplicate pentru studiul lungimii conturului valului.

## Bibliografie

- [1] Prokhorov Laser Heating of Metals International edition
- [2] N. Rykalin, A Uglov, A Kokora Laser Machining and Welding Mir Publishers 1978.
- [3] Olivier Perret Tese doc. Soutenu a Universite de Bourgogne

---

\*Boboescu Remus , doctorand fizician, Universitatea Politehnica Timișoara remus\_boboescu@yahoo.com

\*\* Sporea Ion , profesor doctor inginer, profesor consultant Universitatea Politehnica Timișoara

## TRANSMISII PLANETARE PRECESIONALE: ASPECTE TEORETICE ȘI APLICAȚII PRACTICE

Ion BOSTAN\*  
Valeriu DULGHERU\*\*

**Abstract:** În lucrare se prezintă unele aspecte ale teoriei angrenajului precesional multiplu cu profil nestandard modificat al dinților. În baza ecuațiilor parametrice obținute ale profilului dinților în sistemul de modelare CAD/CAM/CAE CATIA V5R7 a fost obținut profilul dintelui și modelul computerizat 3D al danturii roții dințate. În baza rezultatelor cercetărilor teoretice au fost elaborate transmisii planetare precesionale de putere și cinematice aplicabile în diverse mecanisme de acționare.

### I. Introducere

Transmisiile mecanice se utilizează practic în toate mașinile fiind considerate ca cele mai sofisticate componente. De funcționarea transmisiilor mecanice în cea mai mare parte depinde fiabilitatea mașinilor în general. Analistii scientologi consideră, că în domeniul științelor tehnice la scară mondială odată în 20-25 de ani se inventează un tip principial nou de transmisie mecanică. Astfel, în anul 1923 inginerul german L. Braren inventează transmisia cicloidală CYCLO, în 1944 inginerul rus A. Moskvitin - transmisia armonică cu fricțiune, 1959 inginerul american C. W. Musser – transmisia armonică cu angrenaj. În anul 1979 Ion Bostan a elaborat un nou tip de transmisie mecanică, care a intrat în circuitul terminologic internațional sub denumirea de transmisie planetară precesională (TPP). Transmisia planetară precesională se deosebește de cele clasice prin principiul nou de transformare și transmitere a mișcării și sarcinii și anume prin utilizarea mișcării sfero – spațiale a satelitelui și profilului convex – concav variabil. Datorită acestor particularități novative în transmisia planetară precesională multiplicitatea angrenării este de 100% (în cele clasice 3-7%) fapt ce asigură capacitate portantă sporită, gabarite și masa reduse, diapazon cinematic extins  $\pm 10 \dots \pm 3599$  (în transmisiile armonice 79...300), precizie cinematică sporită etc.[1]. Transmisiile planetare precesionale au fost publicate în peste 500 de articole științifice. Soluții tehnice originale sunt protejate cu cca. 160 brevete de invenție și implementate în domeniul mecanicii fine, utilajului tehnologic special, în complexele robotizate pentru explorarea concrețiunilor fero-manganice de pe fundul oceanului (conceptul U.R.S.S.), în tehnica cosmică de zbor etc. Realizările în domeniu au fost prezentate la peste 50 de Expoziții Internaționale și apreciate cu 43 de medalii de aur și 20 de argint. În această perioadă autorii au elaborat: modele matematice ale cinematicii și dinamicii transmisiilor planetare precesionale, în baza cărora au fost cercetate caracteristicile funcționale ale acestora



prin metode moderne bazate pe CAD/CAM/CAE; bazele teoretice ale tehnologiilor industriale de fabricare a angrenajelor precesionale cu profil convex – concav, cicloidal și în arc de cerc al dinților pe mașini unelte cu comandă numerică cu 5 grade de mobilitate; o gamă nouă de scheme structural – topologice de transmisii planetare precesionale cinematice, reductoare, multiplicatoare și variatoare de putere.

## Capitolul II. Descrierea analitică a profilului dinților cu modificare de profil

### 2.1. Descrierea profilului dinților modificați proiectați pe un plan transversal

Descrierea profilului modificat al dinților angrenajului precesional se efectuează în baza reproducerii interacțiunii „sculă generatoare de profil – semifabricat”, echivalentă cu interacțiunea „dinte-rolă” a transmisiei reale (fig. 1). Dantura angrenajului precesional al transmisiilor cu structură cinematică  $2K-H$  este plasată geometric pe o axoidă conică cu unghi de vârf  $\delta$ , care variază între  $(10-25^\circ)$ . La varierea unghiului axoidei  $\delta$  variază și profilul dinților conform unor relații parametriche descrise în [2]. În acest caz este oportună descrierea profilului dinților, având ca referință un punct „C” plasat pe o sferă (fig. 1) sub unghiul  $\delta=0$  (pentru a exclude influența unghiului  $\delta$  asupra profilului). Profilul dinților, care efectuează mișcare sfero-spațială cu un punct fix, se descrie cu utilizarea ecuațiilor cinematice Euler.

Coordonatele punctului C sunt următoarele:

$$\begin{aligned} X_C^m &= 0; \\ Y_C^m &= \sqrt{R_C^2 - (Z_C^m)^2}; \\ Z_C^m &= R_C \sin \theta \cos \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

Indicele  $m$  arată că ecuațiile includ modificarea de profil.

Pentru determinarea formei profilului dintelui pe sferă inițial descriem mișcarea sfero-spațială a unui punct, de exemplu, a punctului D, care coincide cu centrul rolei (dintele satelitului în formă de rolă conică) și este plasat pe sfera. Referindu-ne la tehnologia generării danturii angrenajului precesional punctul D este plasat pe axa de rotire a sculei cu suprafața generatoare conică la depărtarea  $R$  de centrul de

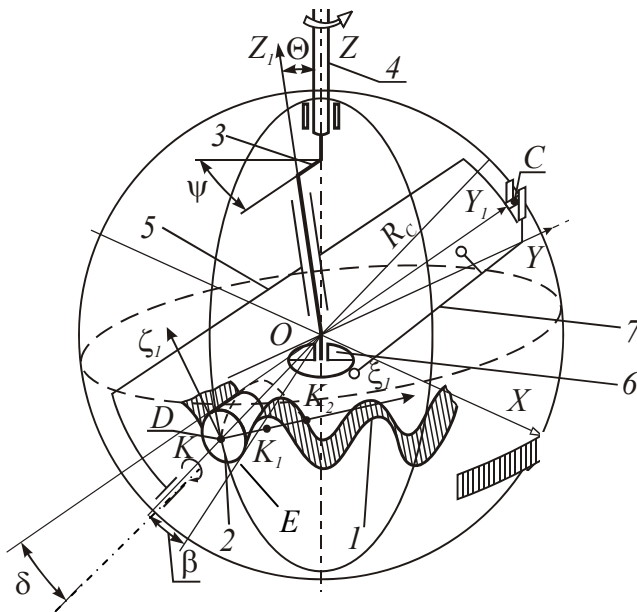


Fig. 1. Descrierea profilului dinților angrenajului precesional.

precesie “O” egală cu raza sferei.

Coordonatele punctului  $D^m$  sunt următoarele:

$$\begin{aligned} X_D^m &= -\sin \delta \sin [Y_C^m \sin \theta + Z_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi]; \\ Y_D^m &= -Y_C^m \cos \delta + Z_C^m \sin \delta [\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi]; \\ Z_D^m &= -Y_C^m \sin \delta (\cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi) - Z_C^m \cos \delta. \end{aligned} \quad (2)$$

unde  $\theta$  este unghiul de nutație egal cu unghiul dintre axele  $OZ_1$  și  $OZ$ .

Mișcarea punctului  $D^m$  în raport cu sistemul de coordonate mobil legat rigid de semifabricat se descrie cu ajutorul formulelor:

$$\begin{aligned} X_{1D}^m &= X_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} - Y_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1}; \\ Y_{1D}^m &= X_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} + Y_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1}; \\ Z_{1D}^m &= Z_D^m. \end{aligned} \quad (3)$$

Proiecțiile vitezelor punctelor  $C^m$  și  $D^m$  se calculează după formulele

$$\begin{aligned} \dot{Z}_C^m &= -R_C \sin \theta \sin \psi \cdot \dot{\psi}; \\ \dot{Y}_C^m &= -\frac{Z_C^m}{Y_C^m} \dot{Z}_C^m; \\ \dot{X}_D^m &= -\sin \delta \cos \psi \left[ Y_C^m \sin \theta + Z_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi \right] \dot{\psi} - \\ &- \sin \delta \sin \psi \left[ \dot{Y}_C^m \sin \theta + \dot{Z}_C^m (1 - \cos \theta) \cos \psi - Z_C^m (1 - \cos \theta) \sin \psi \cdot \dot{\psi} \right]; \\ \dot{Y}_D^m &= -\dot{Y}_C^m \cos \delta + \dot{Z}_C^m \sin \delta \left[ \cos^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \psi \right] + \\ &+ Z_C^m \sin \delta \left[ -2 \cos \psi \sin \psi + 2 \cos \theta \sin \psi \cos \psi \right] \dot{\psi}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{X}_{1D}^m &= \dot{X}_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} - \frac{\dot{\psi}}{Z_1} X_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} - \dot{Y}_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} - \frac{\dot{\psi}}{Z_1} Y_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1}; \\ \dot{Y}_{1D}^m &= \dot{X}_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1} + \frac{\dot{\psi}}{Z_1} X_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} + \dot{Y}_D^m \cos \frac{\psi}{Z_1} - \frac{\dot{\psi}}{Z_1} Y_D^m \sin \frac{\psi}{Z_1}. \end{aligned}$$

Cunoscând ecuațiile parametriche ale traiectoriei p.  $D$  și utilizând elementele de transformări din geometria analitică descriem traectoria mișcării punctului  $E$  pe sferă, care, de fapt, constituie profilul pe sferă al dinților modificați. Traectoria mișcării p.  $E$  pe sferă se exprimă prin următoarele ecuații parametriche:

$$\begin{aligned} X_{1E}^m &= k_2^m Z_{1E}^m + d_2^m; \\ Y_{1E}^m &= k_1^m Z_{1E}^m - d_1^m; \\ Z_{1E}^m &= \frac{(k_1^m d_1^m - k_2^m d_2^m) - \sqrt{(k_1^m d_1^m - k_2^m d_2^m)^2 + (k_1^{m2} + k_2^{m2} + 1) \cdot (R_D^2 - d_1^{m2} - d_2^{m2})}}{k_1^{m2} + k_2^{m2} + 1}, \end{aligned} \quad (5)$$

unde:

$$\begin{aligned} k_1^m &= \frac{X_{1D}^m \left( X_{1D}^m \dot{X}_{1D}^m + Y_{1D}^m \dot{Y}_{1D}^m \right) + Z_{1D}^{m2} \dot{X}_{1D}^m}{Z_{1D}^m \left( X_{1D}^m \dot{Y}_{1D}^m - Y_{1D}^m \dot{X}_{1D}^m \right)}; \quad k_2^m = -\frac{\left( k_1^m Y_{1D}^m + Z_{1D}^m \right)}{X_{1D}^m}; \\ d_1^m &= \frac{R_D^2 \cos \beta \dot{X}_{1D}^m}{\left( X_{1D}^m \dot{Y}_{1D}^m - X_{1D}^m Y_{1D}^m \right)}; \quad d_2^m = \frac{\left( R_D^2 \cos \beta + d_1^m Y_{1D}^m \right)}{X_{1D}^m}. \end{aligned}$$

În baza relațiilor analitice obținute a fost elaborat un program de calcul și de generare a danturii în sistemul de modelare CATIA V5R7, care a permis obținerea traiectoriilor modificate ale punctelor  $E_e^m$  și  $E_i^m$  pe suprafețele frontale sferice, respectiv exterioară și interioară.

## 2.2. Descrierea profilului dinților modificați proiectați pe un plan transversal

Proiecția punctului  $E^m$  pe planul transversal dintelui are coordonatele

$$X_E''^m = \varepsilon^m \cdot X_{1E}^m, \quad Y_E''^m = \varepsilon^m \cdot Y_{1E}^m, \quad Z_E''^m = \varepsilon^m \cdot Z_{1E}^m, \quad (6)$$

unde  $\varepsilon^m = -\frac{D}{AX_{1E}^m + BY_{1E}^m + CZ_{1E}^m}$ , iar

$$\begin{aligned} A &= (Z_{E_2} - Z_{E_1})n_Y - (Y_{E_2} - Y_{E_1})n_Z; \\ B &= (X_{E_2} - X_{E_1})n_Z - (Z_{E_2} - Z_{E_1})n_X; \\ C &= (Y_{E_2} - Y_{E_1})n_X - (X_{E_2} - X_{E_1})n_Y; \\ D &= (Y_{E_1}Z_{E_2} - Y_{E_2}Z_{E_1})n_X + (X_{E_2}Z_{E_1} - Z_{E_2}X_{E_1})n_Y + (X_{E_1}Y_{E_2} - X_{E_2}Y_{E_1})n_Z; \\ n_X &= Y_{E_1}Z_{E_2} - Y_{E_2}Z_{E_1}; \\ n_Y &= X_{E_2}Z_{E_1} - X_{E_1}Z_{E_2}; \\ n_Z &= X_{E_1}Y_{E_2} - X_{E_2}Y_{E_1}. \end{aligned}$$

în care:  $X_{E1}, Y_{E1}, Z_{E1}$  și  $X_{E2}, Y_{E2}, Z_{E2}$  sunt coordonatele punctelor minime ale profilului dintelui inițial  $E_1$  și final  $E_2$ ;  $n_X, n_Y, n_Z$  – proiecțiile vectorului  $n$  colinar cu vectorul vitezei punctului D al profilului în arc de cerc.

Profilul modificat al dintelui se descrie de ecuațiile

$$\begin{aligned} \xi^m &= X_E''^m \cos \frac{\pi}{Z_1} + [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \frac{\pi}{Z_1}; \\ \zeta^m &= X_E''^m \sin \gamma \sin \frac{\pi}{Z_1} - [R_D \cos(\delta + \theta + \beta) + Y_E''^m] \sin \gamma \cos \frac{\pi}{Z_1} + \\ &+ [R_D \sin(\delta + \theta + \beta) + Z_E''^m] \cos \gamma. \end{aligned} \quad (7)$$

unde  $\sin \gamma = \frac{\operatorname{tg}(\delta + \theta + \beta)}{\sqrt{\cos^2 \frac{\pi}{Z_1} + \operatorname{tg}^2(\delta + \theta + \beta)}}; \quad \cos \gamma = \frac{\cos \frac{\pi}{Z_1}}{\sqrt{\cos^2 \frac{\pi}{Z_1} + \operatorname{tg}^2(\delta + \theta + \beta)}}.$

Profilul dintelui roții prelucrate reprezintă înfășurătoarea familiei profilelor conturului generator al sculei. Înfășurătoarea este determinată după ecuațiile suprafeței de lucru a sculei generatoare și parametrii mișcării relative la înfășurare. În baza ecuațiilor parametrice (7) în sistemul de modelare CAD/CAM/CAE CATIA V5R7 a fost obținut profilul dintelui (fig. 2,a) modelul computerizat 3D al danturii roții dințate (fig. 2,b).

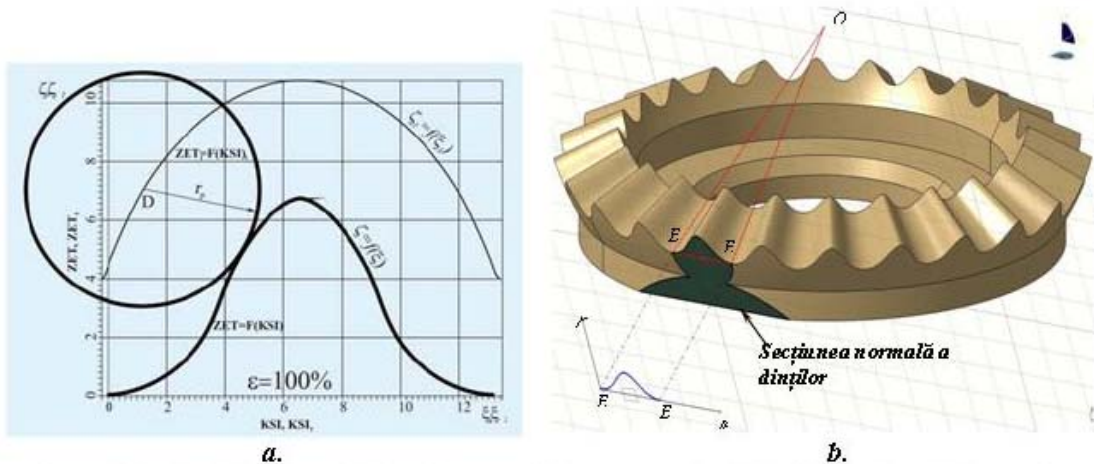


Fig. 2. Profilul dintelui modificat (a) și modelul computerizat 3D al danturii roții dințate (b).

### Capitolul III. Aplicații ale transmisiilor planetare precesionale

#### 3.1 Elaborarea și proiectarea mecanismului de acționare precesional de putere

O problemă stringentă în domeniile construcțiilor de mașini generale și speciale (industria militară, industria automobilelor, chimică etc.) este satisfacerea cerințelor mereu crescânde față de transmisiile utilizate în majoritatea mecanismelor de acționare referitor la capacitatea portantă, compacitate, masă și gabarite, cost redus de producere etc. În unele cazuri un interes aparte reprezintă caracteristicile cinematice, precizia cinematică (de ex. precizia de poziționare a unor componente ale aparatelor cosmice de zbor), compatibilitatea structurală cu alte agregate ale aparatului etc. Transmisiile planetare precesionale corespund acestor cerințe mereu crescânde ale producătorilor și consumatorilor de mecanisme de acționare de putere sau cinematice. În continuare se prezintă un modul electromecanic precesional de putere elaborat cu următoarele caracteristici tehnice: momentul de torsiune –  $T=1480 Nm$ ; raportul de transmitere  $i = 80 \pm 10\%$ ; Turația motorului electric  $n = 1400 \text{ min}^{-1}$ .

**Argumentarea structurii cinematice:** În rezultatul calculelor prealabile de realizare, a analizei parametrilor funcționali și a schemelor cinematice elaborate ale transmisiilor planetare precesionale a fost aleasă structura cinematică tip 2K-H, care include două roți dințate centrale, un bloc satelit cu două coroane danturate și un arbore manivelă echilibrat dinamic [3].

**Proiectarea transmisiei:** Proiectarea 3D, simularea pe calculator și elaborarea documentației tehnice au fost realizate, utilizând softurile licențiate SolidWorks și Autodesk MotionInventor.

**Asigurarea tehnologică:** În baza modelului matematic descris mai sus a fost elaborat pachetul tehnologic în mediul MathCAD care include determinarea coordonatelor punctelor profilului și realizarea mișcărilor spațiale coordonate ale sculei și semifabricatului. Conform [4, p.118-127] pentru raportul  $i = 80$  au fost alese următoarele numere de dinți (v. tabelul 1). Utilizând sistemul de modelare CAD/CAM/CAE CATIA V5R7 pentru numerele de dinți și parametrii geometrici de bază selectați au fost obținute profilele dinților roilor dințate centrale. În rezultatul analizei profilelor obținute pentru fiecare cuplu de roți dințate sub aspectul asigurării parametrilor geometrici și a randamentului optimi au fost selectate următoarele numere de dinți: ai roților dințate centrale  $Z_1=27$ ,  $Z_4= 20$  și ale coroanelor danturate ale satelitului  $Z_2=28$ ,  $Z_3=21$ . Aceste profile ale dinților (fig. 3) asigură obținerea raportului de transmitere prescris ( $i = -80,0$ ) cu parametri geometrici optimi:

- pentru  $Z_4=20$ ,  $\theta=2,5^\circ$ ,  $\varepsilon=100\%$ , unghiul axoidei conice  $\delta=22,5^\circ$ , avem unghiul de angrenare  $\alpha=42^\circ$ ;  $\beta=4,5^\circ$ ;

- pentru  $Z_1=27$ ,  $\theta=2,5^\circ$ ,  $\varepsilon=100\%$ , unghiul axoidei conice  $\delta=22,5^\circ$ , avem unghiul de angrenare  $\alpha=32^\circ$ ;  $\beta=3,5^\circ$ .

În baza sistemului de modelare MotionInventor/SolidWorks au fost obținute modelele computerizate 3D ale roților dințate cu parametrii geometrici selectați (fig. 4). În baza calculului la rezistență a fost elaborată construcția mecanismului de acționare a echipamentului tehnologic pentru parametrii indicați (fig.5). Mecanismul elaborat constă dintr-un motor electric tip SEV DV 100L4, propus de partea germană, legat prin flanșă cu reductorul precesional elaborat în baza structurii cinematice 2K-H. Reductorul include un bloc satelit cu două coroane danturate cu dinți în formă de role conice instalate pe osii cu posibilitatea rotirii în jurul lor, care angrenează dintr-o parte cu o roată dințată fixă cu profil convex concav al dinților, iar din altă parte – cu o altă roată dințată centrală, legată rigid cu arborele de ieșire. În baza construcției 3D modelate și simulate la calculator a fost elaborată documentația tehnică pentru fabricarea prototipului industrial, care actualmente se află în stadiu de fabricare.

**Tabelul 1.**

$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
24,	25,	19,	18
25,	26,	19,	18
26,	27,	20,	19
<b>27,</b>	<b>28,</b>	<b>21,</b>	<b>20</b>
28,	29,	21,	20
29,	30,	22,	21
31,	32,	22,	21
31,	32,	23,	22

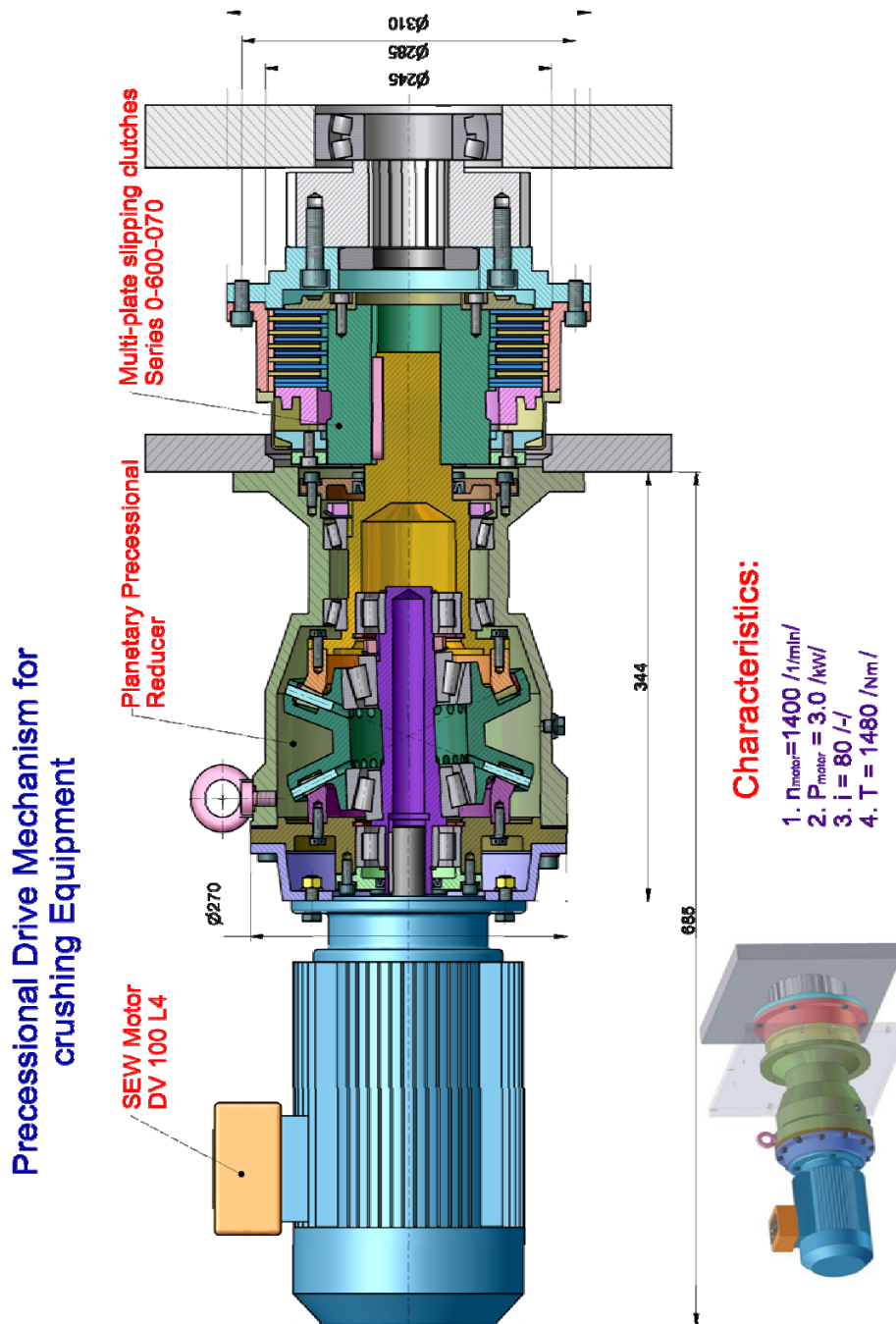
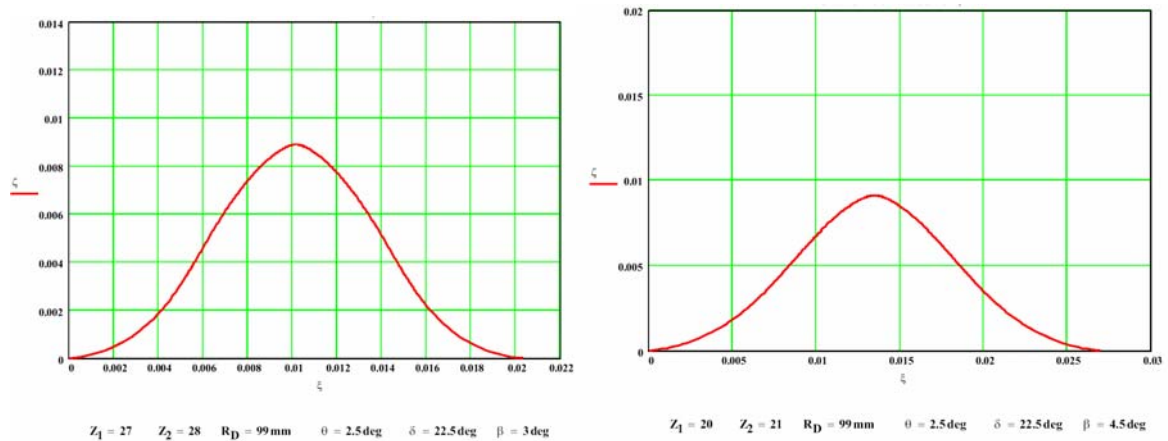


Fig. 5. Reductor precesional de putere ( $T=1480 \text{ Nm}$ ;  $i = 80$ ).

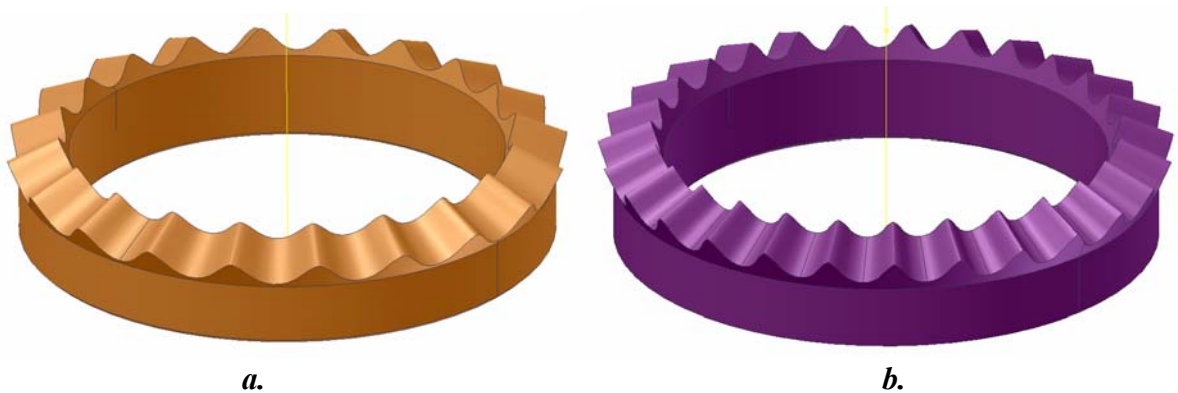
### 3.2. Elaborarea și proiectarea mecanismelor de acționare precesionale cinematice

În rezultatul analizei calculelor prelabile de realizare, a analizei parametrilor funcționali și a schemelor cinematice elaborate ale transmisiilor planetare precesionale a fost aleasă structura cinematică tip 2K-H, care include două roți dințate centrale și un bloc satelit cu două coroane danturate. În baza structurii cinematice selectate au fost elaborate, proiectate și cercetate reductoare precesionale cinematice cu roți dințate fabricate prin turnare din mase plastice și prin sinterizare din pulberi metalici.





**Fig. 3.** Profilogramele dinților roților dințate centrale: a –  $Z_1=27$ ; b –  $Z_2=20$ .



**Fig. 4.** Modelul computerizat 3D al roților dințate: a)  $Z_1=20$ ; b)  $Z_1=27$ .

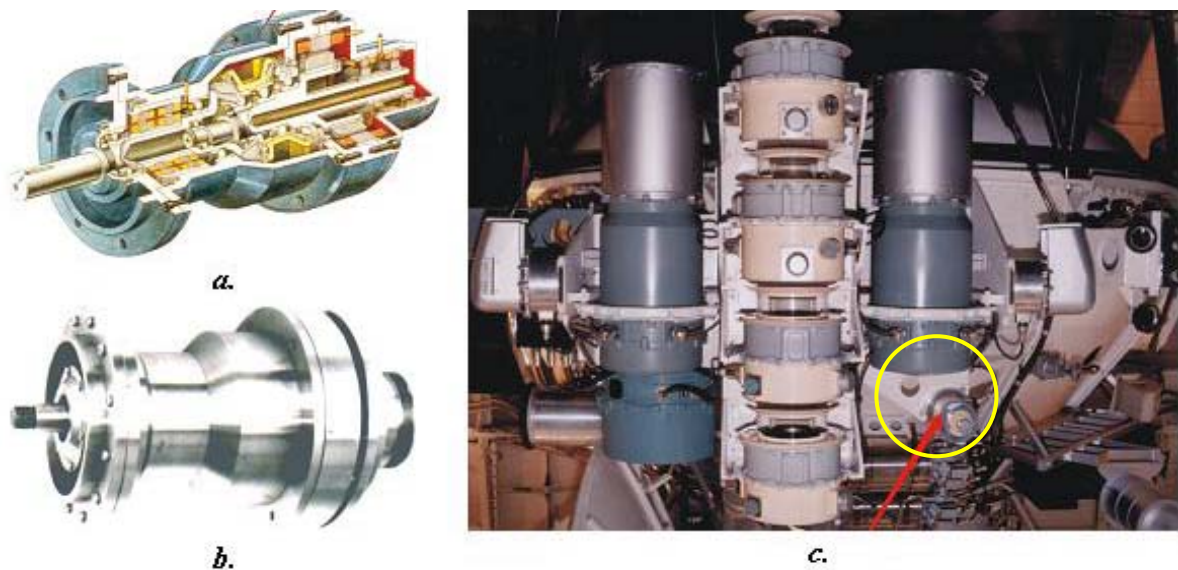
**Reductor precesional cu roți dințate din materiale plastice și pulberi metalici.** În rezultatul analizei materialelor plastice recomandate sub aspectul rezistenței și proprietăților antifricțiune pentru fabricarea roților dințate a fost aleasă masa plastică “Hostaform” produsă de Compania *Ticona*, Germania. Pentru fabricarea roților dințate a fost elaborată, proiectată și fabricată forma de turnare. În fig. 6,a,b este prezentat prototipul industrial al reductorului precesional cinematic cu raportul de transmitere  $i=-144$  destinat pentru transmiterea



**Fig. 6.** Reductor precesional cinematic (a) cu bloc satelit din masă plastică (b) și din pulberi metalici (c).

momentului de torsiune  $T=18 \text{ Nm}$ . Pentru transmiterea unor sarcini mai mari a fost elaborat, proiectat și fabricat prototipul industrial al reductorului precesional cinematic cu roți dințate executate prin sinterizare din pulberi metalici, prezentat în fig. 6,a,c. În acest scop a fost elaborată, proiectată și fabricată forma de presare. Pentru fabricarea roților dințate a fost selectată pulberea metalică SUMIRON 4100S. Pentru îmbunătățirea proprietăților antifricțiune pulberea conține adaos de lubrifianț solid  $\text{MoS}_2$ . Reductorul precesional realizează raportul de transmitere  $i = -72$  și asigură transmiterea unui moment de torsiune  $T = 56 \text{ Nm}$ .

**Modul electromecanic precesional de acționare din componența stației sovietice interplanetare VEGA 6.** În baza sarcinii rezultatelor obținute și a sarcinii tehnice formulate de întreprinderea „Cometa” din or. Moscova a fost elaborat, proiectat și fabricat modulul electromecanic precesional (fig. 7) alimentat de la baterii solare, având în componența sa



**Fig. 7.** Modulul electromecanic precesional de acționare. Stația interplanetară VEGA 6.

reductorului relativ de poziție al arborilor conducători și condaus. Caracteristici tehnice: puterea - 120 W; moment de torsiune - 95 Nm; raport de transmitere - 299; randament - 0,75; precizia cinematică - 60 sec.ungh.; nivelul puterii acustice - 60...75 dBa.

## Bibliografie

- [1] Bostan I. Prechessionnyye peredachi s mnogoparnym zachepleniem. Chișinău, Știința, 1991, 356p.
- [2] Bostan I., Dulgheru V., Țopa M., Vaculenco M. Brevet nr.1886 (MD). Angrenaj precesional și procedeu de realizare a lui. U.T.M. I.cl.: F16 H1/32. Publ.31.03.2002. Bul. nr.3.
- [3] Bostan I., Dulgheru V., Sochireanu A. Brevet nr. 2821 (MD). Transmisie planetară precesională. U.T.M. I.cl.: F 16 H 1/ 32. Publ. BOPI - 2005. – Nr.7.
- [4] Bostan I., Dulgheru V., Grigoraș Ș. Transmisii planetare, precesionale și armonice. Atlas. Editura Tehnică-București, Editura “Tehnica” UTM., 1997, 200P.
- [5] Bostan I., Dulgheru V., Sochireanu A. Brevet nr. 3058 (MD), I.cl.: B60j1/17. Mecanism de acționare. U.T.M. - Nr. 2005 – 0137. Publ. BOPI - 2006. – Nr. 5.

\*Ion Bostan, academician, Universitatea Tehnică a Moldovei, Bdul Ștefan cel Mare 168, Chișinău, Republica Moldova, 373 22 23 78 61, e-mail: bostan@adm.utm.md

\*\*Valeriu Dulgheru, prof.univ.dr.hab., Universitatea Tehnică a Moldovei, Bdul Ștefan cel Mare 168, Chișinău, Republica Moldova, 373 22 509939, e-mail: dulgheru@mail.utm.md



## COMPORTAREA LA CONTACT A UNEI PIESE INELARE DIN CAUCIUC FOLOSITĂ LA STINGĂTOARELE DE INCENDIU

- STUDIU EXPERIMENTAL -

Filip CIUTAC\*  
Emanuel DIACONESCU\*\*

**Abstract:** *The paper deals with experimental investigations upon contact behavior of rubber rings used in the structure of fire extinguishers. The tests evidence the dependence of contact strip width on both the load in a loading – unloading cycle and the time under constant load.*

### I. Introducere

Intrucât literatura de specialitate nu oferă întotdeauna date suficiente pentru verificarea rezultatelor teoretice, s-a impus efectuarea de determinări experimentale proprii. În cercetarea experimentală au fost utilizate aparate și dispozitive aflate în dotarea Laboratorului de Mecanica Contactului al *Facultății de Inginerie Mecanică* din cadrul Universității „Ștefan cel Mare” Suceava.

Lucrarea prezintă un studiu experimental privind comportarea la contact, la sollicitare statică a unui inel din cauciuc ( $D_i = 6,18 \text{ mm}$ ,  $D_e = 12,65 \text{ mm}$ ), folosit la dispozitivul de acționare de la stingătoarele de incendiu. Studiul experimental folosește inelul din cauciuc în mai multe moduri: simplu ori montat în dispozitivul metalic așa cum este folosit la stingătoarele de incendiu, cu lubrifianț sau fără lubrifianț. Se urmărește evoluția elementelor contactului liniar (lățimea ariei inelare de contact, apropierea) în funcție de forța de încărcare (F) și timp (t).

Standul experimental folosit este compus din mai multe părți componente, ce vor fi descrise în lucrare. Inițial, pentru vizualizarea ariei de contact s-a folosit un microscop de cercetare MC 6, dar pentru că deformările sunt mari, imaginea contactului este înregistrată cu ajutorul unei camere video digitale (pentru deformarea în timp) și cu ajutorul unui aparat foto digital (pentru diferite valori ale forței de încărcare). La încărcarea - descărcarea statică, s-au luat imagini pentru aria de contact la fiecare valoare a forței ( $4,81 \text{ N} - 48,16 \text{ N}$ ). Pentru studierea variației ariei de contact în timp, la aceeași valoare a forței, s-a filmat cca.  $5 \text{ min.}$  la fiecare determinare, la o forță de  $48,16 \text{ N}$  și datele au fost înregistrate în calculator sub formă de videoclip, în sistem „avi”. Cu ajutorul unui program, videoclipurile au fost transformate în

fotografii „jpg” (25 foto / s). Astfel, s-au obținut numeroase puncte experimentale ce vor fi analizate, aflându-se variația dimensiunilor ariei de contact în timp sub acțiunea unor forțe statice de încărcare - descărcare diferite.

## II. Principiul metodei

### 2.1. Standul experimental

Se urmărește evoluția elementelor contactului liniar dintre un inel din cauciuc ( $D_i = 6,18 \text{ mm}$ ,  $D_e = 12,65 \text{ mm}$ ) și o placă din sticlă, pentru diverse cicluri de încărcare sau descărcare. Placa din sticlă este suficient de groasă pentru a putea fi asimilată cu un semispațiu rigid [1]. Față de studiul teoretic, elementele contactului sunt inversate din punct de vedere al caracteristicilor mecanice, poansonul fiind deformabil iar semispațiul rigid. Evident, rigiditatea de contact este aceeași. În cazul studiat, încărcarea - descărcarea este statică. Contactul se vizualizează prin intermediul unei camere video / foto digitale.



Fig. 1: Imaginea standului experimental

*Standul experimental* este alcătuit din următoarele părți componente:

- dispozitiv pentru realizarea contactului liniar și a încărcării - descărcării statice (1);
- camera video/foto digitală cu trepied, pentru înregistrarea rezultatelor (2);
- calculator pentru prelucrarea datelor experimentale (3);
- corp de iluminat (4).

*Dispozitivul de acționare* se compune din:

- 1 – mânerul declanșator;
- 2 – orificiul de refulare a substanței de stingere;
- 3 – manometru;
- 4 – piesă de fixare;
- 5 – tijă de acționare;
- 6 – resort;
- 7 – inel de siguranță;
- 8 – tijă de acționare (demonțată);
- 9 – inel metalic de fixare superior ;

10 – inel din cauciuc (garnitură);  
11 – inel metalic de fixare inferior.

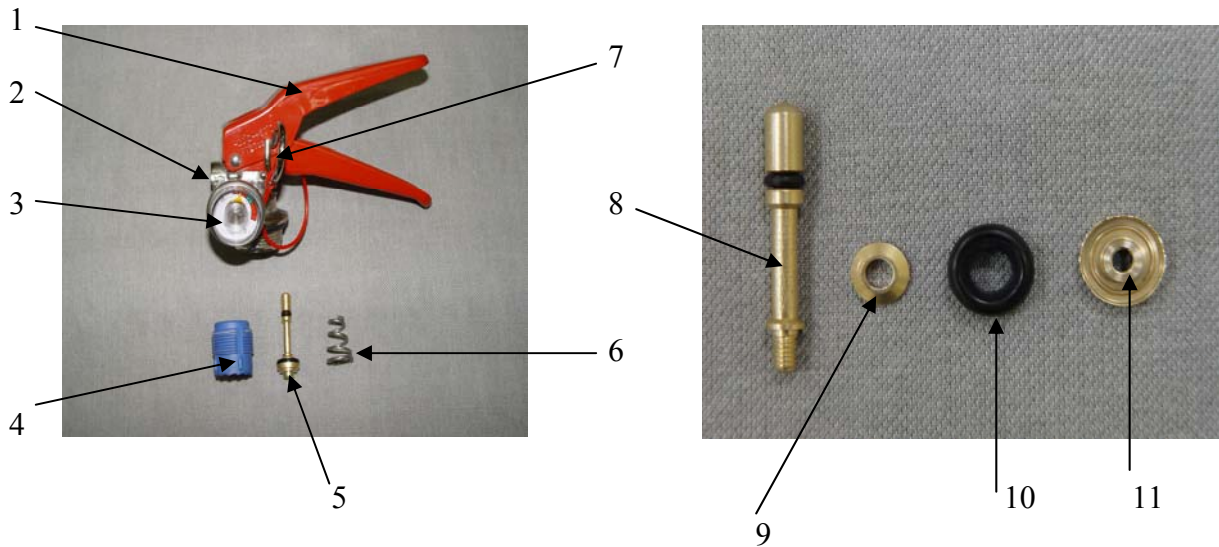


Fig. 2: Dispozitivul de acționare (părți componente)

Inițial, pentru vizualizarea contactului, s-a folosit un microscop de cercetare MC6. Deoarece deformațiile sunt foarte mari (inelul fiind din cauciuc), aria de contact nu poate fi vizualizată și s-a folosit o camera video/foto digitală.

## 2.2. Dispozitivul de realizare a contactului liniar și a încărcării - descărcării statice

Dispozitivul este fixat pe o masă deplasabilă în coordonate X-Y, așa cum se observă în figura 1, pentru poziționarea centrală a contactului în câmpul vizual al obiectivului camerei video-foto digitale [1].



(a) preluarea imaginii ariei de contact



(b) ansamblul piuliță – resort

Fig. 3: Dispozitivul pentru realizarea contactului punctual și a încărcării - descărcării statice

Semispațiul rigid este modelat printr-o placă de sticlă, de grosime comparabilă cu diametrul inelului din cauciuc. Epruveta (inelul) care realizează contactul liniar cu placa din sticlă este amplasată pe un suport metalic plat. Încărcarea statică se realizează prin intermediul unui resort, a cărui tensionare este realizată și controlată printr-un subsansamblu piuliță, contrapiuliță și șurub micrometric [2].

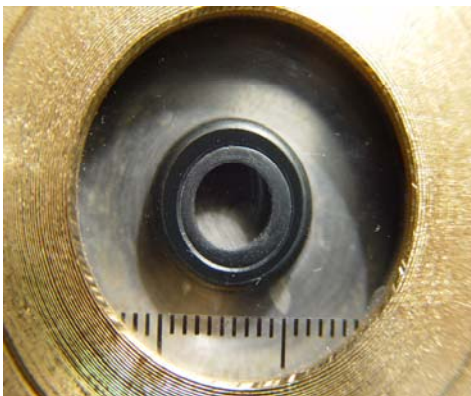
Camera video/foto digitală care preia imaginea contactului este montată pe un trepied și transmite filmul evoluției ariei de contact dintre inelul din cauciuc și placa din sticlă la un calculator, prin intermediul unui cablu de date.

Astfel, în timpul unei solicitări se pot măsura:

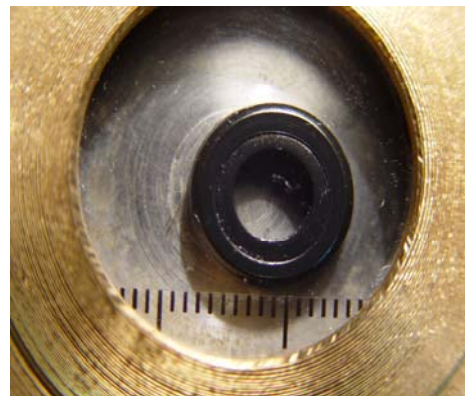
- lățimea ariei de contact, pe monitor cu ajutorul utilitarului Autocad 2006;
- forța statică de încărcare realizată prin arcul elicoidal, la piulița șurubului micrometric;
- deplasarea normală [3].

### 2.3. Aria de contact

Pentru fiecare set de determinări la care s-a folosit o anumită forță de încărcare, s-a înregistrat imaginea *ariei de contact*. S-au făcut determinări în regim static, cu sau fără lubrifianț, pentru inelul din cauciuc simplu sau montat în dispozitivul metalic așa cum este folosit la stingătoarele de incendiu.

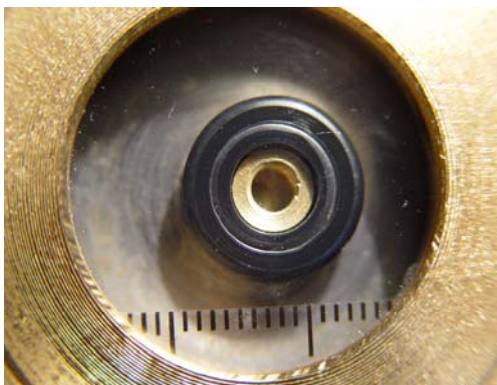


(a) fără lubrifianț



(b) cu lubrifianț

Fig. 4: Încărcare – descărcare inel din cauciuc simplu (48,16 N)



(a) fără lubrifianț



(b) cu lubrifianț

Fig. 5: Încărcare – descărcare inel din cauciuc montat în dispozitivul metalic (48,16 N)



## 2.4. Forța de încărcare – descărcare statică

Forța de încărcare este realizată mecanic, prin intermediul arcului elicoidal cilindric de compresiune. Arcul a fost etalonat și a fost stabilită caracteristica sa experimentală, care s-a dovedit a fi liniară și în concordanță cu caracteristica teoretică, arcul este poziționat și comprimat de un subsansamblu șurub – piuliță, cu pasul de 0,5 mm. Piulița este gradată și astfel, din unghiul de rotație al piuliței, rezultă deplasarea acesteia, respectiv săgeata arcului, cu care se deduce forța realizată de acesta [1].

Arcul utilizat este confecționat din sârmă cu diametrul de 3 mm, are 7 spire active și diametrul exterior de 26 mm. Caracteristica teoretică este:

$$k_{th} = 9,602 \cdot 10^3 \text{ N/m}$$

iar cea experimentală:

$$k_{exp} = 9,633 \cdot 10^3 \text{ N/m, eroarea fiind } 0,323\%.$$

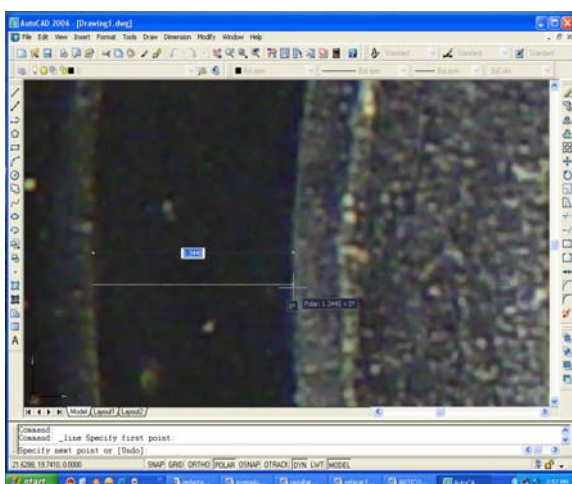
Forța se determină cu relația:

$$F = p \cdot k_{exp} \quad (1)$$

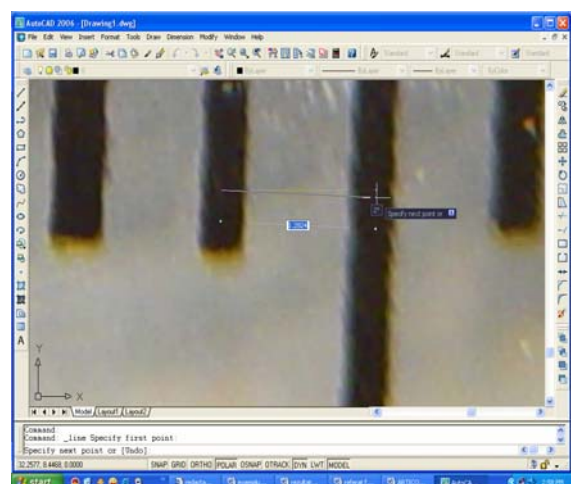
unde:  $p$  – pasul filetelui (deplasarea)

## III. Rezultate experimentale

Filmul unei determinări, fiind un videoclip de cca. 5 min., este stocat în calculator ca fișier în format „avi”, prin intermediul programului *Windows movie maker*. Cu ajutorul programului de prelucrare *Frame Shots*, fișierele „avi” sunt prelucrate în fotografii jpg (25 foto/s). Pe această imagine jpg se poate determina aria de contact cu ajutorul programului Autocad 2006.



(a) măsurarea lățimii ariei de contact



(b) măsurarea etalonului

Fig. 6: Măsurarea lățimii ariei de contact

Variația lățimii fâșiei de contact la încărcare – descărcare cvasistatică este redată în tabelul 1 și figura 7. Este evidentă prezența histerezisului mecanic. Variația aceleiași lățimi în timp, în urma aplicării sarcinii de 48,16 N este ilustrată în tabelul 2 și figura 8. Se observă tendința de stabilizare a sistemului [4].

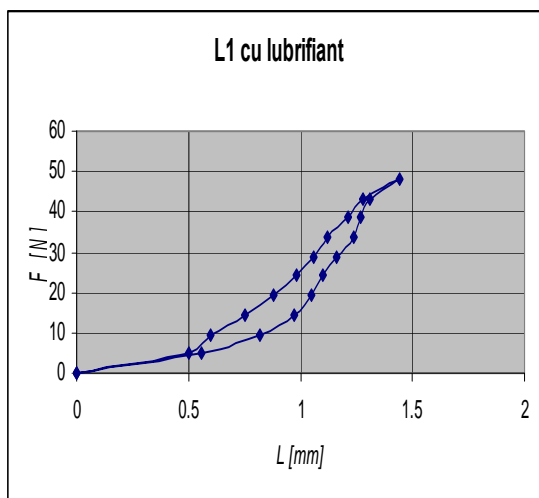
Notă:

L1 – lățimea ariei inelare pentru piesa din cauciuc fără tijă metalică;

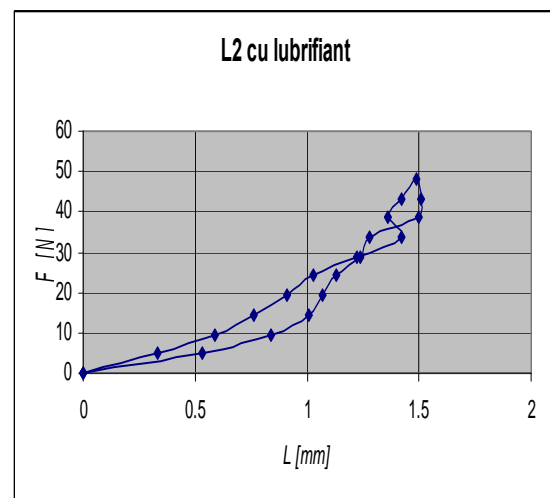
L2 – lățimea ariei inelare pentru piesa din cauciuc cu tijă metalică.

Tabelul 1: Valori experimentale obținute la încărcare – descărcare

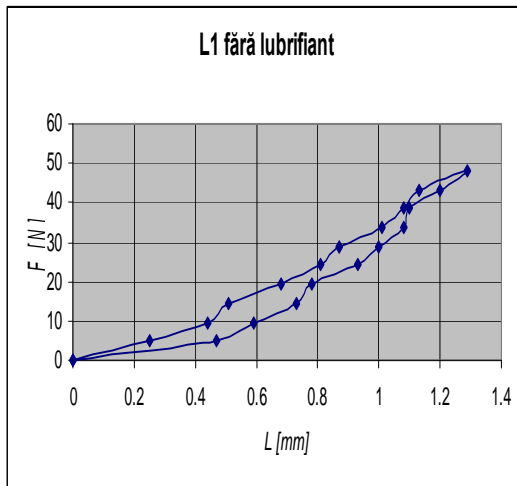
Nr. crt.	Deplasarea [mm]	Forța [N]	cu lubrifianț		fără lubrifianț	
			L1 [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]
1.	0.5	4.81	0.5	0.33	0.47	0.23
2.	1.0	9.63	0.6	0.59	0.59	0.29
3.	1.5	14.44	0.75	0.76	0.73	0.59
4.	2.0	19.26	0.88	0.91	0.78	0.79
5.	2.5	24.08	0.98	1.03	0.93	0.79
6.	3.0	28.89	1.06	1.22	1	0.85
7.	3.5	33.71	1.12	1.42	1.08	0.93
8.	4.0	38.53	1.21	1.36	1.1	1.02
9.	4.5	43.34	1.28	1.42	1.2	1.08
10.	5.0	48.16	1.44	1.49	1.29	1.12
11.	4.5	43.34	1.31	1.51	1.13	1.05
12.	4.0	38.53	1.27	1.5	1.08	1.05
13.	3.5	33.71	1.24	1.28	1.01	0.96
14.	3.0	28.89	1.16	1.24	0.87	0.92
15.	2.5	24.08	1.1	1.13	0.81	0.88
16.	2.0	19.26	1.05	1.07	0.68	0.8
17.	1.5	14.44	0.97	1.01	0.51	0.7
18.	1.0	9.63	0.82	0.84	0.44	0.55
19.	0.5	4.81	0.56	0.53	0.25	0.21



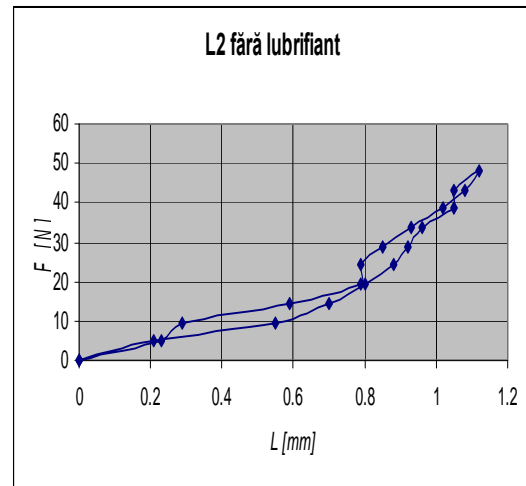
(a)



(b)



(c)

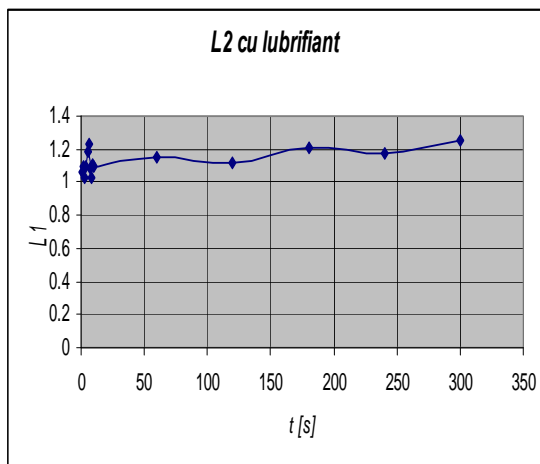


(d)

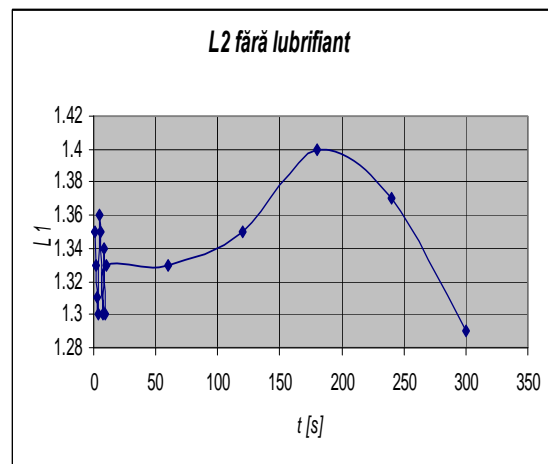
Fig. 7

Tabelul 2 : Valori experimentale obținute la variația în timpa ariei de contact ( $F = cst.$ )

Nr. crt.	Timpul [s]	Forța [N]	cu lubrifiant		fără lubrifiant	
			L1 [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]
1.	1	48.16	1.25	1.06	1.24	1.35
2.	2		1.38	1.09	1.35	1.33
3.	3		1.37	1.03	1.34	1.31
4.	4		1.29	1.09	1.3	1.3
5.	5		1.22	1.19	1.32	1.36
6.	6		1.28	1.23	1.36	1.35
7.	7		1.29	1.08	1.34	1.3
8.	8		1.26	1.03	1.41	1.34
9.	9		1.31	1.11	1.37	1.3
10.	10		1.29	1.1	1.3	1.33
11.	60		1.32	1.15	1.3	1.33
12.	120		1.25	1.12	1.33	1.35
13.	180		1.33	1.21	1.35	1.4
14.	240		1.27	1.17	1.3	1.37
15.	300		1.27	1.25	1.29	1.29



(a)



(b)



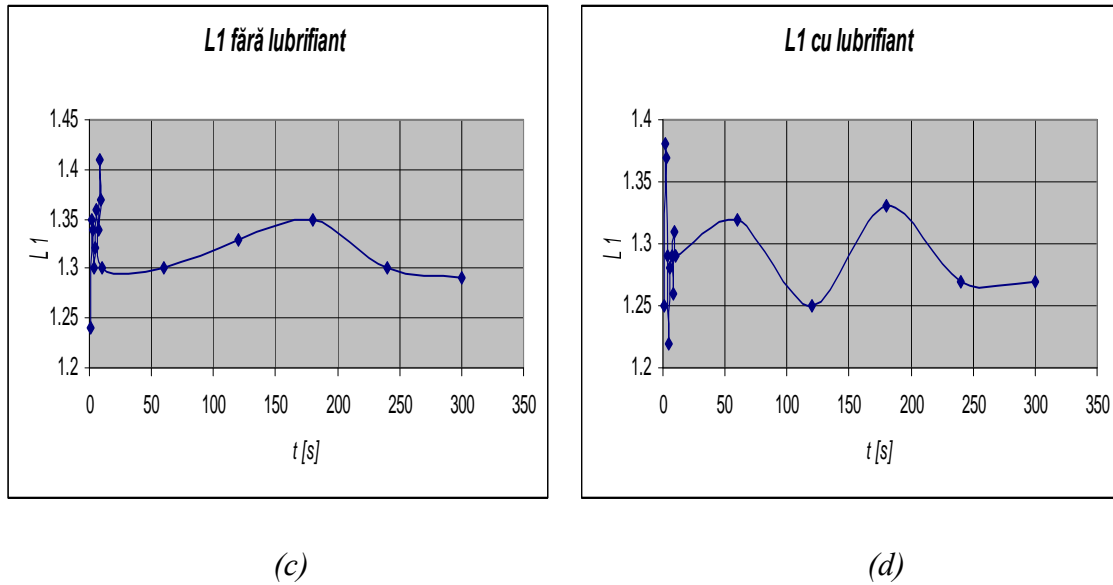


Fig. 8

#### IV. Concluzii

- În vederea aprecierii comportării garniturilor inelare din cauciuc la contact, s-au efectuat încercări experimentale noi. Acestea vizează atât variația lățimii fâșiei de contact la un ciclu de încărcare – descărcare cât și evoluția acesteia în timp sub sarcină constantă.
- Încercările de încărcare – descărcare evidențiază prezența histerezisului mecanic.
- Încercările sub sarcină constantă arată tendința sistemului de a se stabiliza printr-o serie de oscilații în jurul valorii finale.
- Sunt necesare noi încercări și investigații teoretice pentru înțelegerea deplină a fenomenului.

#### V. Bibliografie

- [1] Ciornei, F.C., “Research upon Dynamic, Hertz – like Circular Contacts in Linear Viscoelastic Domain”, in Romanian, Ph.D.Thesis, University of Suceava, (2004).
- [2] Greenwood, J. A., and Jhonson, K. L., “The mechanism of adhesion of viscoelastic solids”, Phil. Mag. Of Roy. Soc. Lond., A43, 697 – 711, (1981).
- [3] Jhonson, K. L., “Contact mechanics”, Cambridge University Press, (1985).
- [4] Ciutac, F., Diaconescu E., and Pintilie D., “Experimental investigations of contact radius between a rubber ball and a flat”, 10 th International Conference on Tribologie, ROTRIB 07, November 8 – 10, 2007, pp. RO-047-1 - RO-047-4.

\* Cpt. Drd. Ing., Inspectoratul pentru Situații de Urgență „Bucovina” al județului Suceava, ROMÂNIA

\*\* Prof. Univ. Dr. Ing., Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, ROMÂNIA

# ÎMBUNĂTĂȚIREA RANDAMENTULUI APLICĂRII EFECTULUI COANDĂ LA ELICOPTERE

Cîrciu Ionică\*

Abstract :

*The NOTAR system operates by forcing moving air out of slots located on the tail boom. The interaction of this air flow with the downwash of the main rotor is such that it creates a force that opposes the torque of the main rotor.*

## 1.INTRODUCERE:

Conform principiului acțiunii și reacțiunii , rotorul portant, aflat în mișcare pentru crearea forței portante , creează un moment caracterizat prin cuplul reactiv care tinde să rotească elicopterul în sens invers de rotație a palelor.

Dacă acest cuplu nu se echilibrează, respectiv anulează elicopterul nu ar putea zbura. Sistemul NOTAR(abreviere de la NO Tail Rotor- fără rotor anticuplu) de anulare a cuplului reactive al rotorului portant al elicopterelor monorotoare se bazează pe aplicarea efectului Coandă [1].

Lucrarea de față își propune să scoată în evidență unele aspecte teoretice și practice care aplicate la grinda de coadă pot duce la obținerea unor caracteristici de zbor superioare, față de elicopterele clasice și cele cu jet existente.

## 2.Principiul metodei:

Sistemul NOTAR(fig.1) constă în utilizarea unui ventilator cu pas reglabil, antrenat de cutia de transmisie principală , o grindă de coadă cu circulație controlată, un dispozitiv rotativ de evacuare și stabilizator vertical.

Ventilatorul trimite un debit de aer de joasă presiune în interiorul grinzii de coadă, care este de formă cilindrică prevăzută cu fante longitudinale, dispuse în partea dreapta jos.

Aerul pompat prin grinda de coadă iese prin fante formând două jeturi care împreună cu curentul de aer indus de rotorul portant realizează un strat limită, care îmbracă grinda de coadă, creând în partea dreaptă o zonă de depresiune.

Avantajul acestui sistem constă în faptul că forța anticuplu este direct proporțională cu portanța rotorului principal, sistemul este cu autocompensare care rezultă din faptul că atunci când rotorul produce un moment mai mare rezultă un curent descendent mai puternic având ca rezultat amplificarea forței anticuplu.

Acest circuit poartă denumirea de circulație controlată și furnizează cea mai mare parte a forței anticuplu necesară la punct fix [2].

Pentru comanda direcției este prevăzut un dispozitiv rotativ de evacuare , care este controlat cu pedalele palonierului.

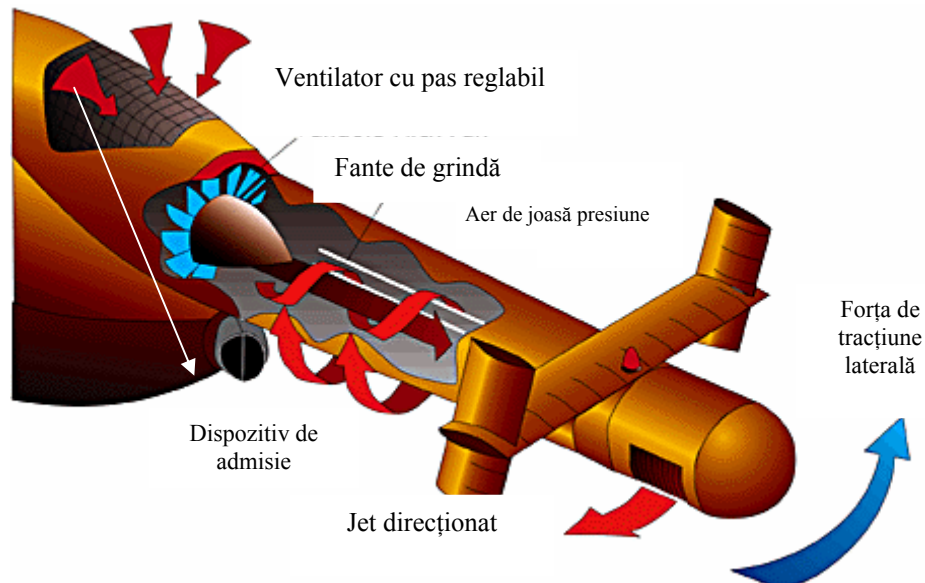


fig.1 Sistemul notar

### 3. CONSIDERAȚII PRACTICE ȘI TEORETICE:

Noile materiale, în special a fibrei de carbon, au adus un aport considerabil atât asupra scăderii greutatei grinzii de coadă cât și obținerea unei foarte bune curgeri laminare în interior, prin eliminarea întăriturilor cum ar fi cadrele și lisele ce în cazul structurii semicocă micșorau randamentul NOTAR [3].

Apariția de materiale compozite, care a permis realizarea unei grinzii de coadă cu lungimii cuprinse între 3 și 4 m, și un diametru de 0,6 m, complet tubulară au implicat o reducere a greutatei elicopterului și mărirea raportului greutate tracțiune rezultând un randament superior.

Inițial s-au aplicat două fante longitudinale cu deschizătura de 1mm (vezi McDonnell Douglas), am propus mărirea lungimii grinzii cu 10% și aplicarea a două fante dispuse simetric cu lungimea mai scurtă și mai aproape de vârful cozii decât modelele existente și deasemenea am propus o grindă sub formă tubulară din fibră de carbon.

Schimbarea punctului de aplicație al brațului forței duce la obținerea unui moment de reacție negativă în modul ca valoare mai mare și reducerea greutatei permite obținerea unui raport tracțiune greutate superior.

Aplicarea eficientă a poziției fantelor permit o realizare a profilului Coandă și ca urmare obținerea forței de reacție mărită ca valoare în modul, fapt ce permite stabilitate atât la zborul de înaintare cât și la zborul la punct fix. Calculele și considerentele sau efectuate în conformitate cu legea similitudinii.

În calculele de mai jos am considerat caracteristicile la grinda de coadă pentru un elicopter clasic Dauphin, un elicopter cu jet MD520N, respective grinda propusă.

### 4. CALCULE ȘI REZULTATE

Pentru obținerea rezultatelor și ridicarea graficelor se vor folosi următoarele formule în care se vor calcula specific fiecărei aeronave în parte elicopter clasic Dauphin ( $M_1, P_1, C_1, s_1, \sigma_1, \Delta_1$ ), un elicopter cu jet MD520N ( $M_2, P_2, C_2, s_2, \sigma_2, \Delta_2$ ), respective

grinda propusă de mine aplicată la MD520N ( $M_3, P_3, C_3, s_2, \sigma_2, \Delta_3$ ), cu notațiile consacrate [4]:

Masa totală a aeronavei se calculează cu formula:

$$M_1 = M_{GE} + M_{CAR} + SU \quad (1)$$

unde  $M_{GE}$  - masa goala a elicopterului,

$M_{CAR}$  - masa carburantului,

SU - masa echipajului

$$M_2 = M_{GE} + M_{CAR} + SU - M_{PR} - M_{BR} - M_{TR} - M_{gc} + M_V \quad (2)$$

unde  $M_{PR}$  - masa palelor rotorului anticuplu,

$M_{BR} - M_{TR}$  - masele butucului respective transmisiei rotorului anticuplu,

$M_{gc}$  - masa grinzii de coada,

$M_V$  - masa ventilatorului.

$$M_3 = M_{GE} + M_{CAR} + SU - M_{PR} - M_{BR} - M_{TR} - M^*_{gc} + M^*_V \quad (3)$$

Pentru elicopterul Dauphin, MD520N se dau:

Suprafața discului  $A_1 = 103,87 \text{ m}^2$ ,  $A_2 = 100,1 \text{ m}^2$

Încărcarea discului  $m_1/A_1 = 2900/103,87 = 27,91 \text{ Kg/m}^2$ ,  $m_2/A_2 = 26,2 \text{ Kg/m}^2$

Suprafața palelor  $s_1 = 2,012 \cdot 4 = 8,048 \text{ m}^2$ ,  $s_2 = 7,91 \text{ m}^2$ .

Soliditatea discului  $\sigma_1 = s_1/A_1 = 0,0774$ ,  $\sigma_2 = 0,067$ .

$\Delta_1 = M_1 - M_2 = 150 \text{ Kg}$

$\Delta_2 = M_1 - M_3 = 158 \text{ Kg}$

$\Delta_3 = M_2 - M_3 = 8 \text{ Kg}$

Calculul puterii disponibile

$$P_{\text{disp}} = \min(P_{\text{disp.mot}}, P_{\text{ctp}}) \quad (4)$$

Ținând cont de variația puterii cu înălțimea și altitudinea, considerăm:

$$P_{\text{disp}} = P_{\text{ins}} (p/p_0) [1 - a(T - T_0)] \quad (5)$$

$$P_{\text{ins}} = N_{\text{mot}} P_{\text{md}} \quad (6)$$

Modelarea consumului de combustibil:

$$C_x p_{\text{md}} = K^* (P_{\text{md}}/1000)^\alpha \quad (7)$$

Puterea s-a evaluat cu formula:

$$P_1 = 1,1(1/\eta \bullet P^2 + 1/8 A \sigma C_1 p m U^3 + 1/2 \sigma A c_x V^3) \quad (8)$$

$$P_2 = 1,1(1/\eta \bullet P^2 + 1/12 A \sigma C_2 p m U^3 + 1/4 \sigma A c_x V^3) \quad (9)$$

$$P_3 = 1,1(1/\eta \bullet P^2 + 1/12 A \sigma C_3 p m U^3 + 1/4 \sigma A c_x V^3) \quad (10)$$

**P1, P2, P3** puterea dezvoltată pentru tracțiune pentru cele trei cazuri: elicopter clasic Dauphin, un elicopter cu jet MD520N, MD520N cu grinda propusă (fig.1).

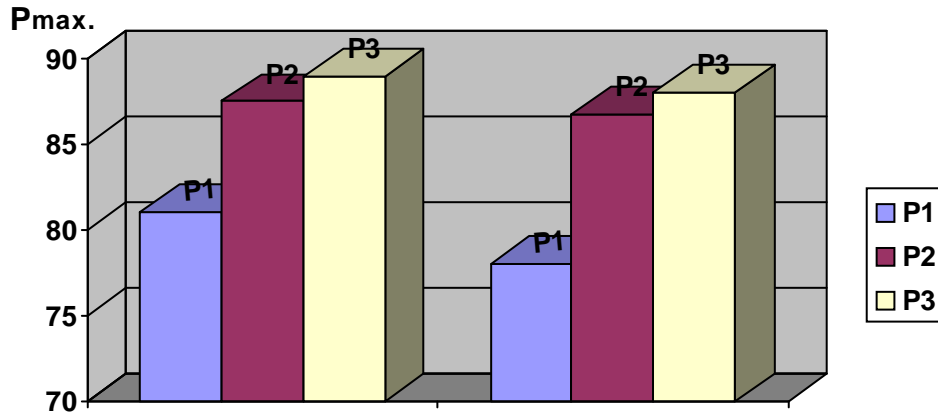


fig1. Diagrama puterii în cele trei cazuri

Consumul de carburant mediu  $C_1, C_2, C_3$ , calculat în cele trei cazuri descrise mai sus (fig.2).

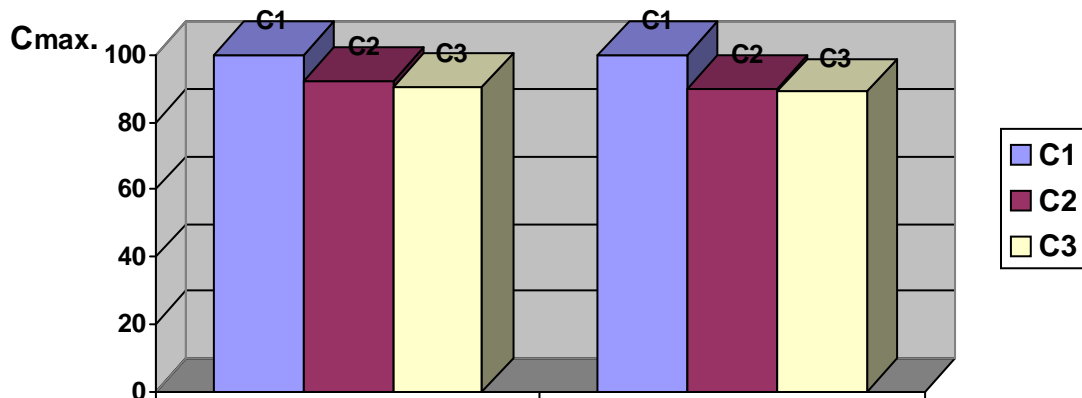


fig.2 Diagrama consumului de carburant

### CONCLUZII:

Dezavantajele sistemului cu rotor de coadă sunt :

- utilizarea unei puteri motoare mai mare ce duce la creșterea consumului de combustibil,
- o transmisie complicată ce are resursă limitată,
- o greutate crescută a grinzii de coadă ce reduce forța de tracțiune crescând consumul și micșorând viteza elicopterului,
- reducerea zgomotelor (factor poluant),
- creșterea siguranței eliminând practicele accidente datorate rotorului anticuplu.

Avantajele sistemului cu circulație controlată derivă din aplicarea optimă a poziției fantelor - rezultând modulul vectorului forței reactive mărit, scăderea greutății grinzii de coadă și implicit al elicopterului, fapt ce duce la creșterea forței de tracțiune respectiv scăderea consumului mediu, fapt ilustrat și în diagramele de mai sus.

Față de variantele existente, propunerea de mai sus duce la reducerea greutății prin utilizarea fibrei de carbon și prin aplicarea optimă a fantelor Coandă la creșterea randamentului sistemului NOTAR.

**BIBLIOGRAFIE:**

- 1.Revista TOP GUN nr.6din1999
- 2.Revista TOP GUN nr.1 din 2000
- 3.Mecanica clasică , Dumitru Luca IAȘI, 2007
- 4.Teoria, performanțele și construcția elicopterelor, Adrian Postelnicu, Cluj - Napoca, 2001
- 5.Proiectarea structurilor de aeronave, Augustin Petre, București, 1999.

---

\* Cîrciu Ionică, instructor șef- Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă”Brașov, str.Mihai Viteazu nr.160, tel.423421, e-mail:circiuionica@yahoo.co.uk



## PRELIMINARIES CONCERNING COMPUTER'S USAGE WITHIN FOUNDRIES

Ion Chira\*

Ruxandra Ionica\*\*

Ruxandra Nemes\*\*\*

Bogdan Constantin Teodorescu\*\*\*\*

### **Abstract:**

*Within an informatics based society, data traffic globalisation gives a multinodal system that covers the whole industrial activity, including the foundry type economic agents. Computer stands for the basic part of a data administration system; metallurgist engineers must become efficient users of the computer informatic system and relearn to design and manage technological processes with these dedicated applications.*

## I. OPPORTUNITIES IN COMPUTER'S USAGE

### 1.1 The informational system

Computers are everywhere, likely connected to each other and thus, forming computer networks. All this because we more and more realize that the PC facilitates our work. But one must emphasize that a computer is, in fact, a „machine” that processes a series of *data* that we supply to it. Data are the key element in this entire chain. In fact, practice introduces, among other things, two concepts connected to it, namely the *informational* and informatics systems.

### 1.2 The informatic system

The set of elements involved in this entire process of data processing and transmission electronically form an **informatic system**. Within an informatic system, there can be: computers, data transmission systems, other hardware components, a software, processed data, the staff that exploits the calculation technique, theories that support the processing algorithms, etc.

The informatic system cover the most various fields; according to expertise, they are:

- Specialized systems, designed to solve a certain type of issue from a certain field;

- General usage systems, which help solving a large range of problems from several fields;
- Local systems, programmes necessary to process data when data are on one calculation system;
- Network systems, the system works within a computer network, in which case, data and programmes can be distributed to several workstations that are part of that network.

Depending on data localization and the processing place, there are different informatic systems:

1. With centralized data, data are on one calculation system only;
2. With distributed data, data are distributed on several computers within the network;
3. With centralized processing, data processing is being done on one workstation only, regardless of the number of stations that host data to process;
4. With distributed processing, several computers process data come from one or more computers of the network.

After the hierarchical level of informatical systems in the society's organizational structure, there are:

- Informatic systems for activities management within economic units;
- Organisation system with group structure;
- Territorial informatic systems;
- Branch, subbranch and national economic systems;
- General use systems.

## II. DATA BASES MANAGEMENT SYSTEMS (SGBD)

An „application” (an achievable programme) is a programme system designed to perform a well determined set of operations on data bases; the application consists of:

1. the very programmes (main programme, coordinator, menu programmes, screens, interrogations, indexes, actualisations, reports);
2. data bases.

*Application's* performance takes place at two levels:

- *Interpretative* – when a programme called „interpreter” takes each enunciation of application, translates it into an internal code and performs error analysis, executes it, then passes to the next enunciation;
- *Compilative* – when the whole application is being translated by the compiler programme into an intermediate code, memorised on the disk, called object code, submitted to supplementary processing by the connection editor in order to get the final achievable form of the application. The performing is done under the operation system's control.

*Achievement of a data base* implies: analysis of the system for which data bases are being built; designing the base structure; loading data into database; data base exploitation maintenance.

*Effective achievement of an application* implies: assign task, task analysis, application design; application coding, modulus testing, implementation of application, application maintenance.

1. *Assign task*. Task is assigned by the application beneficiary, in accordance with the activities that are about to be modeled.

2. *Task analysis*. This operation implies identification of data types, connections between them, necessary operations for their management. Task analysis ends with the assignment of four „data multitudes”, whose rigour and exactitude influence the veracity of

application's results: description of input data; description of data stored in the database; list of performed processings on data; description of reports data.

3. *Application design.* At this stage, we achieve data and programmes structure design. Designing programme structure implies detailing the modulus necessary to application achievement: modulus for folders creation, data implementation, processing and result abstraction, error correction etc. These modulus are controled and coordinated by the main programme, that has the following structure: main programme; global picture declaration; global variables initialization; environment state saving (general initialization).

4. *Application coding.* If at the precedent level called „initial designing of application” the detailing level has a „pseudocode” type, at this stage application is written in a specialized language, respecting the rule imposed by that one.

5. *Modulus testing.* At this stage, modulus are being checked, possible errors are detected and corrected, extreme cases analysis is being performed, tests are being designed.

6. *Application's implementation.* We build the final form of application by gradual integration of tested functional modulus.

7. *Application maintenance.* We must remove the errors pointed out by the user during the warranty period, modernise and upgrade the application.

*Database users can be:*

- *Non specialist users* (conversational) that are offered a form of communication with database, close to current speech;
- *Specialist users* who know the structure of database;
- *Database administrator* is a special user, who defines database exploitation's objectives, shares users access rights, elaborates database design conception, is in charge of all the activities and operations referring to database, helps defining users' demands etc.

*Databases languages.* Within „*Databases Management Systems*” (SGBD), data declaration and and manipulation functions are being done with different languages:

a. *Data defining languages (LDD).* LDD functions are: performs entities and their attributes definition by names, memorising form, length, specifies the connections between data and access strategies to them, assigns confidential different criteria, defines used data automatic validation criteria.

b. *Languages for data manipulation (LMD).* Operations performed on databases require a specialized language, where commands are expressed in sentences that describe actions upon the base. A command has the following structure:

- *operation*, that can be an arithmetical or logical calculation, editation, extraction, opening-closing, manipulation (introduction, add, delete etc.);
- *selection criteria* (for, while, where etc.);
- *access mode* (secquential, indexed etc.);
- *edit form*;

c. *Data control languages (LCD).* A database control implies: assuring data confidentiality and integrity; data saving in case of damage; getting performance; solving competition problems;

d. *Universal languages.* An universal language is rarely used to manage a database.

*The interface between user and SGBD* is achieved in two ways:

- Using a calling mechanism inserted in the application programme. This mechanism can be a CALL or another key word. A system that allows this type of mechanism is called a *SGBD wih a host language*;

- Using a special command, used independently. În this case, the managing syystem is called *autonomous SGBD*. Still, there is a special interface, which is capable to interpret the commands of the sollicitation language.

### III. USING THE COMPUTER FOR DESIGN AND RESEARCH- DEVELOPMENT TYPICAL USAGE DOMAINS

Within the general context of optimizing the functioning of the industrial systems, the computer is used to: 1. – the so called designing; 2. – achievement of some data bases; 3. – shaping the technological processes; 4. – leading the processes towards working places; 5. – achievement of Expert Systems = SE.

The first stage of the fabrication – conception/designing, must anticipate the technico-technological evolution frame and be at a time level with  $\langle + 2-4 \text{ units} \rangle$ , in an execution report.

Accordingly, the usage of computer and some programmes is implemented and  $\langle \text{authenticated} \rangle$  during the designing process; implicitly, designing was the first  $\langle \text{step} \rangle$  even in the case of number command units, and the performing processor was subsequently implemented.

At international level, there have already been established a series of principles of the fundamental discipline, the theoretical base, including already known terms elements.

Our country confronts itself with the same dilemma as in other domains (longlasting development – ecology, globalization, natural resources limitation, energetical alternatives etc.):  $\langle \text{taking the same steps, including the failures already known} \rangle$  or  $\langle \text{selection of the essential points and framing at optimal levels only} \rangle$ ; choosing the variant is conditioned by the difference of the total costs. In this regard, we may think about the  $\langle \text{mechanization-automatization} \rangle$  stages or integration by  $\langle \text{robotization} \rangle$ .

We must give a series of explanations as far as terminology is concerned.

The designing working technique, in connection to computer's usage, through the appliance of some appropriate programmes and equipments, is defined as *CAD = Computer Aided Design*. The concatenation of the designing programmes with data processing systems, in the engineering science, is generically called *CAE = Computer Aided Engineering*. The integration of an enterprise into a complex and complete system of data monitoring, processing and administration is called *CIM = Computer Integrated Manufacturing*.

The *CAD* applications, with the designing assistance programmes systems are the most famous and are mainly made up of the scheme domains from Figure 1, as it follows:

1. a communication domain organizes data input and output to and from the designing department;
2. a method domain contains the working modulus corresponding to shaping, informing and calculation;
3. a data administration and management field, namely an integrating system of the data bank organizes all the data transfers and stockings between the method algorithms and communication domain on the one hand, and the data banks networks or specialized or standard individual folders, on the other hand;
4. the designing data base contains all the stocked geometrical and nongeometrical data, which are necessary both to the designing methods and to the communication between the projecting operator and the *CAD* system.

A fundamental characteristic of the *CAD* systems is made up of the *RID concept = Geometrical Objects Internal Representation*. This system is built on a *real object*; through the abstract process, one can get a *mental virtual object*, from which one can get an informational object, through formalization and multiple filtrations in fundamental specific languages. By a series of transformations and transposings based on the binary code, one can constitute an *internal model* in the computer's memory = *RIM* (see. Fig. 2).

In Figure 3, we give the very simple scheme of the tridimensional representation means essence of *objects – technical bench-marks* and of biunivocal transformations from an

informational model (with discrete sizes, quantizable in volumes, surfaces, contours and/or points) to an *internal model of the computer, RIM type*.

An object representation can be achieved through a volume, surface or line model (the so called *the edges models or the wire models*).

The volume model (spatial) can be recomposed in a way oriented towards *bodies* or *surfaces*. For calculations and analytical integrations one needs the internal generation of a *tridimensional body*, therefore, the construction of a spatial model oriented towards bodies. Having a surface model, one is able to sufficiently describe volumes for constant thickness pieces only (e.g. tin pieces) or for rotation symmetry pieces.

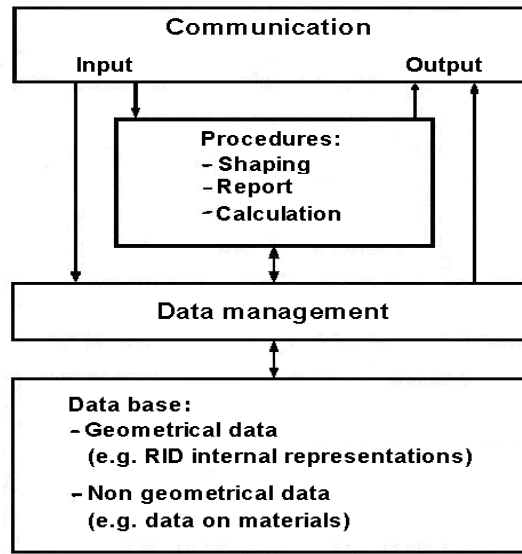


Fig. 1 General structure of the CAD programme systems.

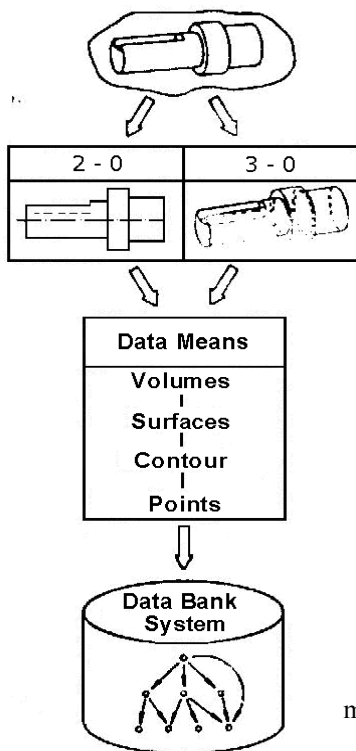


Fig.2. Abstractization models of technic objects.

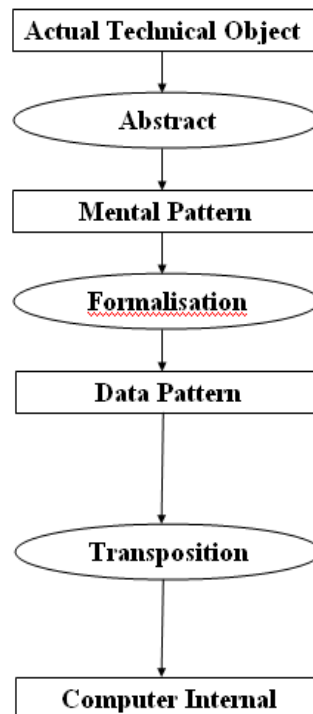


Fig.3. RIM principle general scheme of geometrical objects internal representation performing, in the computer's memory.

Plane and rotation symetru pieces can be clearly described only by the bidimensional representations = < D Models>, surfaces or lines. These models are appropriate not only for the internal representation of *views* and *sections*; for the normal-classic drawings execution, this patterns is sufficient (v. fig. 4).

From < 2D Views >, hand designed, scanned and introduced into the computer, through reconstruction automatic techniques – < 3D Models > are automatically generated.

The macros technique is based on the usage of the already existant geometrical models, namely stocked for simple pieces, classic sets, fundamental structures; from case to case, these *patterns = standard solutions* are submitted to adaptations, adjusting, redimensioning. It is very productive to import from the data bases *stocked-archived representations = finished elements*, pieces and standardized-tipified solutions by usual devices and cars organs.

În the CAD field, a package of programmes can contain a large series of individual programmes and programme systems:

1. *Configuration programmes*, that can integrally perform a geometrical representation, calculation and preprocessing of the designing data, in an interractive form; in a special way, there must be possible a shaping of the tridimensional geometry of the computer's internal model, on the basis of which rapid, accurate and exact regrant of classic projections of the usual technicalal drawing should be possible.

2. *Programmes specialized in data organization* (the fundamental principles of solving standardized pieces, materials, cost data, rate-setting times values, data connected to specific consummation); such data banks systems are easy to use with searching dialogue interractive facility programmes;

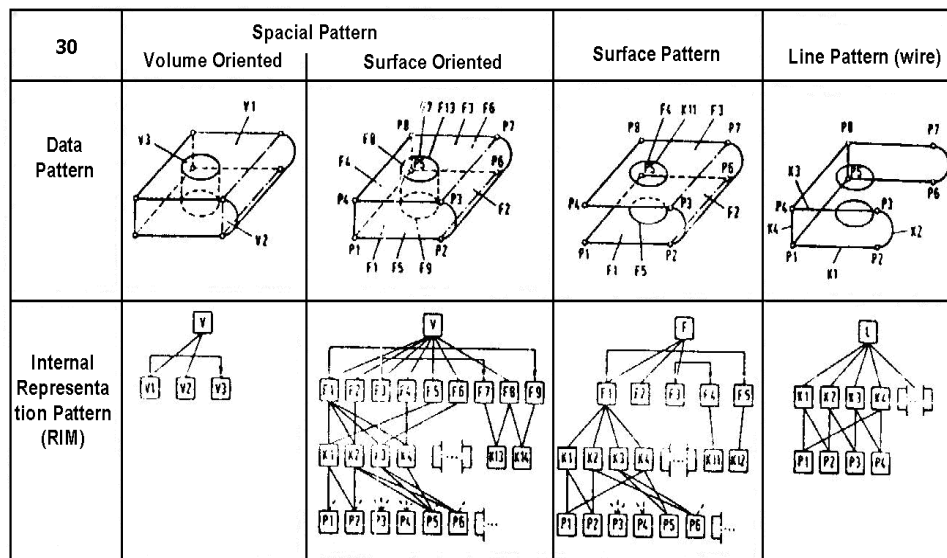


Fig. 4 Types of models for 3D objects, within the informational field.

3. *Specialized-dedicated calculation programmes* (resistance, thermic, checking, interpretation, optimization, simulation, graphic representation or those to prove dependance of a certain size on a certain parameter, such as time, temperature, etc.);

4. *Drawing performing programmes* (generally, the systems for the bidimensional representations are sufficient);

5. *Synthesis programmes* (performing the documentation for the tipodimensional series designs, modular or adaptation constructions; these systems are mainly based on the



combination of some modulus or blocks as benchmarks or sets, achieved under variation or modification of some parameters from the initial base).

Alongside with the pure drawing representations, the concatenation of the calculation stages with the geometrical effects communication is very important to designs and designer's conception activity optimization; in this regard we must mention only the Finished Element Method = *FEM*, a subject we'll talk about later.

#### IV. CONDUCTING THE TECHNOLOGICAL PROCESSES

At the level achieved by the most competent units of scientific and technological research, without needing the respective scientists' physical participation to the problems effective solution, expert cognition availability stands for the central objective of the artificial intelligence applications, known in the world computer's field as *Expert Systems = SEs*.

In the most general acceptance, SEs stand for a complex informatic programme that emulates a human expert reasoning upon a process or it is even capable to act, with the specific informatic-cybernetic means, just like this one.

In principle, SE have been developed under the following form:

- *specialized SEs*, that deal with a specific issue;
- *domain independent SEs*.

The latest informatized option in the technologically leading processes field – independent SEs have the advantage that they can solve any kind of problem and can work alone, if given enough *input data*; this system can learn alone from its own performing experience, it selfcorrects, it selfprogrammes, evaluates. It has a training session during which it can learn to take decisions based on experience; after it practiced long enough, we can allow it to take real decisions, using *reasoning* (the *expert* specific function). While learning, the system gets more rapidly to *the desired (real)exit (conclusion)*.

It is possible that, at a first performing, the system should take a wrong decision; the user communicates to the system that the decision was wrong, so that the second time – the SE system should reach the real conclusion. If the SE still does not give the right solution, the user furnishes it and the SE will emit, after a series of integration and selfprogramming sessions, correct *reasonings (judgements)*.

Using the *process computers* facilitates control, fixing and leading actions. The leading *activity*, conceived as the *optimal leading*, can be achieved by: 1. – microcomputer automatic system solution; 2. – like a SE.

The fundamental criteria that lie at the basis of SE development are:

- *Necessity* (satisfy industrial or technological requirement);
- *Capacity* (development according to industrial capacity to cover with resources requirements determined on the basis of the necessity criterium);
- *Flexibility* (elimination of factors that prevent industry from quick adaptation to requirements and resources unpredictable modifications, determining the transition parameters from one state to another);
- *Maintenance* (the necessity to maintain the industrial production level correlative to scientific and technical development).

In the SE case, we get an upper stage of computer leading, with the microcomputer.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Chira I. ş.a. – Methodological and bibliographical rule for yearly projects in the „Shaping Theory”. Litografia I.P.B.Publishing House Bucharest, 1989.



2. Chira I. ș.a. – Specific representations in metallurgical processing technologies. E.D.P. Publishing House, Bucharest, 1980.
3. Chira I – Elaboration, Drawing up and Presentation elements of university writings (S.T.E. or yearly projects, diploma and B.A. works, essays, personal essays and doctorate preparing essays). Newa Publishing House Bucharest, 1999, ISBN 973-9035-07-8.
4. Chira I. – Standard making in poured pieces' field. In: „Metallurgy”, 50, No. 6, 1998, p. 72-78, ISSN 0461–9579.
5. Chira I. – Writing and printing of research works (magazine items, research writings, brochures and books). Miracol Publishing House Bucharest, 1999, ISBN 973-9315-22-4.

---

\* Chira, Ion, Professor Ph.D eng., Departament of Cast Metals, POLITEHNICA University of Bucharest, Romania, e-mail: iondanchira@gmail.com

\*\* Ionica, Ruxandra, Cpt. Drd. Mat., Serviciul de Telecomunicatii Speciale, e-mail: ruxandraionica@yahoo.com

\*\*\* (Nemes) Beca, Ruxandra, Drd. Eng., Inspectoratul General al Jandarmeriei Romane, e-mail: ruxa\_angel@yahoo.com

\*\*\*\* Teodorescu, Constantin Bogdan, Drd. Ec., ING WholesaleBanking Bucharest, e-mail: bogdanteo@pcnet.ro

## SOFTS DEDICATED TO FOUNDRY TECHNOLOGIES

Ion Chira\*

Ruxandra Ionica\*\*

Ruxandra Beca (Nemes)\*\*\*

Bogdan Constantin Teodorescu\*\*\*\*

### *Abstract:*

*The present work stands for a brief synthesis of the last ten years accomplishments in the field of softs dedicated to foundry technologies. This view of the main applications that inforced themselves in the technological practice from abroad and, partially from Romania, should frame the computer work informatic future tendencies, technological designing in the CAD/CAE-CAM/CIM systems, the general levels and standards against which we must lead the structure of the metallurgic national department, organization of the foundries and their management, towards maximum efficiency and optimal interconnection to the European circuit.*

## I. OPPORTUNITIES OF COMPUTER FOUNDRY TECHNOLOGIES

### DESIGNING

Nowadays, the pouring technology design is still based on old empyrical methods, such as the one mentioned by Chvorinov (1940), a method that is based on the solidification time assessment according to the M mode.

The first computer numerical simulations of the solidification process were made by Eyres and other America researchers who, starting from 1946, applied the finished differences method to a simple piece solidification study.

In 1970, Pehlke and his contributors made a significant double study for the poured pieces solidification process. In this regard, they checked, by experiments and calculations, very simple pieces poured in classic forms and compared the different variants of the finished differences method.

In 1985, Ohnaka sets the direct finished differences method; Patankar approached the volume elements method, and Hang set the border elements method.

The solidification proces modeling through numerical methods have been the object of five international conferences „*Shaping of casting, welding and advances solidification processes*”.

Nowadays, a lot of metallurgical and technology designing enterprises from the metallurgical industry launched some programmes for the shaping of solidification, flowing and mixture filling in the pouring forms such as SOLSTAR, MAGMA SOFT, PROCAST. These programmes have a high simulation solidification precision in tridimensional space and special facilities (calculation and graphic representation of the metallostatic pression in different sections and for different time steps, determination of defaults that come up in the poured piece during solidification etc). In our country, there are firms that use advanced solidification shaping programmes (S.C. INAS S.A.Craiova, S.C.INTEC S.A. Bucharest, S.C. MEGA S.A. Bucharest, S. C. SIROMGRAPHICS S.A.), but because of the high acquisition cost of such dedicated licenced programmes, the service method appeared, namely when a specialized soft firm solves certain commands from a foundry: redesigning the pouring technology for a high reject benchmark, redesigning the roughly poured piece in the case of a technological tide that cannot be essentially modified or the optimised designing of a piece construction roughly poured, with an appropriate pouring form and specific pouring parameters.

With CAD/CAM programmes one can achieve the pouring technology optimization of a certain benchmark; the operation becomes efficient either in extremely valuable unique piece production (turbines, rolling mill cylinders, hydraulic bodies for nuclear power stations, big MU carousels) or in mass production, when assimilating a specialized manufacturing: auto, farming machines, textile equipments, aeronautic industry, biotics and computers.

## II. THE POURING TECHNOLOGY COMPUTER WORK

The computer assisted designing starts from the classic technology; the first stage consists of computer work for the technological process, namely and afterwards, the optimization of the technological stages (pouring, filling the pouring form cavity with melting charge, cooling, solidification, temperature gradient in piece and form wall thickness etc.) on the basis of specific,dedicated applications.

For example, let's take into consideration the case of high pressure pouring process (TPI), a domain with a high degree of mechanization-automatization-robot using, namely formulating the subject as a *the designing of a TPI technological cell*.

The computer work strategy of this hypothetical technologic process „The TPI technologic functional cell”, imposes a series of stages and levels of conception - development:

- expert system (SE) base setting and conceiving stage, at modulus architecture level;
- global architecture generation of the dosing and pouring process and of communication between submodulus;
- commands instrumentation and transmission to the conducted object (melting charge processing in the refining precincts, one pouring dosing and the compression room supply with the respectiv melting charge dose, mould oiling and locking, remaking the cycle);
- synthesis of the whole technological process mathematic model, as general supervising source of the designed expert system.

An expert system, meant for industrial development applications contains the following basic components (see Fig. 1). The cognitive system, whose task is to organize, memorise, update and offer, in the benefit of the rezolutive system –cognition pieces of the usage specific field;

- *The self-organizing, self-adaptating and self-control system* supervises the other components functioning, establishes the dynamic connection between them,

meanwhile assuring their structural adaptation to the functional requirements and specific contextual situations of the particular problems to be solved.

For an industrial process, such as the *High pressure pouring integrated technologic cell (TPI)*– the computer conducting scheme is principally presented in Figure 2.

The thermic-technologic *refining, dosing and pouring* operations, in the presented scheme can be detailed, and the principle component elements can be particularized.

The standard configuration architecture of the expert system and the soft correspondances designing with real technical-technologic elements consist of (see Fig. 3):

1. *Automatics elements*: Identification of process behaviour models; Automatic leading of the technological process, with informatic captators and interfaces;
2. *Supervising*: Process documents emission; Cartographic vectoring, as a complex computer graphic representation.

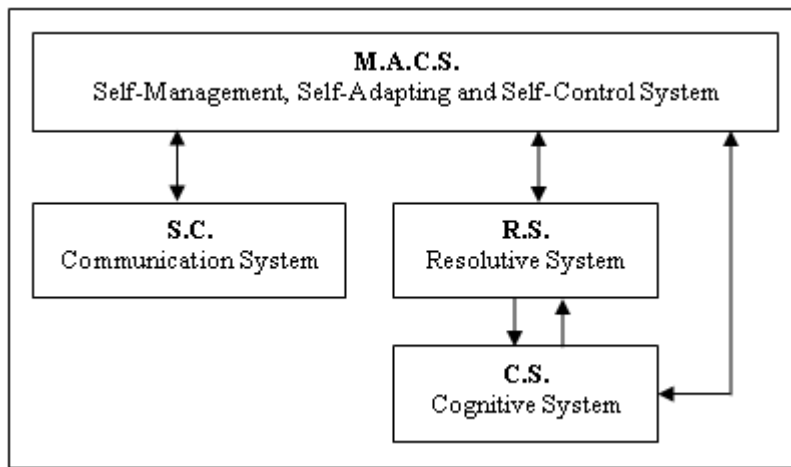


Fig. 1 Basic modulus in an expert system architecture

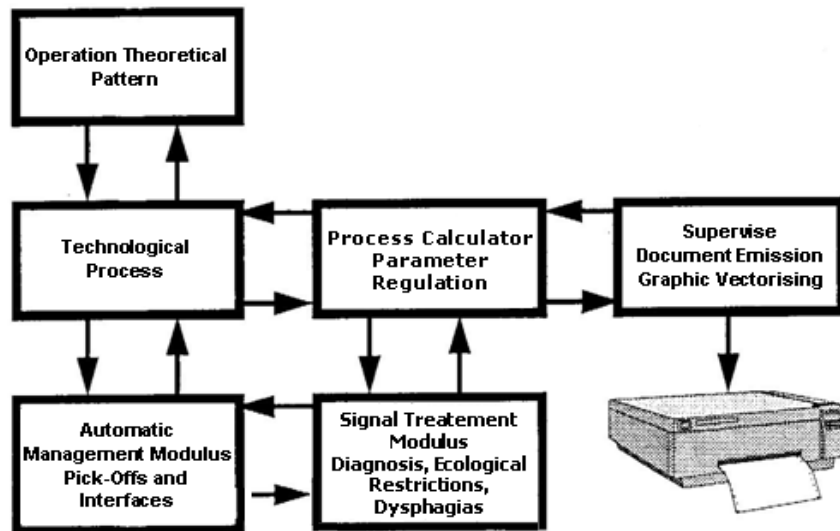


Fig. 2 Principally schemed and simplified representation for computer leading of an industrial technologic process

One can notice that the computer leading strategy of such a thermal-metallurgic process, under performance conditions (taking into consideration a large number of variable parameters), is a very difficult objective to touch, which requires optimal solving solutions

and represents a situation that imposes a new approach and interdisciplinary treatment. In Figure 4, we presented the scheme of a technic data flow proposal within a foundry, that is in the course of assimilating the technology designing on the computer, through shaping and simulation of melting charge pouring-flowing, solidification-cooling in a form, or the difficult issue of pouring network heating and optimising.

Similarly, in Figure 5, we indicate a logical succession for the poured pieces solidification shaping and simulation, and in Figure 6, we introduced the solidification model setting stages.

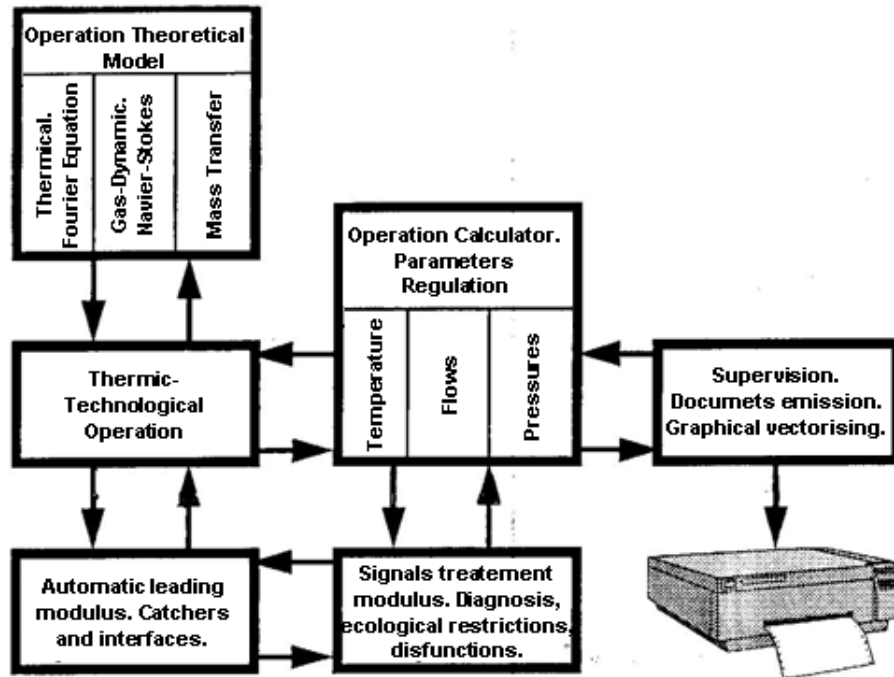


Fig. 3 The architecture of the piloting expert system of the TIP pouring step, in the integrated technological cell.

### III. PRINCIPLES IN TECHNOLOGIC SOFTWARE ELEMENTS DESIGNING

#### 3.1 The metallic melting charge flow during the pouring process.

The numeric simulation of the pouring processes, therefore the hydraulic elements and metallic melting charges flow are recent history due to the *NAVIER-STOKES* flowing situation and the nonlinear thermic transfer equations complexity in a tridimensional system. Solving these equations using numerical methods, the finished differences and finished elements methods were possible together with hardware and operating system development.

The programmes meant to solve the fluids flowing and mixtures solidifications problems appeared only in the 1980s due to the complex problems generated when solving fluid's free surface behaviour. At the present time, much significance has been given to the programmes that start from the finished differences method because of the rapidity with which they solve the flowing problems and, so, due to their efficiency in industrial applications where the response time is essential.

The mixture's flow under gravitational, viscid and pressure gradient's forces is described by the speed and pressure field whose evolution is given in the Navier-Stokes equation, the continuity equation and the free surface conditions.

### **3.2 Solidification of metallic melting charges during cooling in the pouring form.**

The thermal transfer during the flowing and solidification processes is ruled by the *FOURIER EQUATION* – thermal conductivity. This equation is accompanied by the initial and limit conditions, *Cauchy Type* (when we consider the external environment temperature and the global coefficient of heat exchange between environment and the analysed system, as programme input data; this case appears when the heat exchange conditions are given to the system's external part, through thermal convection), *Dirichlet* (when we consider as input data the temperature of the ingot surface or of the poured piece ) and *Neumann* (when we consider as input data the thermal flow on the border segment considered, as in the case of radiations or external heat source). The specific equations that we mentioned apply to the participant domains.

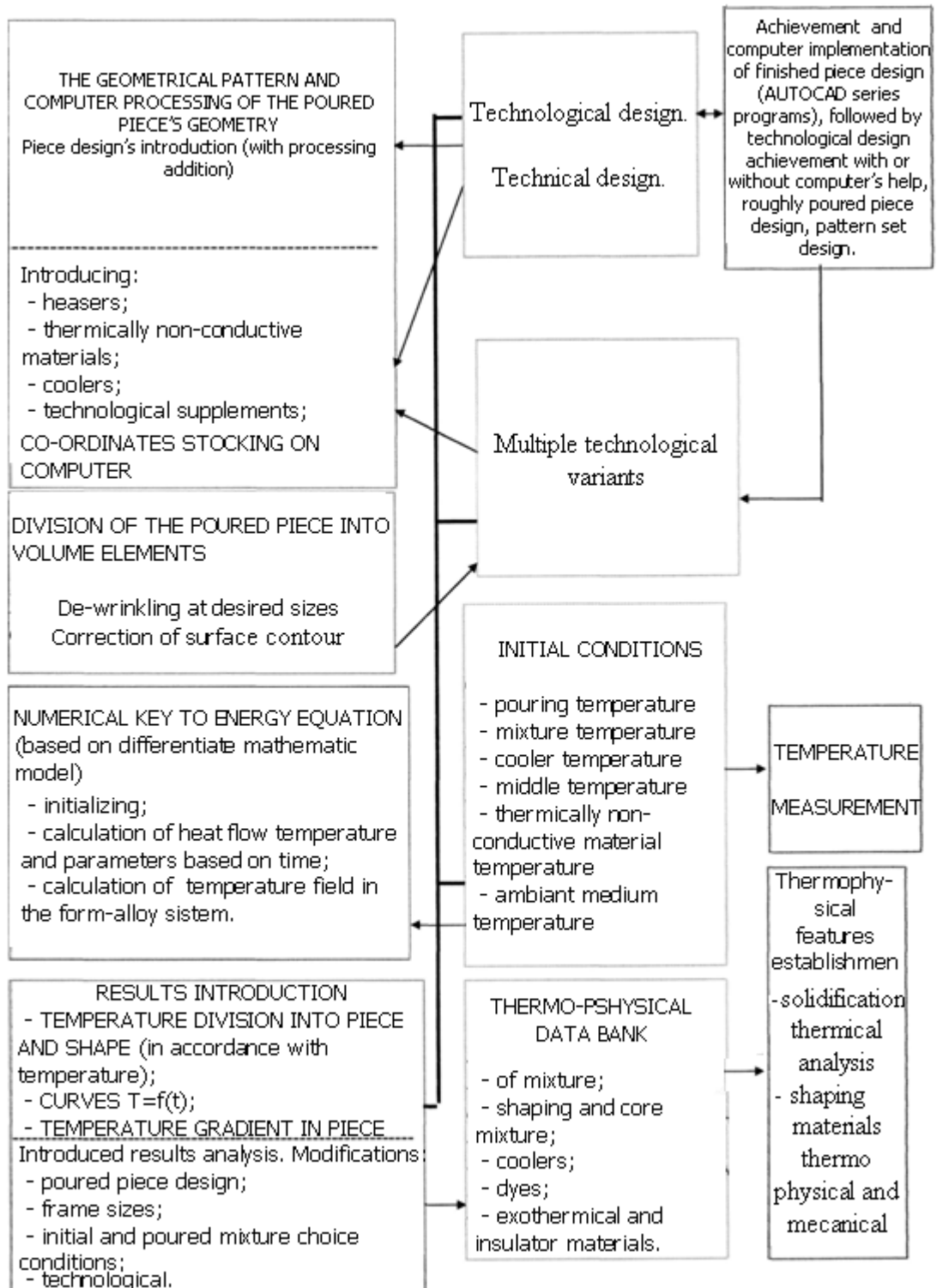


Fig. 4 Techic data flow wihtin a foundry.



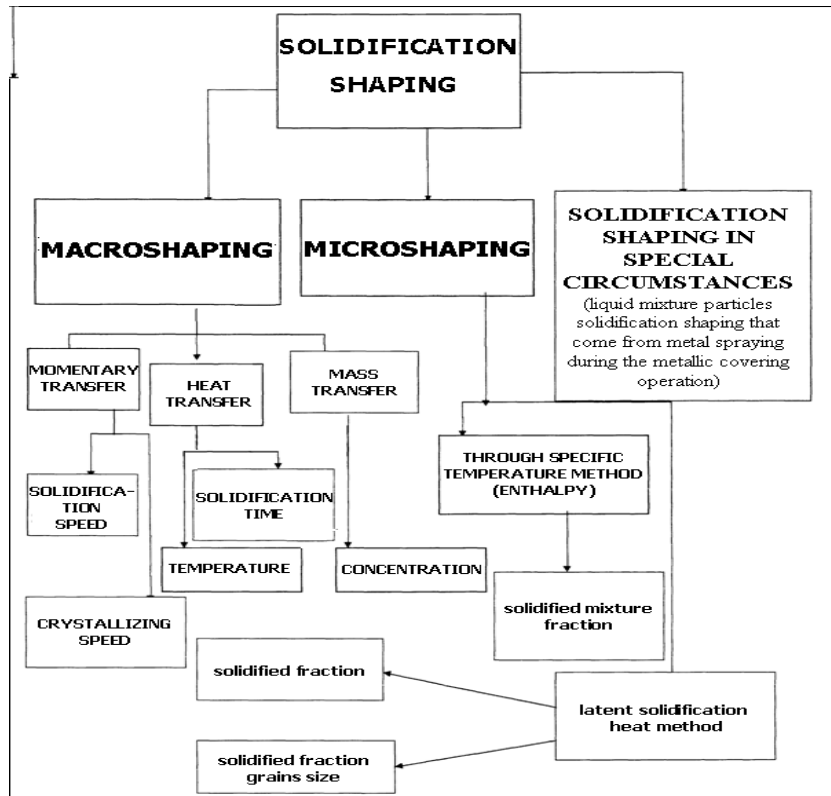


Fig. 5 Representation of the solidification shaping and simulation processes sequences.

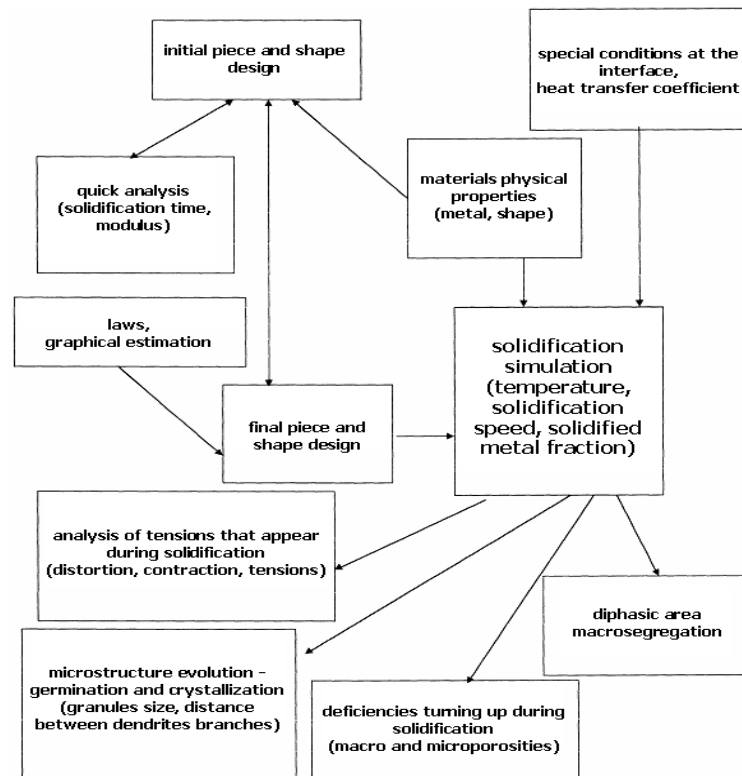


Fig. 6 Representation of a solidification shaping system.

To solve the physical shaping we must use different techniques and methods; the special literature shows numerous case studies in this field. For example, with the *SOLA - VOF = Solution Algorithm - Volume of Fluid method*, based on an explicit finished differences scheme, applied on a crossing 3D graphic grating, we can solve a series of problems with regard to steel ingots pouring.

## IV. DEDICATED TECHNOLOGICAL SOFTS

### 4.1. The MAGMA soft Programme

*Modular structure. Brief description of capabilities.*

The programme package dedicated to <MAGMA soft> piece pouring is one mainly meant to simulate the flowing and heat transfer phenomena; the package was developed for UNIX operating system computers, with X-Windows graphic interface.

MAGMA soft is a modular package, that contains: Project management; Preprocessor, which includes geometry defining; Optional transfer from CAD packages and network generating with finished elements; Main processor for process description and numeric calculations; Postprocessor for results visualising and assesment; Thermophysical data collection and manipulation. All modulus are written in standard C or FORTRAN 77.

*Main modulus for fluid dynamics calculation and heat transfer phenomena*

A. MAGMA/fill – a modulus to simulate the pouring form filling and fluid flowing process – metallic mixtures. While filling the form, we analyse the melting charge flowing phenomena.

B. MAGMA/solid – solidification modulus with the following features;

C. MAGMA/batch – pouring modulus in permanent metallic forms;

D. POSTPROCESSOR MODULUS for results visualizing and validation.

*Material thermophysical features database:*

When needed, the modular architecture allows an up-grade, by adding other modulus such as:

- MAGMA/hpdc (low pressure injection pouring = TJP) or MAGMA/lpdc (for depression pouring proceedings – such as the asperion pouring);
- MAGMA/iron (microshaping for cast iron pouring).

### 4.2 The SOLSTAR Programme

Thus, the SOLSTAR programme belonging to *Fonseco*, the *Multimillion 3* version, can calculate and share a piece in 64 millions of volume elements, compared to the *Multimillion 2* variant, which can get 3 millions volume elements at maximum.

### 4.3 The MAVIS Programme

The MAVIS & DIANA programme, that belongs to the *Alphacast software* firm, in cooperation with University of Wales Swansea (Marea Britanie), analyzes different mixtures solidification, poured as mixture or permanent mould, either by classic or pressure pouring. The programme analyzes the heat transfer through the finished differences method and can determine the size and location of micro and microblister's appearance.

With 25 installed programme packages, in Europe, the MAVIS & DIANA solidification simulation programmes have a very attractive cost – efficiency ballance.

#### 4.4 The NOVOCAST Programme

The NOVOCAST programme (Sweden), introduced at the GIFA 1989 Congress, simulates the tridimensional mixtures' solidification (3D), involving an interface to take over the pieces drawings, directly poured from AUTOCAD. The programme analyzes the heat transfer through the finished differences method and can set the izosolidus curves, the temperature field within the mixture-form system, the diphasic zone, solidified mixture fraction, the microporosity zones location and size.

#### 4.5 The SIMULOR Programme

The SIMULOR programme, created by Silicon graphics, can simulate the mixtures flowing and solidification and starts from the finished volume method. The 2.0 version enjoys a new man-computer interface, much easier to exploit, including a calculation and graphic accelerator, being able to shape solidification and flowing for high complexity pieces.

#### 4.6 The PROCAST Programme

The PROCAST Programme, which belongs to the UES (The United States) and 3-MOS (Swiss) firms, is a solidification shaping programme, that analyzes the tridimensional heat transfer (3D) using the finished element mathematic method. The programme can determine the microstructures that appear after solidification and can be easily adapted to a precision or continuous foundry, being able to determine the necessary conditions for a conducted solidification process.

### BIBLIOGRAPHY

1. Chira I. – Paper review: Hütte – Engineer's Guide. Basis. Translation from German, following the 29th edition. Tehnica Publishing House Bucharest,. In: Foundries Magazine, No. 1, 1998, p. 32-33, ISSN 1224-21-44.
2. \*\*\*Site.Web(servers.**www**=**WorldWideWeb**...format.http://=HyperTextTransferProtocol)/Homepage(**inter**connected.**net**work.address.URL=**Uniform.Resource.Locator**):..bizoo.ro/firma/metalprogres.soft;...cad.magazine.ro/maxcad/templates/detalii;...computer.world.ro;...csit.sun.pub.ro/research/history/;...cyco.com;...inas.ro/content/view/;...greentwinkie.com/blog/utilitare.optimizare/utilitar.de.monitorizare;...info.legal.ro;...math.md/imisite/ro/progbd.shtml;...networked.ro;...networking.info.europa.ro;...pc.forum.ro/view.topic;...pc.world.ro/index;...quartz.matrix.ro/sections/automatizari.industriale/conducere.monitorizare/;...sirom.kappa.ro;...synchro.ro/.
3. Bratu Ctin. and Popa I. – Solidification coefficient assessment through numerical shaping. In: Foundries Magazine, No. 1, 2000, p. 37 - 39, CZU 621.74 (051), ISSN 1224 - 21 - 44.
4. Chira I. - Relansin Contract No. 720/2000: Functional pattern achievement of a technological cell (inclusively soft and hard) for under pressure pouring.

---

\* Chira, Ion, Professor Ph.D eng., Departament of Cast Metals, POLITEHNICA University of Bucharest, Romania, e-mail: iondanchira@gmail.com

\*\* Ionica, Ruxandra, Cpt. Drd. Mat., Serviciul de Telecomunicatii Speciale, e-mail: ruxandraionica@yahoo.com

\*\*\* (Nemes) Beca, Ruxandra, Lt. Drd. Eng., Inspectoratul General al Jandarmeriei Romane, e-mail: ruxa\_angel@yahoo.com

\*\*\*\* Teodorescu, Constantin Bogdan, Drd. Ec., ING WholesaleBanking Bucharest, e-mail: bogdanteo@pcnet.ro

## **DURATA DE VIAȚĂ A ELEMENTELOR ELASTICE METALICE, ARCURI ELICOIDALE, FOLOSITE LA SUSPENSIA VEHICULELOR FEROVIARE**

Ion COPACI\*  
Bogdan TĂNĂSOIU\*\*

*Lucrarea prezintă un studiu experimental asupra elementului elastic metalic, arc elicoidal cu diametrul barei de 24,4 mm, supus încercării de oboseală în scopul stabilirii duratei de viață și în consecință a fiabilității.*

*Colectivul de solicitare ce a fost adoptat și numărul ciclurilor de solicitare aparțin condițiilor impuse de normele internaționale ale Căilor Ferate Europene (UIC), respectiv normelor Europene (EU).*

*Am prezentat curbele de solicitare și rezistență la oboseală specifice de tip Wohler, conținute de raportul UIC ERRI B12 Rp60.*

*În acest context am stabilit teoretic și desigur și experimental durata de viață ca și component al fiabilități elementelor elastice metalice studiate, cu concluziile de rigoare.*

*Cuvinte cheie: rezistență la oboseală, durată de viață, curbe Wohler.*

### **Capitolul I. Introducere**

Lucrarea prezintă un studiu experimental asupra elementului elastic metalic, arc elicoidal, cu diametrul barei de 24,4 mm, utilizat la echiparea boghiurilor Y25Lsdi destinat vagoanelor de marfă. Au fost efectuate încercări la oboseală, determinări ale deformațiilor relative, respectiv a tensiunilor și de durată de viață [1], [2], [5].

Pentru verificarea tehnologiei de fabricație și a tratamentelor termice și mecanice aplicate a fost încercat un set de arcuri la oboseală în scopul depistării cauzelor ruperilor în exploatare. Obiectivul impus de cercetarea pe care am efectuat-o este acela de a reliza arcuri a căror rezistență la oboseală să fie la nivelul prevăzut de cerințe (4000000 cicluri în trei regimuri de încercare), cerințe ce asigură o rezistență la oboseală optimă în exploatare impusă de normele internaționale ale UIC (Uniunea Internațională a căilor ferate Europene).

Setul de arcuri are caracteristicile mecanice ce indică valori ale limitei de curgere de 1489-1551 N/mm<sup>2</sup> (față de min. 1370-1670 N/mm<sup>2</sup> prescris) și valori ale alungirii la rupere de 10,8-12,8% (față de min. 6% admis). Diametrele inițiale ale barelor au valori de 24,33 – 24,34 mm încadrându-se în intervalul prescris (24,4±0,1 mm). Materialul din care a fost confecționat arcul a fost 50CrV4 conform DIN 17221.

## Capitolul II. Încercări de oboseală

Au fost efectuate încercări de oboseală cu regimurile indicate în tabelul nr. 1 și figurile 1,2 și 3.

Tabel 1.

Treapta	Forța minimă [kN]	Forța medie [kN]	Forța maximă [kN]	$\Delta F$ [kN]	Nr. cicluri solicitare
1	14,090	23,938	33,786	19,696	$2 \times 10^6$
2	13,754	24,681	35,607	21,853	$1 \times 10^6$
3	12,796	24,969	37,141	24,345	$1 \times 10^6$

Rezultatele încercărilor de oboseală efectuate pe un ștand de încercări adecvat au fost următoarele:

Tabel 2.

Nr. arc	Nr. de cicluri aplicate	Observații
1	1040000	Rupere la prima treaptă
2	1128000	Rupere la prima treaptă
3	3354000	Rupere la a treia treaptă
4	1249000	Rupere la prima treaptă

Se constată o dispersie mare a rezultatelor și totodată faptul că nu s-a atins limita de 4 milioane de cicluri considerate ca necesare pentru o bună rezistență în exploatare.

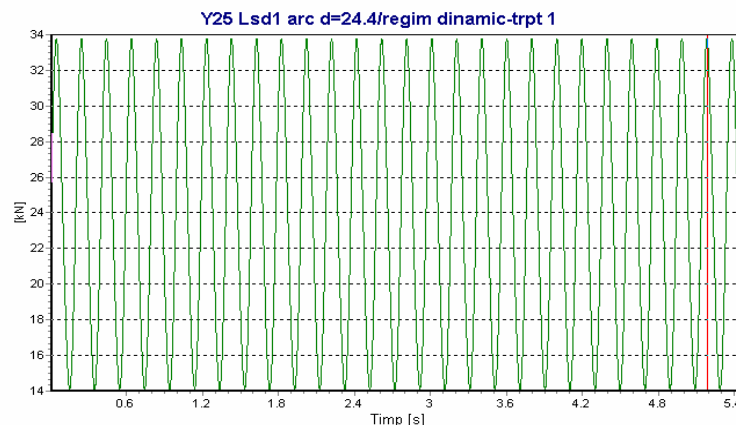


Figura 1.

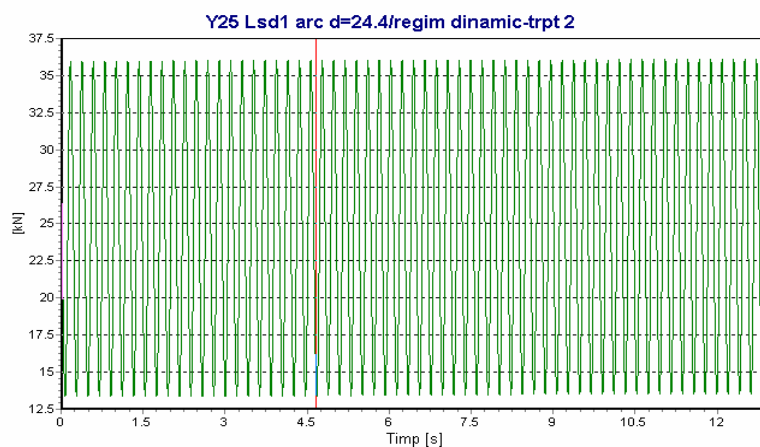


Figura 2.

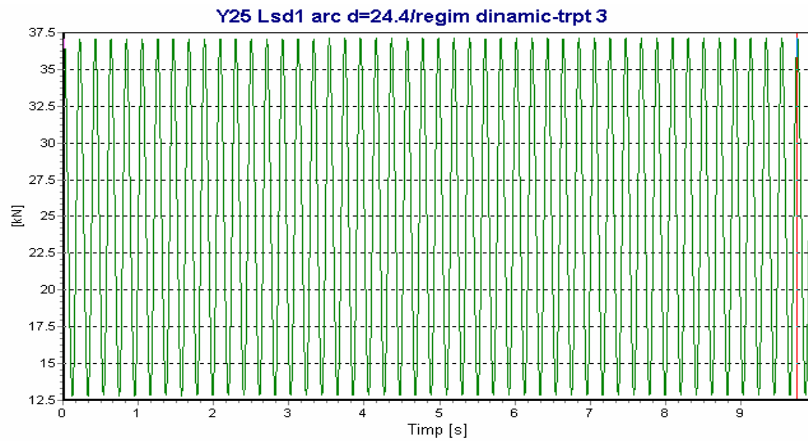


Figura 3.

### Capitolul III. Determinarea deformațiilor relative respectiv a tensiunilor

În secțiunea de mijloc a arcului au fost determinate deformațiile relative utilizând traductori tensometrici rezistivi de tip 6/120RY11-HBM, traductori tip rozetă  $0^\circ/45^\circ/90^\circ$ . Au fost aplicați la interior și exterior câte un traductor conform schemei de amplasare din fig. 4 [3], [4].

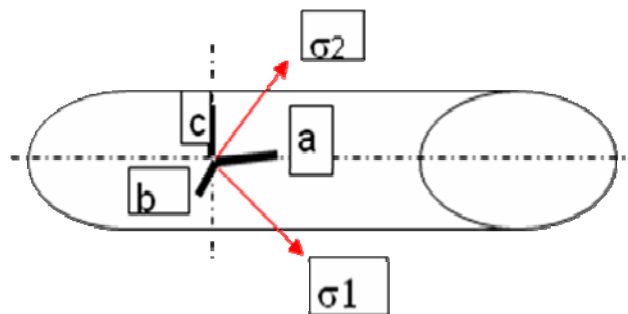


Figura 4.

Aplicând forțele conform valorilor din tabelul nr. 1 pentru cele trei trepte de încercare au fost obținute rezultatele experimentale conținute în tabelele 3 și 4.

Tabelul 3.

Rozeta interior								
	F [kN]	a [ $\mu\text{m/m}$ ]	b [ $\mu\text{m/m}$ ]	c [ $\mu\text{m/m}$ ]	$\sigma_1$ [ $\text{N/mm}^2$ ]	$\sigma_2$ [ $\text{N/mm}^2$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]	$\sigma_{\text{ech}}$ [ $\text{N/mm}^2$ ]
Treapta 1	33.790	-705.00	-3885.50	388.50	550.38	-643.52	40.83	1034.99
	14.090	-419.59	-1655.00	171.20	210.50	-283.60	39.54	429.46
Treapta 2	35.607	-712.74	-4153.70	422.45	598.82	-684.25	40.97	1112.00
	13.754	-394.16	-1502.20	155.96	188.41	-258.51	39.38	388.63
Treapta 3	37.141	-759.65	-4276.60	429.67	609.76	-706.87	40.89	1141.26
	12.796	-358.50	-1399.60	148.88	178.23	-239.92	39.46	363.44

Tabelul 4.

Rozeta exterior								
	F [kN]	a [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	b [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	c [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	$\sigma_1$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha$ [°]	$\sigma_{\text{ech}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Treapta 1	33.790	85.40	-1908.40	-15.50	318.34	-297.76	-44.26	533.66
	14.090	61.11	-706.50	45.85	136.17	-104.70	-44.71	209.19
Treapta 2	35.607	87.85	-2063.90	-19.38	342.66	-322.51	-44.27	576.14
	13.754	56.43	-626.10	59.97	125.56	-91.31	44.93	188.60
Treapta 3	37.141	89.32	-2127.30	-21.77	352.50	-332.62	-44.27	593.42
	12.796	48.40	-585.90	59.66	117.31	-85.51	44.75	176.36

În tabele notațiile au următoarele semnificații:

F – forța aplicată ;

a, b și c – deformațiile relative pe cele trei direcții măsurate;

$\sigma_1$  ,  $\sigma_2$  – tensiunile pe direcția principală 1 respectiv 2;

$\alpha$  – unghiul față de direcția de referință a;

$\sigma_{\text{ech}}$  – tensiunea echivalentă Von Mises.

#### Capitolul IV. Determinarea duratei de viață

Durata de viață a fost determinată utilizând curbele Wöhler stabilite de comitetul ERFI B12 în raportul Rp60 al UIC. Ecuația logaritmică a curbelor este:

$$\log N_i = \log a - m \log \Delta\sigma_i$$

unde  $N_i$  – numărul de cicluri la rupere;

a, m – coeficienți;

$\Delta\sigma_i$  – valoarea tensiunii aplicate la rupere.

Pentru fiecare categorie de creștătură au fost determinate experimental diagramele de tip Wöhler, ca în figura 5, care stabilesc valoarea tensiunii admisibile la oboseală  $\sigma_{-1}$ .

Valorile coeficienților  $a$  și  $m$  pentru fiecare caz sunt date în tabelul 5 [6].

Tabel 5.

Clasa de Concentrare	Log a		Tensiunea de oboseală [N/mm <sup>2</sup> ]
	m=3	m=5	
160	12,901	17,036	117
140	12,751	16,786	104
125	12,601	16,536	93
112	12,451	16,286	83
100	12,301	16,036	74
90	12,151	15,786	66
80	12,000	15,536	59
71	11,951	15,286	52
63	11,701	15,036	46
56	11,551	14,786	41
50	11,401	14,536	37
45	11,251	14,286	33
40	11,101	14,036	29
36	11,001	13,386	26



Având ciclurile de solicitare aplicate în fiecare caz a fost stabilită durata de viață, în număr de cicluri de solicitare conform excedentului dinamic  $\Delta\sigma_i = \sigma_a$  pentru fiecare caz. Rezultatele obținute pentru durata de viață sunt trecute în tabelul 6. La calculul de durată de viață s-a utilizat curba având clasa de concentrare 160 și tensiunea admisibilă la oboseală 117  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ .

Tabel 6.

Nr. treaptă de solicitare		$\sigma_a$ $[\text{N}/\text{mm}^2]$	Durată de viață [nr. de cicluri]
Treapta 1	interior	169,940	1622232
	exterior	91,085	10535603
Treapta 2	interior	205,205	921374
	exterior	108,540	6226307
Treapta 3	interior	215,765	792605
	exterior	117,545	4895910

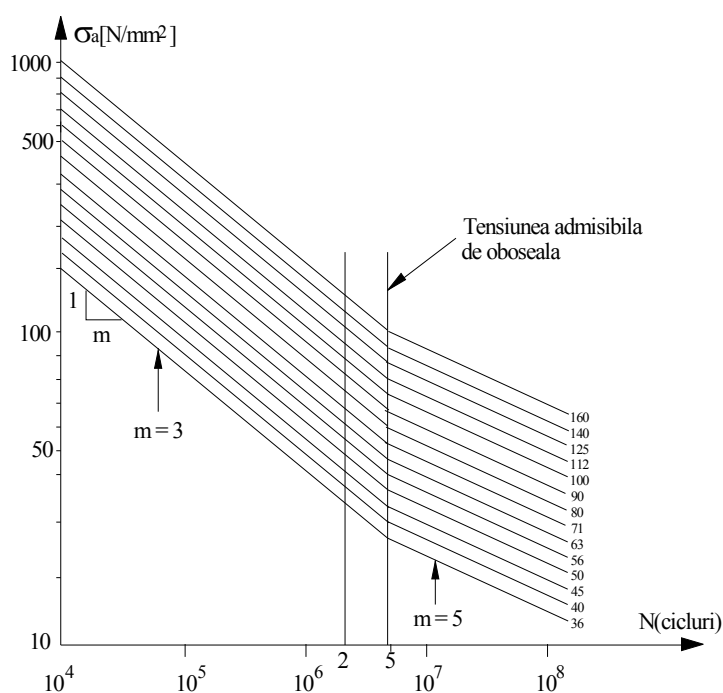


Figura 5.

Se constată că tensiunile cele mai mari apar la fibra interioară unde durata de viață estimată este aproape de cerințele impuse pentru fiecare treaptă de solicitare. Există diferențe mari între durata de viață estimată pentru fibra interioară față de cea exterioră datorită diferențelor mari a deformațiilor relative respectiv a tensiunilor măsurate experimental. Estimarea duratei de viață utilizând curbele Wohler dau rezultate foarte apropiate de numărul de cicluri prevăzut pentru treptele de solicitare impuse ce să asigure o bună rezistență în exploatare.

## Capitolul V. Concluzii

Ca și concluzii finale, se impun următoarele:

1. Estimarea duratei de viață prin utilizarea curbelor Wohler și a determinărilor în regim static a deformațiilor relative pot conduce la concluzii elocvente în cercetarea experimentală. Rezultatele obținute pot fi suficient de concludente oferind elemente de considerabilă încredere într-o reproiectare ulterioară.

2. În orice caz, încercările de oboseală sunt de natură să stabilească definitiv utilizarea unui element elastic în ceea ce privește rezistența lui în exploatare, aceasta datorită faptului că pot să apară în fabricație imperfecțiuni și erori ale tehnologiei de fabricație, a tratamentelor termice efectuate, sau mecanice prin ecruisare.

## BIBLIOGRAFIE

1. Buzdugan Gh., Blumenfeld M. - Calculul de rezistență al pieselor de mașini, Editura tehnică, București 1979
2. Copaci I., Mănescu T., Olaru S., Creangă F. – “Rezistența la solicitări variabile care apar în exploatarea vehiculelor feroviare”, Ed. MIRTON Timișoara, 2005.
3. Copaci I., Mănescu T., Olaru S., ș.a. - "Asupra solicitărilor variabile și de șoc ce apar în exploatare la boghiul Y25 - Lsdi de 22,5 t/osie", Conferința de dinamica mașinilor - CDM 2005, Brașov, 2005
4. Copaci I., Tănăsioiu A., Olaru S. - "Asupra rezistenței la solicitări statice a boghiului Y25-Lsdi CU 25 t/osie", Simpozionul Național de Material Rulant de Cale Ferată, Universitatea Politehnică din București, Facultatea de Transporturi, 2004
5. Sebeșan, I. ; Hanganu D. - “Proiectarea suspensiilor pentru vehicule pe șine”, Editura Tehnică, București, 1993
6. \*\*\*\*\* ERRI B12 RP60 - „Test to demonstrate the strength of railway vehicles”, Utrecht, 1995

---

\* Ion Copaci, prof.dr.ing., Universitatea “Aurel Vlaicu” Arad, [ioncopaci@gmail.com](mailto:ioncopaci@gmail.com)

\*\* Bogdan Tănăsioiu, student, Universitatea “Aurel Vlaicu” Arad, [bogdyt@yahoo.com](mailto:bogdyt@yahoo.com)

## STUDIUL ASUPRA EVOLUȚIEI PARAMETRILOR CINEMATICI ÎN TIMPUL ȘOCULUI PROVOCAT DE TAMPONAREA VEHICULELOR FEROVIARE

Ion Copaci\*

*Lucrarea prezintă un studiu al evoluției parametrilor cinematici în funcție de timp la șocul provocat de tamponarea vehiculelor feroviare. Sunt remarcăți în evoluția fenomenului timpii remarcabili ce caracterizează din punct de vedere cinematic procesul de tamponare.*

*Cuvinte cheie: interval de timp proces de tamponare, contracție izolatori de șoc, accelerație transmisă vagon tamponat, izolatori de șoc.*

### Cap.I. Considerații teoretice

În timpul circulației pe cale și în procesul de formare a garniturilor de tren în triaje se produc șocuri provocate prin tamponare datorită apariției unor viteze relative dintre vehiculele învecinate. Viteza relativă dintre vehicule notată cu  $v(t)=v_1(t)-v_2(t)$  provoacă un șoc transmis de vagonul de tamponare având deplasarea  $x_1(t)$ , viteza  $v_1(t)$  și accelerația  $a_1(t)$  vagonului tamponat având deplasarea  $x_2(t)$ , viteza  $v_2(t)$  și accelerația  $a_2(t)$ .

Studiul variației în timp a parametrilor de mișcare ai vehiculelor , ca funcții de răspuns la șocul provocat de tamponare , impune următoarele constatări :

1. În fiecare moment "t" al procesului de tamponare care are loc pe intervalul de timp  $(0 - t_2)$  , contracția "D" a izolatoarelor de șoc care echează vehiculele este:

$$D(t) = x_1(t) - x_2(t) = \int_0^t v_1(t)dt - \int_0^t v_2(t)dt \quad (1)$$

2. La timpul  $t_{12}$  , când vehiculele au viteza comună  $v_{12}$  și energia potențială înmagazinată de vehicule este maximă , diferența dintre spațiile parcurse de vehicule reprezintă contracția maximă a izolatoarelor de șoc " $D_{max}$ " și evident suprafața hașurată "S", marcată în fig.1.

$$D_{max} = x_1(t_{12}) - x_2(t_{12}) = \int_0^{t_{12}} v_1(t)dt - \int_0^{t_{12}} v_2(t)dt = S \quad (2)$$

3. Experimental se constată că , la momentul  $t = t^*_{12}$  , accelerațiile transmise vehiculelor se anulează . În consecință , vehiculele se deplasează pe intervalul de timp  $( t^*_{12} - t_2 )$  , având vitezele constante " $v^*_1$ " , respectiv " $v^*_2$ " , rămânând în contact pe acest interval , în condițiile creșterii spațiului dintre vehicule " $D(t) = x_1(t) - x_2(t)$  .

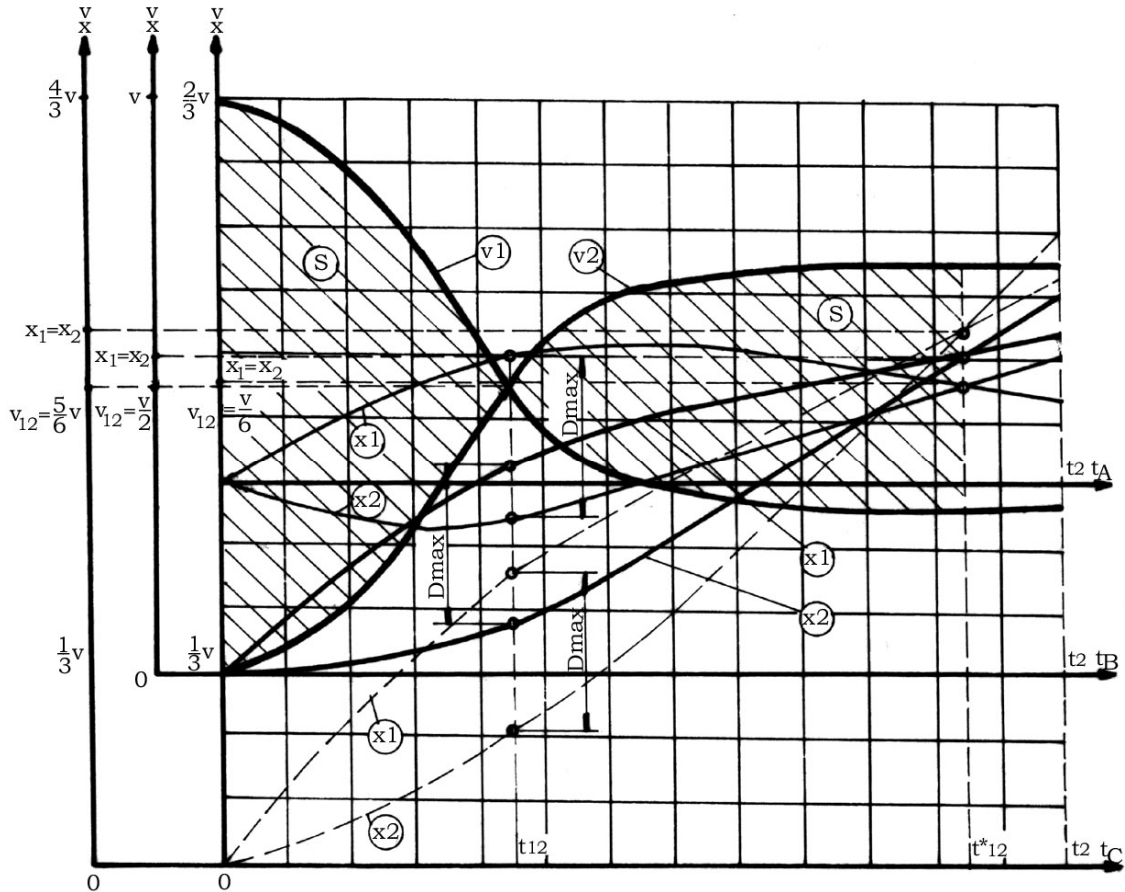


Fig.1

Evoluția în timp a vitezelor  $v_1, v_2$  și a spațiului parcurs  $x_1, x_2$  pentru vagonul de tamponare " 1 ", respectiv tamponat" 2 ", în cazurile de tamponare cu  $m_1 = m_2$  și sensurile vitezelor conform situațiilor A , B , C (A. vitezele vehiculelor sunt de sens contrar ; B. viteza unui vehicul este nulă  $v_2 = 0$  ; C. vitezele vehiculelor au același sens).

Acest fenomen se produce întrucât la timpul  $t^*_{12}$  izolatorii de șoc ai vehiculelor prezintă încă o deformare ( contactie remanentă ) care pe intervalul de timp  $( t^*_{12} - t_2 )$  se anulează . Astfel , creșterea spațiului dintre vehicule în fiecare moment al intervalului de timp  $( t^*_{12} - t_2 )$  este compensată de revenirea contracției izolatorilor de șoc . La momentul  $t_2$  , care marchează finalul procesului de tamponare , izolatorii de șoc ( tampoane , amortizori cuplă centrală ) revin la poziția inițială , corespunzătoare momentului  $t = t_1 = 0$  ( debutul procesului de tamponare ) .

De la acest moment  $t_2$  , creșterea distanței dintre vehicule se manifestă în mod diferit la vehiculele echipate cu tampoane față de cele echipate cu cuplă centrală și amortizor cuplă centrală . Astfel :

- la vehiculele echipate cu tampoane și aparat de tracțiune apare o distanță între talerele tamponelor . Dacă vehiculele nu sunt cuplate distanța se mărește în timp , dacă sunt cuplate

după anularea jocurilor dintre vagoane apare o forță de tracțiune la nivelul aparatului de tracțiune care provoacă o contracție a acestuia ;

- la vehiculele echipate cu cuplă centrală și amortizor cuplă centrală apare o distanță la nivelul contactului dintre vehicule care , anulând jocurile existente la nivelul cuplei centrale , provoacă o forță de tracțiune în cupla centrală , respectiv o nouă contracție a amortizorilor vehiculelor .

4. Procesul de transformare a energiei potențiale înmagazinate în energie cinetică, declanșat la momentul  $t = t_{12}$  , se termină în momentul  $t = t_{12}^*$  , când vehiculele ating vitezele  $v_1^*$  , respectiv  $v_2^*$  . La acest moment , izolatorii de șoc prezintă o contracție remanentă , deci practic și o energie potențială de deformare înmagazinată , care ar putea fi transformată în energie cinetică . De la momentul  $t = t_{12}^*$  , energia cinetică a vehiculelor rămâne constantă pe intervalul de timp  $( t_{12}^* - t_2 )$  , întrucât în fiecare moment al acestui interval suma dintre energia potențială înmagazinată și cea disipată este egală cu energia potențială disipată la momentul  $t_2$  .

În consecință, valoarea contracției maxime "  $D_{\max}$  " și suprafața "  $S$  ", care reprezintă valoarea contracției maxime sunt :

$$D_{\max} = \int_{t_{12}}^{t_{12}^*} v_1(t) dt - \int_{t_{12}}^{t_{12}^*} v_2(t) dt = -S \quad (3)$$

5. Relația dintre vitezele momentane ale vehiculelor în procesul de tamponare în intervalul de timp  $( 0 - t_2 )$  rezultă din ecuația impulsului :

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1(t) + m_2 v_2(t) \quad (4)$$

asa încât :

$$v_1(t) = v_2 - \frac{m_2}{m_1} (v_2(t) - v_2) \quad (5)$$

prin derivare se obține :

$$a_1(t) = -\frac{m_2}{m_1} a_2(t) \quad (6)$$

relația între accelerațiile vehiculelor în procesul tamponării .

## Cap.II. Cercetări experimentale

Din încercările de tamponare au fost selectate următoarele tamponări :

1. Vagonul de tamponare având masa  $m_1 = 80.000$  kg , lansat de pe un plan înclinat la viteza de  $v_1 = 2,897$  m/s , tamponează în aliniament și palier un vagon tamponat cu masa  $m_2 = 90.000$  kg , aflat în stare de repaus (  $v_2 = 0$  ) și nefrânat . Ambele vagoane au fost echipate cu tampoane de categoria A , conform UIC 526, având elementele elastice ale amortizorului din cauciuc (  $W_e > 30$  KJ ) . În continuare vom numi această tamponare : tamponarea  $A \rightarrow A$ .

2. Vagonul de tamponare având masa  $m_1 = 80.000 \text{ kg}$ , lansat de pe un plan înclinat la viteza de  $v_1 = 3,028 \text{ m/s}$ , tamponează în aliniament și palier un vagon tamponat cu masa  $m_2 = 80.000 \text{ kg}$ , aflat în stare de repaus ( $v_2 = 0$ ) și nefrânat. Ambele vagoane au fost echipate cu tampoane categoria C, conform UIC 526, având elemente elastice formate prin legarea în paralel a unui set de inele elastice Ringfeder cu un amortizor hidraulic ( $W_e > 70 \text{ KJ}$ ). În continuare vom numi această tamponare: tamponarea C  $\rightarrow$  C.

În ambele situații vagoanele au fost vagoane descoperite pe 4 osii, echipate cu boghiuri Y 25 și încărcate cu nisip. Vagonul de tamponare fiind compartimentat corespunzător, centrul de greutate al vagonului nu s-a modificat pe parcursul procesului de tamponare.

În timpul procesului de tamponare, odată cu ceilalți parametri urmăriți, a fost determinată evoluția în timp a accelerației vagonului tamponat  $a_{2(t)}$ . De asemenea, a fost măsurată viteza de tamponare  $v_1$  a vagonului de tamponare.

În fig. 2, respectiv fig.3, au fost trasate diagramele accelerației vagonului tamponat  $a_{2(t)}$ , ca evoluție în timp, așa cum au fost obținute experimental.

Traductorii, lanțul de măsură și înregistrare, precum și de prelucrare au fost adecvate scopului urmărit [ 1 ] [ 2 ] [ 3 ] [ 4 ] [ 5 ] [ 6 ] [ 7 ] [ 8 ] [ 9 ] [ 10 ] [ 11 ] [ 12 ] [ 13 ].

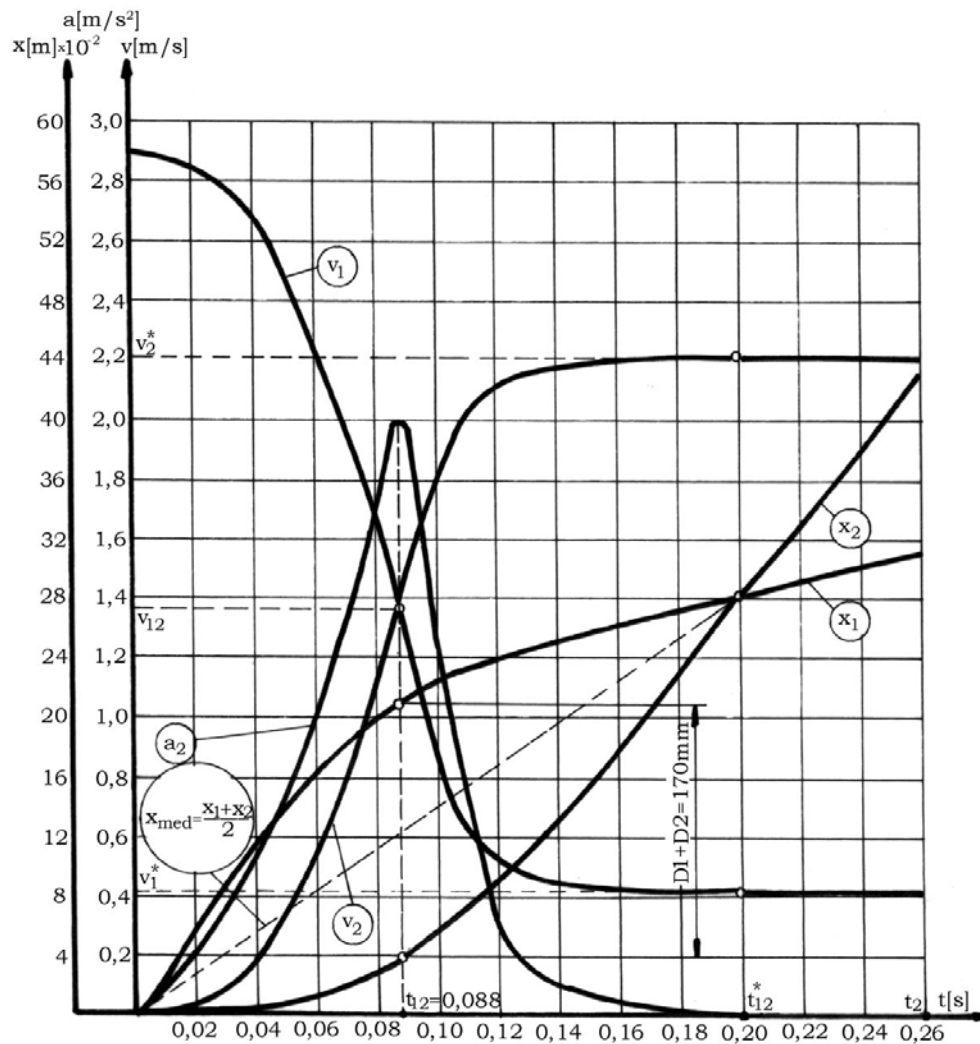


Fig. 2

Evoluția în timp a accelerației "  $a_2(t)$  ", a vagonului tamponat " 2 ", determinată experimental și a parametrilor derivați "  $v_1(t)$  ", "  $v_2(t)$  ", "  $x_1(t)$  " și "  $x_2(t)$  ", pentru tamponarea  $A \rightarrow A$  .

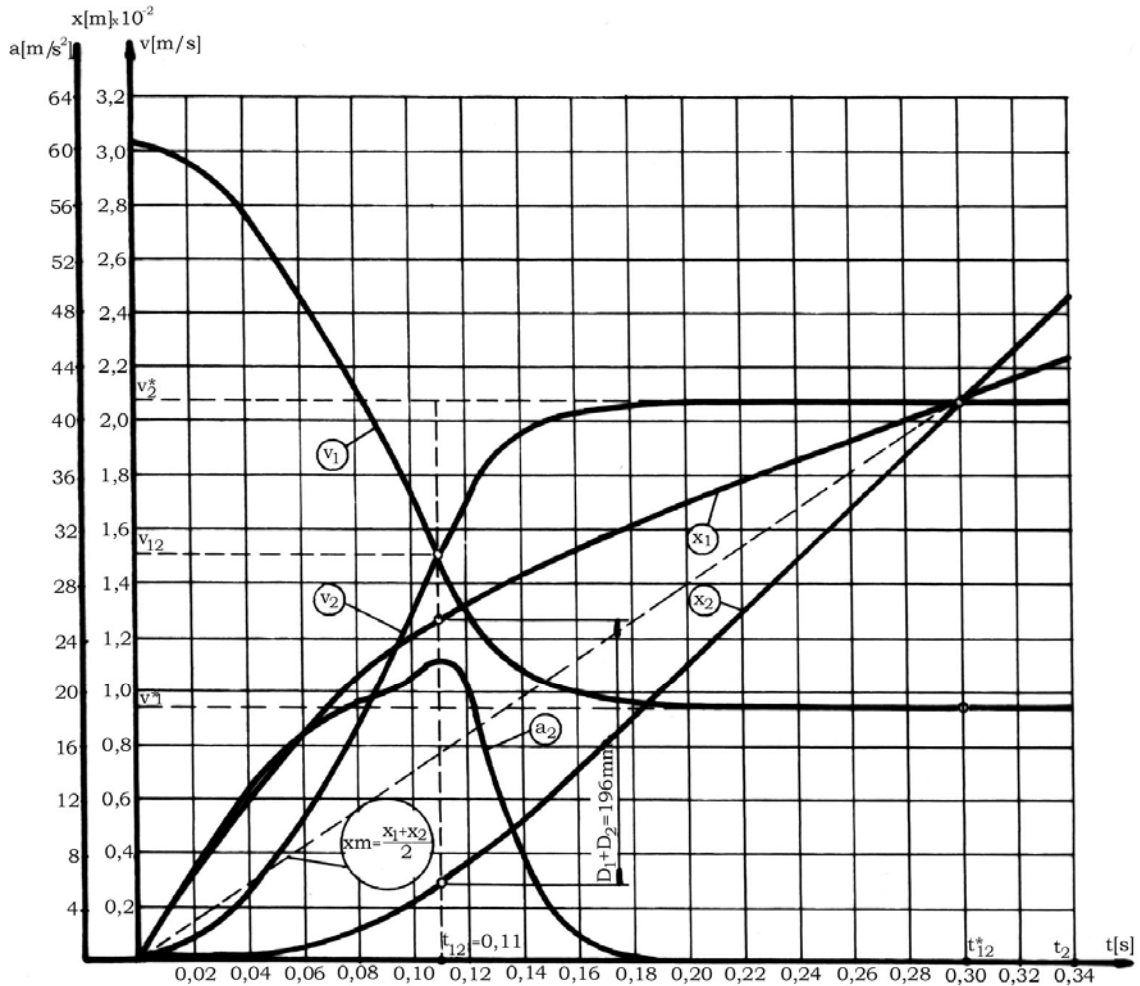


Fig. 3

Evoluția în timp a accelerației "  $a_2(t)$  ", a vagonului tamponat " 2 ", determinată experimental și a parametrilor derivați "  $v_1(t)$  ", "  $v_2(t)$  ", "  $x_1(t)$  " și "  $x_2(t)$  ", pentru tamponarea  $C \rightarrow C$  .

Având diagrama experimentală  $a_2 = f(t)$  , prin integrare s-a obținut evoluția în timp a vitezei vagonului tamponat  $v_2(t)$  în procesul de tamponare în intervalul de timp  $(0 - t_2)$  :

$$v_2(t) = \int a_2(t)dt \quad (7)$$

În mod similar s-a obținut spațiul parcurs de vagonul tamponat  $x_2(t)$  în procesul de tamponare în intervalul de timp  $(0 - t_2)$  :

$$x_2(t) = \int v_2(t)dt \quad (8)$$



Prin integrare s-a determinat evoluția în timp a vitezei vagonului de tamponare  $v_1(t)$  :

$$v_1(t) = - \int \frac{m_2}{m_1} a_2(t) dt \quad (9)$$

respectiv a spațiului  $x_1(t)$  parcurs de vagonul de tamponare:

$$x_1(t) = \int v_1(t) dt \quad (10)$$

Astfel au fost trasate evoluțiile în timp ale parametrilor de mișcare rezultați ,  $v_2(t)$  ,  $x_2(t)$  ,  $v_1(t)$  ,  $x_1(t)$  , pentru ambele cazuri studiate în fig. 2 , respectiv fig. 3 , folosind un program adecvat pe calculator .

Parametri determinați sunt trecuți în tabelul nr. 1.

Tab.1. Parametri de mișcare și energetici rezultați în procesul de tamponare pentru cele două cazuri considerate

Nr. crt.	Parametri	UM	A → A	C → C
01	$m_1$	kg	80,000	80,000
02	$m_2$	kg	90,000	80,000
03	$v_1$	m/s	2,897	3,028
04	$v_2$	m/s	0	0
05	$v^*_1$	m/s	0,411	0,953
06	$v^*_2$	m/s	2,210	2,075
07	$v_{12}$	m/s	1,363	1,514
08	$a_{max}$	m/s <sup>2</sup>	40,000	22,150

### Cap. III. Analiza rezultatelor experimentale

Se remarcă următoarele observații :

1. Intersecția curbelor  $v_1(t)$  și  $v_2(t)$  se produce într-un punct semnificativ , de coordonate  $(t_{12} , v_{12})$  , care marchează momentul când vehiculele se deplasează cu aceeași viteză  $v_{12}$  . Se constată o concordanță riguroasă între valoarea lui  $v_{12}$  , calculată cu datele inițiale  $m_1 , v_1 , m_2 , v_2$

$$v_{12} = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (11)$$

și cea obținută experimental .

2. Accelerațiile  $a_2(t)$  , respectiv  $a_1(t)$  , ating valorile maxime la momentul  $t_{12}$  și devin zero la momentul  $t^*_{12}$  .

3. La momentul  $t_{12}$ , diferența spațiilor pacurse reprezintă contracția maximă a tamponelor vagoanelor, remarcată pe diagrame :

$$(12) \quad x_1(t_{12}) - x_2(t_{12}) = D = D_1 + D_2$$

Măsurând experimental contracția tamponelor vagonului tamponat, s-a determinat o valoare medie  $D_{2med} = 85\text{mm}$  pentru cazul 1 (tampoane categoria A), respectiv  $D_{2med} = 98\text{mm}$  pentru cazul 2 (tampoane categoria C). Ținând cont de faptul că vagoanele au fost echipate în ambele cazuri considerate cu același tip de tampoane, se constată o concordanță foarte bună între valorile obținute experimental din diagrame și cele măsurate direct.

4. Momentul atingerii vitezelor finale ale vehiculelor  $v^*_1$ , respectiv  $v^*_2$ , în procesul de tamponare, este  $t = t^*_{12}$  și nu corespunde cu momentul  $t_2$  la care contracțiile izolatorilor de șoc se anulează și care marchează sfârșitul tamponării. Se remarcă intervalul de timp  $(t^*_{12} - t_2)$ , pe parcursul căruia contactul dintre talerele tamponelor se păstrează întrucât creșterea distanței dintre vehicule, cauzată de vitezele lor de deplasare, este compensată de destinderea tamponelor. Destinderea completă a tamponelor se produce la momentul  $t_2$ , moment considerat ca fiind finalul procesului de tamponare. Distanța relativă dintre vehicule, care rezultă din diagrama 3, la momentul  $t_2$ , este  $x_2 - x_1 = 45\text{ mm}$ , valoare confirmată de contracția remanentă la momentul  $t = t^*_{12} = 0,30\text{ sec.}$  din diagrama contracției medii a tamponelor funcție de timp, fig.4.

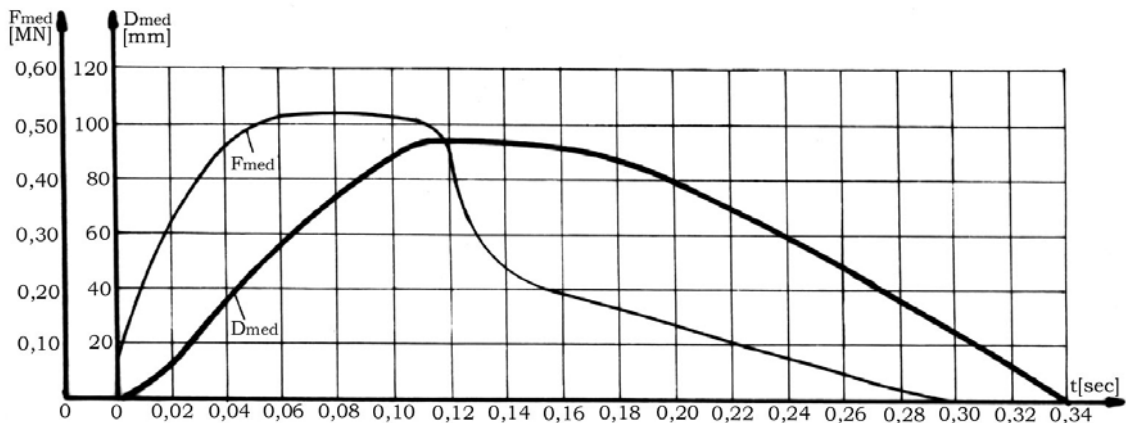


Fig.4 Evoluția în timp a forței medii "  $F_{med}$  " [ MN ] transmise și a contracției medii "  $D_{med}$  " [mm] la tampon categoria C

#### Cap. IV. Concluzii

Utilizarea unor izolatori de șoc cu o capacitate de înmagazinare a energiei potențiale de deformare are ca efect scăderea nivelelor accelerației transmise în timpul șocului cu urmări firești asupra accelerațiilor transmise vehiculelor la nivele ce să asigure protecția mărfurilor transportate și a confortului călătorilor.

## BIBLIOGRAFIE

- 1.- Bradley W. " Introducere în măsurarea șocurilor și vibrațiilor . Șocuri și vibrații ". Editura Tehnică , București - 1968 .
- 2.- Bendat J.S.; Piersol A.G. " Measurement and ananalysis of random data ". John Wiley and Sons Inc. New York , London , Sydney - 1966 .
- 3.- Biderman V. " Teoria mehaniceskih kolebanii " . Vîșaiia Skola , Moskva - 1980.
- 4.- Buzdugan Ghe. ; Blumenfeld " Tensometria electrică rezistivă ". Editura Tehnică , București - 1966 .
- 5.- Buzdugan Ghe.; Mihăilescu E.; Radeș M. " Măsurarea vibrațiilor ". Editura Academiei , București - 1979 .
- 6.- Buzdugan Ghe. " Izolarea antivibratorie a mașinilor ". Editura Academiei , București - 1980 .
- 7.- Broch J.T. " Mechanical Vibration and Shock Measurements ". Brüel - Kjaer Naerum - 1976 .
- 8.- Dally W.J.; Riley F.W. " Experimental stress analysis ". Mc. Graw - Hil Book Comp. New York - 1966 .
- 9.- Keil S. " Zur Spannungsanalyse mit Dehnungs-meßstreifen bei elastischer Werkstoffbeanspruchung ". HBM VD 83002 , nr. 24 - 1983 .
- 10.- Mocanu D.R. ; ș.a. " Analiza experimentală a tensiunilor ". Editura tehnică , București - 1976 .
- 11.- Mocanu D.R. ; ș.a. " Determinarea experimentală a eforturilor unitare ". Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor , bucurești - 1966 .
- 12.- Peters M.; Wilkening G. " Präzisionsmessung in der Kraftmeßtechnik ". ( VD 81.001 ) HBM Messtechnische Briefe 16 - 1980 .
- 13.- Rubin S. " Metode de analiză a rezultatelor măsurării șocurilor . Șocuri și vibrații " ( trad. l. engleză ) . Editura tehnică , București - 1968 .

---

\* Ion Copaci, prof. dr. ing. Universitatea "Aurel Vlaicu" Arad, [ioncopaci@gmail.com](mailto:ioncopaci@gmail.com)

## METODĂ COMPARATIVĂ PRIVIND STUDIUL EVOLUȚIEI UZĂRII ELEMENTELOR DE MĂCINARE LA O MOARĂ VENTILATOR

Dumitru CUIBAR\*  
Ciprian BĂNCILĂ\*\*

*Lucrarea prezintă o metodă practică, propusă pentru determinarea uzurii specifice paleților rotorici și pentru stabilirea dependenței dintre uzură și debitul de cărbune măcinat în cazul ai unei mori ventilator, plecând de la metodele aplicate anterior.*

Morile ventilator au o viteză de uzură mai mare decât alte tipuri de mori, ceea ce determină alegerea unor soluții tehnologice pentru piesele de uzură, care să poată fi înlocuite simplu și rapid. Pentru aceasta este necesar să fie cunoscută rezistența la uzură a diferitelor materiale din care sunt confecționate elementele de măcinare și, în special, comportarea lor în timpul procesului de măcinare. Uzura elementelor de măcinare [1], depinde de:

- 1) abrazivitatea cărbunelui,
- 2) granulația cărbunelui la intrarea în moară,
- 3) finețea prafului rezultat după măcinare
- 4) rezistența la uzură a materialului din care sunt confecționate elementele de măcinare,
- 5) construcția elementelor de măcinare,
- 6) tipul morii,
- 7) debitul morii.

Procesul de uzare este progresiv și neuniform pentru un palet de măcinare. Așa cum se poate observa din figura 1, uzura avansată se produce în zona fixării paleților pe discul rotor. Odată cu accentuarea procesului de uzare, se reduce finețea de măcinare a prafului de cărbune, cu efecte negative asupra procesului de ardere. În cazul arderii prin pulverizare, particulele grosiere nu au timp suficient să ardă, ceea ce duce la creșterea cantității de cărbune nears din cenușă - scăzând astfel randamentul arderii în cazan - la creșterea cantității de cărbune consumat pentru producerea energiei electrice și termice și evident, la creșterea gradului de poluare. După depășirea unui grad de uzare de siguranță, pot apare desprinderi de material, sau chiar ruperi ale elementelor de măcinare. Elementele desprinse dezechilibrează ansamblul rotor și induc vibrații mult mai mari decât limitele maxime admisibile în exploatare, ceea ce impune oprirea morii până la remedierea defectiunii. De cele mai multe ori desprinderea sau ruperea unui

element de măcinare implică antrenarea acestuia de către elementele aflate în mișcare, ceea ce duce la deteriorarea mai multor elemente de măcinare sau chiar la avarierea morii, creșterea duratei de indisponibilizare a morii și implicit creșterea cheltuielilor cu reparațiile.

Pentru remedierea defecțiunilor cauzate de avarierea elementelor de măcinare sunt necesare cantități mari de materiale și manoperă, iar timpul de indisponibilizare crește foarte mult, în unele cazuri putându-se ajunge chiar până la câteva luni.



Fig. 1 – Rotorul morii MV 50, după 1200 ore de funcționare a paleților de măcinare

Deteriorarea elementelor de măcinare este cauzată de uzura de abraziune, iar rolul de element abraziv îl are cărbunele măcinat. Uzura morilor ventilator se manifestă în special la paletele rotorului, dar și la blindajele statorice. Pe lângă caracteristicile cărbunelui măcinat, prezintă importanță și următoarele caracteristici:

- rezistența la uzare a metalului din care sunt executate piesele de măcinare ale morii,
- construcția elementelor de măcinare,
- comportarea pieselor de măcinare funcție de procesul de măcinare.

Pentru confecționarea elementelor de măcinare se utilizează de regulă oțelurile aliate cu mangan, deoarece manganul conferă duritate, o bună călibilitate și implicit o bună rezistență la uzare. La aceste oțeluri manganul este cuprins în domeniul 11,5 și 14,5 %. Oțelul manganos poate fi utilizat pentru confecționarea pieselor supuse uzării atunci când în timpul funcționării este supus la presiuni și la șocuri. Oțelurile manganoase au o rezistență la uzura abrazivă de aproximativ 10 ori mai mare decât a oțelurilor carbon care au aceeași rezistență mecanică.

Pentru morile ventilator paletele inferioare se pot executa din OT 45, iar paletele exterioare se pot executa din oțel manganos *T20Mn14*. În ultima perioadă se încearcă utilizarea unor materiale ale căror prețuri de achiziție să fie cât mai reduse, dar care să confere o bună comportare la uzare în timpul măcinării (spre exemplu OL 52).

La alegerea unui anumit material este necesar să se ia în considerare:

- criterii economice, care țin cont de frecvența înlocuirii diferitelor elemente de măcinare, costul execuției și al materialului acestora, valoarea manoperei de înlocuire a pieselor uzate;
- natura procesului de măcinare, prin impact sau strivire;
- ponderea componentelor dure din compoziția combustibililor.

Pe parcursul utilizării morilor ventilator pentru măcinarea cărbunilor inferiori, în special a lignitului, au fost aplicate o serie de metode care să permită creșterea duratei de viață a paleților rotorici [2]. Aceste metode s-au aplicat succesiv, iar rezultatele obținute au permis reducerea semnificativa a uzării paleților și creșterea duratei de viață a acestora de la 500-600 de ore inițial, până la 1500 de ore. Aceste metode au constat din :

- pe interiorul carcasei de alimentare s-au sudat plăci metalice (figura 2), având rolul de a dirija cărbunele care ajunge pe rotorul morii, astfel încât cărbunele să cadă pe toată lungimea paletului și nu preponderent în capătul dinspre discul rotoric.



Fig. 2 – Șicane pentru dirijare a fluxului de cărbune

- protejarea cordonului de sudură de asigurare a paleților pe discul rotoric și a zonele adiacente cordonului de sudură, prin aplicarea unor plăci din OL 52, așa cum se poate vedea în figura 3. Această metodă a făcut ca unghiul drept dintre paleți și discul rotoric să se transforme într-o suprafață curbă. Materialul de măcinat nu mai atacă direct paleta, ci plăcile protectoare. Curbura realizată redirijează cărbunele distribuindu-l uniform pe toată lungimea paletului, fapt care duce la uniformizarea uzurii.
- aplicarea unor cordoane de sudură cu electrozi pe bază de mangan pe muchiile de atac ale paleților confecționați din oțel austenitic manganos,
- montarea unor paleți de măcinare confecționați din OL 52.



Ultimele două metode sunt noi aplicate și nu au putut fi studiate pentru a se putea trage concluzii în privința comportării în funcționare și a evoluției uzării. În literatura de specialitate sunt trecute următoarele mărimi caracteristice ale procesului de uzare [1]:

- uzura specifică, exprimată în [g/t], sau [g/kWh],
- variația debitului de cărbune măcinat în funcție de creșterea uzurii.

Aceste marimi au fost determinate în condiții de laborator. Pentru a putea determina aceste mărimi în condiții normale de funcționare, trebuie să se măsoare cantitatea de material metalic pierdut prin uzare, cantitatea de cărbune măcinat și cantitatea de energie electrică ce se consumă în perioada de timp necesară măcinării unei cantități de cărbune.



Fig. 3 – Protejarea cordonului de fixare a paleților și a zonelor adiacente

Este cunoscut faptul că uzura unui material din care sunt confecționați paleții de măcinare, este dependentă și de caracteristicile tehnologice ale cărbunelui care se macină. Pentru a putea determina aceste caracteristici, este necesar ca ele să fie determinate în aceleași condiții. În condiții practice de funcționare este greu de realizat acest lucru, deoarece seturile de paleți care echipează rotorii morilor ventilator se confecționează din același material metalic, dar cărbunele utilizat are caracteristici diferite, în funcție de locul de unde achiziționat. Ca urmare, condițiile de funcționare sunt diferite, fapt care nu poate permite efectuarea unor analize eficiente și tragerea unor concluzii clare în acest sens.

Pentru a putea elimina o parte dintre aceste inconveniente, se propune ca pentru o moară care urmează să intre în reparații, să se aplice simultan următoarele măsuri. Rotorul unei mori este constituit din 12 seturi de câte 3 paleți. În acest caz, 6 seturi de paleți trebuie să fie confecționați din OL 52, iar 6 seturi din oțel manganos T20Mn14. Câte 3 paleți superiori confecționați din OL 52, respectiv T20Mn14, vor avea muchiile de atac întărite prin cordoane de sudură, iar celelalte 3 seturi nu vor avea muchiile protejate. Înainte de montare, paleții rotorici vor fi cântăriți. Dispunerea paleților pe circumferința rotorului se va face intercalat (atât ca material, cât și ca metodă de protejare a muchiiilor). După fixare se va proceda la echilibrarea dinamică a rotorului pentru a preveni funcționarea cu vibrații ridicate ale ansamblului rotoric. Șicanele din figura 2 vor fi montate, iar cordoanele de fixare a paleților pe discul rotoric vor fi protejate ca în



figura 3. Pe parcursul funcționării se vor face controale periodice pentru a se constata evoluția uzurilor, apariția eventualelor canale preferențiale de uzare, dacă apar diferențe semnificative în comportarea fiecărui palet în parte, sau să nu apară fenomene care ar putea pune în pericol funcționarea morii. Se vor măsura periodic vibrațiile lagărelor morii. După un ciclu complet de funcționare, sau când se constată că unul sau mai mulți paletii rotorici prezintă uzuri avansate, nemaiputând funcționa, se va proceda la demontarea tuturor paleților și cântărirea fiecărui palet în parte. Pe întreaga durată, se va măsura energia electrică consumată și cantitatea de cărbune măcinat de moară. În cazul în care este prevăzută o instalație de cântărire a cărbunelui pentru fiecare moară, se vor face estimări ale cărbunelui consumat prin formule matematice care țin cont de viteza de deplasare a alimentatorului cu cărbune și de înălțimea stratului de cărbune pe alimentator. Aceste determinări se vor efectua la fiecare oră, pentru a se putea obține valori cât mai exacte.

În urma acestor determinări se va putea stabili uzura specifică pentru paleții aleși, exprimată în [g/t] și [g/kWh], comparativ, în același timp, în aceleași condiții de funcționare, utilizând același cărbune, dar materialele din care sunt confecționați aceștia fiind diferite și în plus, muchiile de atac (zonele cele mai expuse la uzare) fiind protejate, respectiv neprotejate. Se vor putea trage concluzii despre comportarea celor două materiale (OL 52 și T20Mn14) la uzare, dar și despre compararea rezultatelor obținute în cazul muchiilor de atac întărite prin cordoane de sudură sau neprotejate. Se vor putea trasa curbele care stabilesc dependența dintre variația debitului de cărbune măcinat de către moară și evoluția gradului de uzură, pentru fiecare dintre materialele și metodele aplicate.

După obținerea curbelor și ale mărimilor caracteristice în condiții practice de funcționare și compararea lor cu cele teoretice, se vor putea trage concluzii privind noile metode care se vor aplica pentru creșterea duratei de viață a paleților rotorici și aplicarea unor materiale și soluții tehnice având costuri cât mai reduse.

## BIBLIOGRAFIE

1. PĂNOIU, N.; CAZACU, C.; MIHĂESCU, L.; TOTOLU, C.; EPURE A. – Instalații de ardere a combustibililor solizi, Editura Tehnică, București 1985.
2. CUIBAR, D. – Studii și cercetări privind posibilitatea creșterii fiabilității morilor pentru măcinarea cărbunilor folosite în CET-uri, prin înlocuirea materialelor pieselor puternic solicitate la uzare; Teză de doctorat; Universitatea Transilvania din Brașov; 2007.

---

\* Dumitru Cuiabar, drd. ing., S.C. Energy Saving Agency S.A., Brașov, Olteț nr. 11, tel 0268422025, e-mail: [dcu@esa.com.ro](mailto:dcu@esa.com.ro)

\*\* Ciprian Băncilă, drd. ing., Agenția Pentru Protecția Mediului Brașov, Politehnicii nr.3, tel 0268419013, e-mail: [director.executiv@apmbv.ro](mailto:director.executiv@apmbv.ro)

## PROPRIETĂȚI ALE OȚELURILOR UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIILE AERONAUTICE

Ion DINESCU\*  
Mihaela SMEADĂ\*\*

*Abstract: The aeronautic industry uses the already existing progresses in the research of the metallic and nonmetallic materials but the development of the technological progresses imposed the creation of new groups of materials and an improvement in the properties of the already existing materials so that the already existing patterns of the construction of the aeronautic technique to present the best endurance to mechanical challenges and temperature variations. This is why the present paper aims to present the influence of the accompanying elements upon the steels of carbon and also to characterize the alloyed steels that have special properties.*

### I. Oțeluri carbon

Oțelurile sunt aliaje Fe – C deformabile, limita între oțeluri și fonte – aliaje pentru turnare – fiind saturația soluției solide  $\gamma$  (2,11% C).

#### I.1. Influența elementelor însoțitoare asupra proprietăților oțelurilor carbon

Alături de componenții de bază și cei de aliere, se mai pot afla anumite elemente care ajung în procesele de elaborare și care nu pot fi eliminate complet în procesele de purificare. De fapt, eliminarea completă a unora nici nu se urmărește, ele neavând o influență nefavorabilă asupra proprietăților, ci, din contră, influențând uneori chiar favorabil proprietățile. Alte elemente însoțitoare exercită o influență negativă asupra proprietăților aliajelor ele fiind impurități nocive. Pentru fiecare din ele se vor specifica:

- sursa provenienței lor din oțelurile carbon;
- forma sub care se găsesc în oțel;
- cantități admise în oțeluri carbon;
- influența lor asupra structurii și proprietăților. [1, 5]

În categoria elementelor însoțitoare intră: Mn, Si, S, O, P, N și H.

*Manganul* ajunge în oțel din feromanganul introdus la elaborarea pentru dezoxidare și desulfurare. Fierul  $\alpha$  dizolvă la temperatura ordinară până la 10% Mn. Dizolvându-se în ferită, manganul o durifică, având deci o influență pozitivă asupra proprietăților mecanice. Rezistența la rupere și limita de curgere cresc cu circa 100 N/mm<sup>2</sup> pentru fiecare procent de Mn, alungirea la rupere fiind puțin influențată.

Cu carbonul, manganul formează carbura de mangan,  $Mn_3C$  care contribuie și ea la mărirea durității și rezistenței la rupere a oțelului.

Manganul are o influență pozitivă în oțelurile carbon și datorită faptului că el contracarează, în aceste aliaje, influența negativă a sulfurului. Având o afinitate mai mare pentru sulf decât fierul, în timpul elaborării oțelului, manganul leagă sulfurul în sulfura de mangan ( $MnS$ ), care are o influență mai puțin dăunătoare decât sulfura de fier.

Manganul se mai poate găsi în oțel și sub formă de incluziuni nemetalice cum sunt:  $MnO$ ,  $MnS$ ,  $MnO \cdot SiO_2$ ,  $(MnO)_2 \cdot SiO_2$ , care se prezintă în mod obișnuit sub formă de incluziuni alungite, în șiruri.

Cantitatea de mangan în oțelurile carbon este de maximum 0,8%. În cazul în care procentajul de mangan depășește 0,8%, oțelul respectiv este considerat un oțel aliat cu mangan.

*Siliciul* ajunge în oțel parțial din fonta brută, care a servit la elaborarea oțelului, parțial din căptușeala cuptorului de elaborare, din zgură și din ferosiliciul utilizat pentru dezoxidare.

Întrucât fierul  $\alpha$  dizolvă până la 14% Si la temperatura ordinară, în cea mai mare parte siliciul se dizolvă în ferită, ridicându-i acesteia duritatea și limita de elasticitate. Rezistența la rupere și limita de elasticitate cresc cu aproximativ 100 N/mm<sup>2</sup> pentru 1% Si, alungirea la rupere scăzând puțin. [3, 6]

Conținutul admis de siliciu în oțelurile carbon de construcție este de maximum 0,5% (în cantități de peste 1% Si, oțelul se consideră aliat cu siliciul).

*Sulfur* ajunge în oțel din fonta brută care a servit pentru elaborarea oțelului, iar în aceasta ajunge din minereuri și mai ales din cocsul utilizat la elaborarea fontei.

Așa după cum s-a arătat mai sus, manganul contracarează influența dăunătoare a sulfurului, datorită faptului că, având o afinitate mai mare decât fierul pentru sulf, el formează sulfura de mangan, înainte de a se putea forma sulfura de fier, iar sulfura de mangan se ridică la suprafața băii lichide, eliminându-se împreună cu zgura. În cazul în care rămâne în oțel, sulfura de mangan este mai puțin periculoasă, deoarece ea are o temperatură de topire mai ridicată (1620°C).

Din cauza aceasta, în oțelurile pentru automate, din care se execută piese mărunte (șuruburi, piulițe etc.) și care trebuie să dea o așchie fragilă, care să se rupă în bucățele, sulfurul se admite în cantități mai mari și anume de 0,15–0,30% S. În aceste oțeluri, care se prelucrează pe mașini automate, fără supraveghere permanentă, o așchie continuă prezintă pericolul înfășurării pe scule prelucrătoare, ceea ce ar duce la dereglarea sau chiar avariarea mașinii. [4]

*Fosforul* ajunge în oțel din fontă, iar în aceasta din urmă din minereu. În cazul aplicării procedurilor bazice, fosforul este în mare parte îndepărtat, astfel încât, în oțelul Martin bazic el rămâne doar în cantități de 0,02 – 0,04% P. În oțelul elaborat în cuptorul electric conținutul de fosfor este sub 0,02% P.

În oțelurile, destinate executării unor piese solicitate și la șocuri, pentru a se asigura o tenacitate corespunzătoare, conținutul admis de fosfor se încadrează în valori de sutimi de procent, în funcție de conținutul de carbon și de structura oțelului respectiv. Astfel, în oțelurile cu un conținut ridicat de carbon, cum sunt cele de scule în care și așa tenacitatea este mai redusă, conținutul de fosfor este limitat la 0,03% P. În oțelurile cu un conținut scăzut de carbon, care au în general o plasticitate și tenacitate mai bună, se admite un conținut de fosfor de maximum 0,04% P. În oțelurile destinate însă executării tablelor subțiri pentru ambușări adânci, ce pot fi efectuate numai la materiale cu o plasticitate foarte bună și o limită de elasticitate redusă, conținutul de fosfor trebuie să fie la limita inferioară (0,02 – 0,03% P).

*Oxigenul* se află dizolvat în soluție solidă  $\alpha$  (dar această cantitate este foarte mică, sub 0,05%), dar mai ales sub formă de oxizi. În timpul elaborării, o parte din oxizi și în special

cei cu diametru mai mare, se ridică la suprafață și se elimină împreună cu zgura, dar o bună parte rămân în oțel sub formă de incluziuni. [1, 3]

Întrucât în oțel, pe lângă fier și carbon, se găsesc și alte elemente, unele dintre ele introduse la operația de dezoxidare, pe lângă oxizii de fier, în structura aliajului mai apar și compuși ai oxigenului cu aceste elemente, ca de exemplu:  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  sau incluziuni cu o compoziție chimică destul de complexă ca  $(FeMn)O$ ,  $FeO \cdot SiO_2$ ,  $Al_2O_3 \cdot FeO$  și altele.

*Azotul* apare în oțel la elaborare din aerul aflat în mediul înconjurător. Astfel, în oțelurile electrice, conținutul de azot este mai ridicat decât în oțelurile Martin, iar în oțelurile elaborate în convertizor, mai ridicat decât în oțelurile electrice (variază între 0,01 – 0,03% N).

Deformarea plastică la rece favorizează separarea azotului din ferita suprasaturată și apariția fenomenului de fragilizare.

*Hidrogenul* ajunge în oțel în timpul elaborării fie din adaosurile care conțin hidrogen și care sunt introduse în oțel la elaborare (ferosiliciu, var), fie din căptușeala cuptorului sau a oalei de turnare. Pe de altă parte, hidrogenul mai poate fi absorbit de oțel și în timpul încălzirii aliajului solid, datorită fenomenului de difuzie. [5, 6]

Hidrogenul poate pătrunde în oțel și în timpul decapării, când el formează sulfuri de decapare. Combaterea pătrunderii hidrogenului se poate realiza prin adăugarea de inhibitori în soluțiile de decapare.

## II. Oțeluri aliate

### II.1. Influența elementelor de aliere

Oțelurile aliate sunt aliaje complexe ale fierului cu carbonul, care conțin în mod voit cel puțin un al treilea element (de aliere) într-o cantitate suficientă pentru a produce modificări sensibile în proprietățile fizico-mecanice, chimice și tehnologice ale acestor aliaje.

Elementele de aliere folosite în mod curent sunt: Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, iar în cazuri mai rare: Co, Ti, Al, Cu, Nb, Zr, B, N, Be etc.

Oțelurile aliate pot fi aliaje ternare, când conțin un singur element de aliere (Cr, Ni, Mn, Si etc.), cuaternare, când conțin două elemente de aliere (Cr–Ni, Cr–Mn, Cr–W etc.) sau polinare, când conțin mai multe elemente de aliere (Cr–Ni–Mo, Cr–Mn–V etc.).

Unele elemente pot exista în oțel în stare liberă (Pb, Ag, Cu) când sunt insolubile sau foarte puțin solubile, sau legate sub formă de oxizi, sulfuri, silicați (elemente care au o afinitate mai mare față de oxigen și sulf decât fierul); importanța și cantitatea admisă a acestor faze în oțel sunt foarte mici. [4]

Majoritatea elementelor de aliere se dizolvă în ferită (excepție C, N, O, B, S – elemente îndepărtate de fier în tabloul periodic al elementelor) și anume:

- cele așezate în sistemul periodic la dreapta fierului se dizolvă în ferită și nu formează carburi cu carbonul din oțel (Ni, Co, Si, Cu etc.);

- cele așezate la stânga fierului se repartizează între ferită și fazele carburice, o parte din conținut dizolvându-se în ferită și alta în cementită sau formează carburi speciale.

Variația calitativă și cantitativă a proprietăților oțelurilor aliate este funcție de natura, numărul și cantitatea elementelor de aliere adăugate precum și de raportul lor cu principalii componenți ai oțelului: fierul și carbonul.

### II.2. Oțeluri aliate cu proprietăți speciale

Aceste oțeluri sunt aliate cu diverse elemente de aliere, cu diferite grade de aliere, în scopul obținerii uneia sau a mai multor proprietăți fizice, chimice și mecanice cu valori

ridicate, de exemplu rezistivitatea electrică, refractaritatea, rezistența la coroziune, rezistența la uzură ridicată, coeficient de dilatare scăzut sau proprietăți magnetice deosebite. Sunt oțeluri de construcție, dar prin excepție unele se pot folosi și ca oțeluri de scule. [2, 4]

### **Oțeluri anticorrosive**

Sunt rezistente la temperatura ambiantă, la coroziune atmosferică și în medii agresive. Rezistența la coroziune se realizează fie prin neatacarea metalului de către agentul corosiv sau prin formarea unui strat superficial compact de oxizi sau alți produși, cu rezistență mare la acțiunea agenților atmosferici. Ca urmare, deosebim două categorii de asemenea oțeluri: inoxidabile și patinabile.

**Oțelurile inoxidabile** pot fi, după elementele de aliere folosite:

- oțeluri inoxidabile de crom
- oțeluri inoxidabile de crom și nichel.

**Oțelurile inoxidabile de crom.** Cromul conduce la starea inoxidabilă a oțelurilor la procente peste 12%. Aceste oțeluri se elaborează cu 11 – 14% Cr, la un procent de carbon cuprins între 0,08 – 0,44% C; pot fi feritice, ferito–martensitice sau martensitice. Sunt magnetice și au o mare rezistență la coroziune în atmosferă cu vapori de apă, în apă și unii acizi (azotic, acetic, boric etc.); nu rezistă în soluții de acid clorhidric și sulfuric. Au proprietăți maxime după tratamentul termic de călire și revenire înaltă (600 - 700°C).

Oțelurile inoxidabile cu Cr sunt în același timp și refractare; ele încep să se oxideze intens abia la temperatura de 750°C; pot lucra sub sarcină îndelungată la 500°C.

Oțelurile inoxidabile cu crom se folosesc la fabricarea supapelor și scaunelor de supape, tije de pistoane, palete de turbine, recipienti în industria chimică etc.

**Oțelurile inoxidabile cu crom și nichel.** Nichelul introdus în oțeluri le conferă o structură austenitică, mărește rezistența la coroziune, la fluj, ridică refractaritatea, rezistența mecanică, reziliența la temperaturi scăzute, dar ridică costul de șapte ori; sunt nemagnetice, au o sudabilitate bună, dar prelucrabilitatea prin așchiere și prin deformare plastică la rece se înrăutățește datorită ecrusării puternice.

Cele mai răspândite oțeluri sunt cele cu 18% Cr și 8% Ni (oțeluri 18 – 8), cu structură austenitică. În aliajele cu peste 0,4% C, la încălzirea peste 500°C, se pot separa carburi  $(CrFe)_4C$  în exces din austenita suprasaturată. Acest fapt reduce rezistența la coroziune, dând coroziune intercristalină. Fenomenul poate fi redus prin adăugare de elemente care au o afinitate mai mare față de carbon decât cromul (până la 0,8% Ti; până la 1,3% Nb, formându-se TiC și NbC); acestea sunt insolubile în austenită și nu se mai pot separa carburi de crom.

Deoarece Ni este un element scump și deficitar de multe ori se apelează la oțeluri inoxidabile austenitice Cr – Mn; Cr – Mn – Ni sau Cr – Ni – N.

Utilizare largă o au oțelurile 18 – 8, 18 – 10 și 17 – 13.

Aceste oțeluri prezintă cea mai ridicată rezistență la coroziune, în cele mai variate medii, fiind și refractare. Sunt utilizate în industria aeronautică, petroliferă, chimică, alimentară, transporturi și obiecte de uz casnic.

**Oțelurile patinabile** sunt oțeluri slab, dar complex aliate, cu un conținut redus de carbon (0,09 – 0,18%), caracterizate printr-o mare rezistență la coroziunea atmosferică. Conțin cca 0,35%Cu, 0,8%Cr, 0,2%Ni, 0,35%Si, 0,4%Mn, 0,03%V, 0,15%Mo. Rezistența la coroziune este obținută prin formarea în timp de 2-3 ani a unei pelicule (patine) de oxizi și sulfat complex de fier insolubil în oțel, brun-închisă, compactă, tenace și aderentă la suprafața oțelului. Rolul elementelor de aliere în formarea patinei protectoare nu este pe deplin lămurit. Standarul „Oțeluri de uz general pentru construcții rezistente la coroziune atmosferică” prevede două mărci: RCA 37 și RCB 52.

Aceste oțeluri au caracteristici mecanice ridicate, prelucrabilitate și sudabilitate bună și un cost scăzut. Sunt utilizate fără nici un tratament de protecție, la construcții metalice, placări cu aspect decorativ, poduri, estacade, stâlpi, acoperișuri, țevi de fum, schimbătoare de căldură etc.

### **Oțeluri rezistente la temperaturi înalte**

Sunt oțeluri care prezintă stabilitate chimică ridicată (rezistente la oxidare) și rezistență mecanică ridicată la temperaturi înalte. Se mai numesc și oțeluri refractare sau termostabile.

*Stabilitatea la temperaturi ridicate* rezultă din rezistența chimică la oxidare (la formarea de arsură). Pentru obținerea de aliaje stabile la cald trebuie să se evite formarea FeO (wüstitei) și să se favorizeze formarea Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Adăugarea de Al și Cr conduce la formarea de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, care dizolvându-se în Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> împiedică formarea oxidului feros (FeO), asigurând formarea unei pelicule compacte și aderente, cu rol de protecție. Oțelurile rezistente la oxidare la temperaturi înalte se vor alia cu Al, Cr și Si.

*Rezistența mecanică la temperaturi ridicate*, joacă un rol deosebit mai ales pentru solicitările de durată (fluaj), mai ales dacă se ține seama că rezistența scade sensibil cu temperatura și durata solicitării. În acest scop se aliază suplimentar cu elemente care formează carburi stabile (Mo, W, V etc.) și determină creșterea temperaturii de recristalizare pentru pragul de utilizare.

Oțelurile refractare se pot grupa după temperatura necesară de funcționare și presiunea la care lucrează.

Pentru temperaturi de 350-500°C se folosesc oțeluri feritice și perlitice, cu 0,3–0,5%C și conținuturi mari de Cr și Si (8–12%Cr, 2–4,5%Si); utilizate în construcția de cazane, turbine, supape de motoare cu ardere internă etc.

Pentru temperaturi de 500-650°C se folosesc oțeluri austenitice cu 12-30%Ni, 15–25%Cr, 3%Si și adaosuri de Ti, Mo, Co, cu puțin carbon (0,1–0,2%C) au o rezistență ridicată și sunt reprezentantele tipice ale acestei grupe. Structura lor este alcătuită din austenită și carburi. La temperaturile de lucru de 500 - 650° C are loc precipitarea fină a acestor carburi, însoțită de creșterea rezistenței și durtății.

În această categorie intră și oțelurile austenitice Cr–Ni 18–8, cu rezistența mai mică, dar care poate fi îmbunătățită prin adăugarea de Mo, Ti și Co.

Oțelurile din această categorie sunt utilizate pentru supape, palete pentru turbine cu gaze, piese în motoarele cu reacție etc. [2, 5]

Pentru temperaturi de 650 - 990° C se folosesc oțeluri cu conținuturi mai mari de Cr și Ni dar mai ales aliaje speciale.

Oțelurile refractare, prin înaltul grad de aliere cu Cr și Ni sunt rezistente la coroziune.

### **Oțeluri rezistente la temperaturi scăzute**

Pentru temperaturi sub 0°C (domeniul criogenic) se folosesc diferite categorii de oțeluri aliate în funcție de temperatura de lucru, ținând seama că tenacitatea se micșorează sensibil și de asemenea este influențată tendința de rupere fragilă.

În funcție de structura lor, oțelurile criogene pot fi: feritice, ferito-perlitice, martensitice sau austenitice. Oțelurile feritice au o comportare optimă în stare caldă; oțelurile feritice aliate cu nichel prezintă, în urma unui tratament termic adecvat (călire și revenire înaltă) reziliență ridicată chiar la temperaturi foarte scăzute. Oțelurile austenitice cu Ni păstrează o alungire remarcabilă la temperaturi joase, iar cele cu Cr – Ni prezintă creșteri apreciabile ale rezistenței la tracțiune, concomitent cu o bună ductilitate. [4, 6]



*Oțelurile slab aliate* cu Mn, Si, V, Al pot fi utilizate până la  $-80^{\circ}\text{C}$ , adăugarea de 0,5 – 0,8% Ni, micșorând mult tendința de rupere fragilă. Oțelurile slab aliate cu Cr–Mo, pot fi folosite până la  $-120^{\circ}\text{C}$ , iar la adaos de peste 0,1% Ni până la  $-185^{\circ}\text{C}$ .

*Oțelurile aliate cu Ni*, cu 2–10%Ni, prezintă o tenacitate substanțial mărită ca urmare a formării unei structuri austenitice fine și a apariției martensitice tenace Fe–Ni. Pentru temperatura de regim cuprinsă între  $60^{\circ}\text{C}$  și  $-60^{\circ}\text{C}$  se recomandă un conținut de 3,2–3,8% Ni, între  $-100^{\circ}\text{C}$  și  $-150^{\circ}\text{C}$  4,5–5,5% Ni, iar sub  $-200^{\circ}\text{C}$  se recomandă 8,5–5%Ni. În funcție de conținutul de nichel oțelurile acestea au structură ferito – perlitică, bainitică sau martensitică.

*Oțelurile aliate cu Cr–Ni* conțin sub 0,1%C, 16–26% Cr și 3,5–22%Ni și au o foarte bună tenacitate până la temperaturi apropiate de zero absolut ( $-273^{\circ}\text{C}$ ). Rezistența este sensibil îmbunătățită prin adaos mai ridicat de Ni și Mo sau N. Reziliența acestor oțeluri este foarte puțin influențată de temperatură, caracteristicile de plasticitate fiind superioare oțelurilor aliate numai cu Ni; ele au de asemenea o bună sudabilitate.

*Oțelurile aliate Cr–Mn* sunt folosite în scopul înlocuirii celor Cr–Ni; acestea conțin 13–22%Mn și 2–16%Cr, având structura austenitică.

Oțelurile criogenice se prezintă sub formă de produse laminate sau turnate în piese și sunt utilizate în construcții aeronautice, autovehicule și nave, agregate și mașini frigorifice, instalații de lichefierea gazelor, recipienți de stocat și transportat, construcții aeronavale etc. unde sunt supuse exploatarea la temperaturi între  $-10$  și  $-200^{\circ}\text{C}$ .

#### **Oțeluri cu proprietăți magnetice deosebite**

În funcție de caracteristicile fizico–magnetice: inducția magnetică remanentă (B), forța coercitivă (H) și permeabilitatea magnetică  $\mu = B/H$ , oțelurile aliate cu proprietăți magnetice speciale se împart în trei categorii [6]:

- oțeluri pentru magneți permanenți
- oțeluri remagnetizabile
- oțeluri nemagnetice.

*Oțelurile pentru magneți permanenți* au o inducție remanentă și o forță coercitivă mare. Forța coercitivă depinde de structură și de starea de tensiuni; călirea și ecruisarea măbind starea de tensiuni contribuie la creșterea forței coercitive. Ca urmare, aceste oțeluri se folosesc numai în stare călită cu revenire la temperatură joasă, când proprietățile magnetice au și un caracter izotrop. Forța coercitivă mare rezultă prin aliere cu 1,3–3,8%Cr ( $H=60–65\text{Oe}$  și  $B=9000–9500\text{G}$ ); aceasta crește foarte mult prin adăugare de 5–6,5%W și 5–30%Co. Pentru a asigura o călire uniformă oțelurile conțin 0,7–1,1%C. Aceste oțeluri prin îmbătrânire își pierd treptat din proprietățile magnetice, fenomen ce se accentuează cu creșterea temperaturii. Fiind dure și fragile nu pot fi prelucrate prin deformare plastică. [1, 2]

*Oțelurile remagnetizabile în cicluri* au pe lângă forță coercitivă mică, permabilitate magnetică înaltă, pierderi minime prin histerezis și rezistivitate ridicată, care conduce la scăderea pierderilor prin curenți Foucault.

În acest scop s-a folosit fierul Armco, un fier tehnic aproape curat, la care carbonul împreună cu impurități ca  $\text{Fe}_3\text{C}$ , MnS, FeO, FeS nu trec de 0,2%, care are  $B=0,75\text{Oe}$  și  $\mu = 5000 – 7500\text{Gs/Oe}$ , dar are rezistivitate mică.

Adăugând elemente solubile în fier, acestea produc soluții care cresc mult rezistivitatea, păstrând valori ridicate pentru  $H$  și  $\mu$ . Cele mai bune rezultate s-au obținut prin aliere cu Si. În tehnică aceste materiale sunt denumite „table silicioase” folosite pentru transformatoare și generatoare electrice. Oțelurile pentru transformatoare electrice (0,02%C; 3,8–4,5% Si, 0,005% P și sub 0,006% S) au o structură feritică; sunt fragile și posedă  $H=0,5–0,6\text{Oe}$ ;  $\mu=6000–8000\text{Gs/Oe}$ ;  $e = 55 – 60\Omega\text{ mm}^2 / \text{m}$ . Oțelurile pentru mașini rotative (0,1% C, 1–,5% Si) au o structură feritică, fiind mai puțin fragile și mai ieftine, dar cu proprietăți magnetice mai scăzute.



*Oțelurile magnetice*, care au inducția magnetică remanentă aproximativ egală cu forța coercitivă, deci care au permeabilitatea magnetică egală cu unitatea, sunt oțeluri austenitice, bogat aliate cu elemente gamagene (ex. 0,3%C, 23%Ni, 2,5%Cr), folosite în stare călită. Oțelurile cu Mn deși posedă calități magnetice mai bune nu se folosesc deoarece nu se pot prelucra prin așchiere. Sunt folosite pentru piese rezistente mecanic, care incluse în câmpuri magnetice să nu se magnetizeze.

#### **Oțeluri cu rezistivitate electrică mare**

Sunt oțeluri care posedă o rezistență electrică ridicată, coeficient de temperatură mic (variația rezistivității cu temperatura) și capacitatea de a rezista la oxidare la temperaturi ridicate (refractoritate). Aceste oțeluri au o structură omogenă, monofazică, aliate cu Ni și Cr și sunt folosite la confecționarea unor elemente de încălzire în cuptoarele și aparatele electrice. Cu largă utilizare sunt mărcile:

- Fecral, cu maxim 0,12% C, 17% Cr, 5% Al, restul fier, care rezistă până la 1100°C;
- Cromal, cu maxim 0,12% C, 26% Cr, 5% Al, restul fier, care rezistă până la 1200°C;
- Oțelul cu maxim 0,05% C, 25 – 27% Cr, 6 – 8% Ni și restul fier, rezistent până la 1300°C.

Aceste materiale au dezavantajul că prin încălziri îndelungate și repetate devin fragile.

#### **Oțeluri cu proprietăți termice speciale**

Aceste oțeluri au un coeficient de dilatare liniară cu temperatura foarte mic, dilatarea variind liniar cu concentrația pentru aliajele tip amestec mecanic și după o curbă în cazul aliajelor soluții solide, nedepășind însă valorile compozițiilor. Pentru obținerea unor coeficienți mici de dilatare oțelurile se aliază cu Ni sau Ni și Cr. Astfel de oțeluri sunt:

*Invarul*, cu maxim 0,3% C, 35-37% Ni, restul fier, având un coeficient de dilatare de opt ori mai mic decât fierul; practic nu se dilată până la 100°C. Este folosit la fabricarea etaloanelor de lungime, cronometrelor etc.

*Platinitul*, cu maxim 0,3% C, 42-48% Ni, restul fier, care se remarcă printr-un coeficient de dilatare termică egal cu cel al sticlei și al platinei ( $9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Este folosit ca înlocuitor al platinei la piesele ce se îmbină cu sticla, trebuind să aibă o dilatare egală la încălzire (soclul unor becuri cu incandescență, aparatură fizică etc.)

*Elinvarul*, cu maxim 0,3 - 0,4% C, 35 – 37% Ni, 8 – 12% Cr, restul fier, care are coeficient mic de dilatare și un modul de elasticitate ce nu se modifică cu temperatura până la 100°C. Folosit pentru pendule, arcuri pentru mecanismele aparatelor de bord, diapazoane etc.

#### **Oțeluri martensitice de mare rezistență**

O categorie aparte de oțeluri de construcție o constituie oțelurile înalt și complex aliate, de mare rezistență, având  $R_{p0,2}=1500-1800 \text{ N/mm}^2$ ,  $R_m=2200-2500 \text{ N/mm}^2$ ;  $A_5=80\%$ ;  $KCU = 60 - 100 \text{ J/cm}^2$ . Conțin 18 – 26% Ni, 0,15 – 1,6% Ti, 0,15 – 0,40 % Al, 0,3 – 0,5% Nb, 8 – 10% Co, 3 – 5% Mo, și un conținut de carbon de 0,03%. Aceste oțeluri se durifică prin precipitare (îmbătrânire). După călire (în aer) oțelul este format dintr-o martensită săracă în carbon, caracterizată prin  $R_m$  și  $R_p$  mari, alături de o plasticitate ridicată. Prin revenire la 480 - 500°C se precipită particule fin disperse de TiNi sau Ni<sub>3</sub>Ti care măresc considerabil rezistența la rupere păstrând o mare plasticitate. În stare călită aceste oțeluri sunt deformabile și pot fi prelucrate prin așchiere și sudare. Aceste oțeluri pot fi prelucrate atât prin deformare cât și de turnare. Sunt cunoscute sub denumirea de oțeluri *Maraging* (de la martensită și „aging” - îmbătrânire).

## Bibliografie

1. COLAN, H., ș.a., *Studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
2. DINESCU, I., *Tehnologia materialelor, Materiale tehnologice*, Editura Academiei Aviației și Apărării Antiaerine „Henri Coandă”, Brașov, 2000.
3. MITELEA, I., BUDĂU V., *Studiul metalelor – îndreptar tehnic*, Editura Facla, Timișoara, 1987.
4. PÂNZARU, S., DINESCU I., *Materiale utilizate în producția specială*, Editura Academiei Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, Brașov, 2002.
5. SMEADĂ, M., DINESCU I., *Materiale convenționale utilizate în inginerie*, The 11<sup>th</sup> International Conference, Sibiu, 23-25 Noiembrie 2006.
6. SMEADĂ, M., MANIU Al., *Materiale utilizate în tehnica de aviație*, Sesiunea de comunicări științifice cu participare internațională, Brașov, 11-12 Mai 2007.

---

\* Ion Dinescu, profesor univ. dr. ing., Academia Forțelor Aeriene “Henri Coandă”, Brașov, Mihai Viteazu, nr. 160, tel. 0268/423421, e-mail: dinescuion@yahoo.com

\*\* Mihaela Smeadă, lector univ. drd. fiz., Academia Forțelor Aeriene “Henri Coandă”, Brașov, Mihai Viteazu, nr. 160, tel. 0268/423421, e-mail: mihaelasmeada@yahoo.com

## UNELE ASPECTE CARE AU CONDUS LA IDEEA MATRIȚĂRII SEMIFABRICATELOR TURNATE DIN FONTĂ CU GRAFIT NODULAR

Mihai Ciprian FODOR\*  
Viorel DAN\*\*  
George DRAGOȘ\*\*\*  
Iosif Andrei FODOR\*\*\*\*

*In the 1930's the cast iron was considered an alloy not suited to be deformed to get pieces used in machines building.*

*The capacity of the cast iron to be deformed at high temperature is influenced by the basic metallic body and the graphite shape, besides the carbon and others elements concentration. In certain conditions of temperature and tensions, the deforming capacity of the cast iron converges to the one of the steel. Thus, the mechanical properties are improved and the resistance properties converge to the one of the quality carbon steel.*

**Key words:** *cast iron deformation, nodular graphite.*

Până la începutul anilor 1930 și mai mult încă după aceea, fonta era considerată un aliaj Fe-C-Si care nu se pretează a fi deformat la cald în vederea obținerii unor piese utilizate în construcția de mașini.

În conformitate cu părerile unor cercetători, referitor la capacitatea de deformare la cald, nu există o limită bine conturată între oțel și fontă, ci mai degrabă există o trecere continuă, în sensul că în anumite condiții de temperatură și stare de tensiuni, posibilitățile de deformare a fontei se apropie de cele ale oțelului. Afirmația că, capacitatea de deformare scade cu creșterea conținutului de carbon nu este întrutotul valabilă, deoarece la fonte această capacitate este hotărâtor influențată de masa metalică de bază și de forma grafitului.

Cu toate că în ultimul timp s-au cules date despre capacitatea de deformare a fontelor, s-a constatat că aceasta este mult mai mică decât a oțelului. Se poate pune deci cu justificare întrebarea de ce s-a încercat cercetarea capacității de deformare a unui material, dacă el se pretează mai puțin la această tehnologie.

Cercetările sistematice privitor la deformarea la cald a fontelor au început în anul 1930 când s-au făcut încercări privind deformarea prin laminare la cald a fontelor. Până atunci s-au semnalat capacitatea de deformare a fontei în cercetări răzlețe. PIWOWARSKY, SCHLEGEL, WITTMOSER și alții [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] au ajuns la concluzia că la

fontele laminate la cald, proprietățile mecanice se îmbunătățesc pe direcția laminării comparativ cu proprietățile în stare brut turnată afirmând: ”fonta devine prin deformare la cald un material cu utilizări multiple, a cărei proprietăți de rezistență se apropie de cele ale oțelului carbon de calitate[3]”

Proprietățile care avantajează fontele față de oțel, cum ar fi comportarea bună la uzură, amortizarea șocurilor, comportarea bună la fluaj, etc. se păstrează în general și la fonta deformată, așa încât la fontele deformate la cald obținem o combinație fericită a proprietăților importante ale oțelului și fontei și prin aceasta un domeniu mai larg de utilizare.(fig. 1)[3].

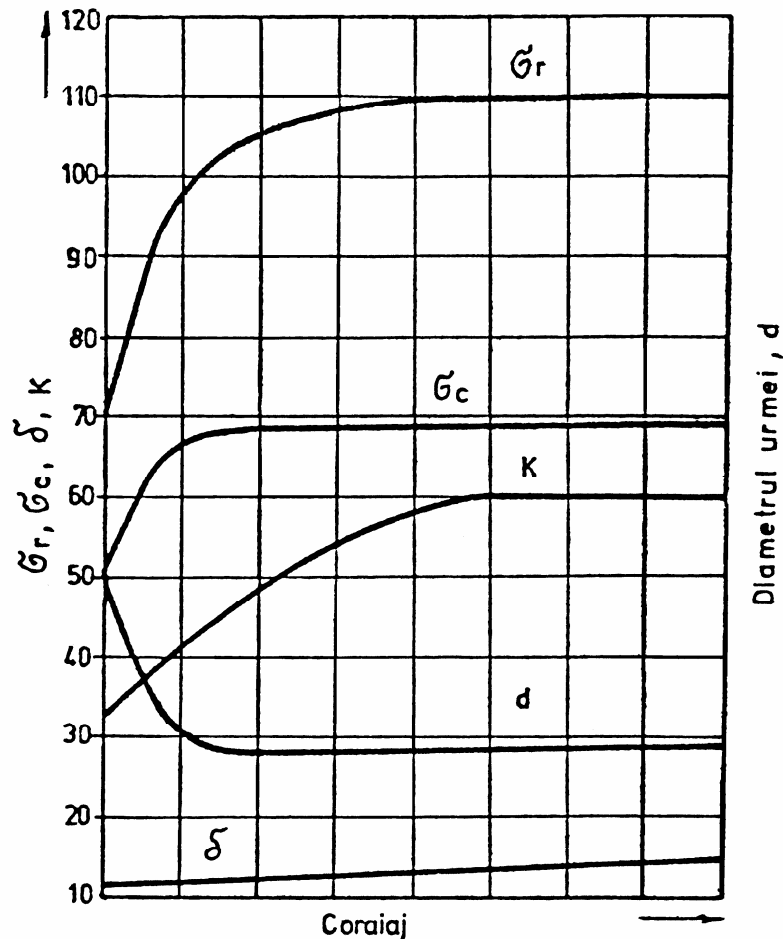


Fig.1 Influența gradului de deformare (coroiaj) asupra proprietăților mecanice ale fontei cu grafit nodular

Cercetările lui PIWOWARSKZ [3] au stabilit că fonta albă și mai ales cea cu grafit nodular se comportă cel mai bine la deformarea la cald.

De aceea s-a propus pentru deformarea la cald o fontă albă cu următoarea compoziție: C= 2,6...3%; Si= 0,7...1,1%; Mn= 0,6%; P= max.0,15%. S-a arătat de asemenea în lucrările enumerate mai sus că un conținut de carbon mai mare de 3% reduce considerabil capacitatea de deformare la cald a fontei.

Privitor la conținutul în fosfor, în lucrarea [4] se prezintă diagrama din fig. 2 care arată că un conținut de fosfor de peste 0,15% duce la fisurarea brutală a fontei la temperaturi de peste 950<sup>0</sup> C și recomandă ca fonta cu 0,1%P poate fi laminată între 650<sup>0</sup>C...1100<sup>0</sup>C iar fonta cu P> 0,1% numai în limitele 700...850<sup>0</sup>C.

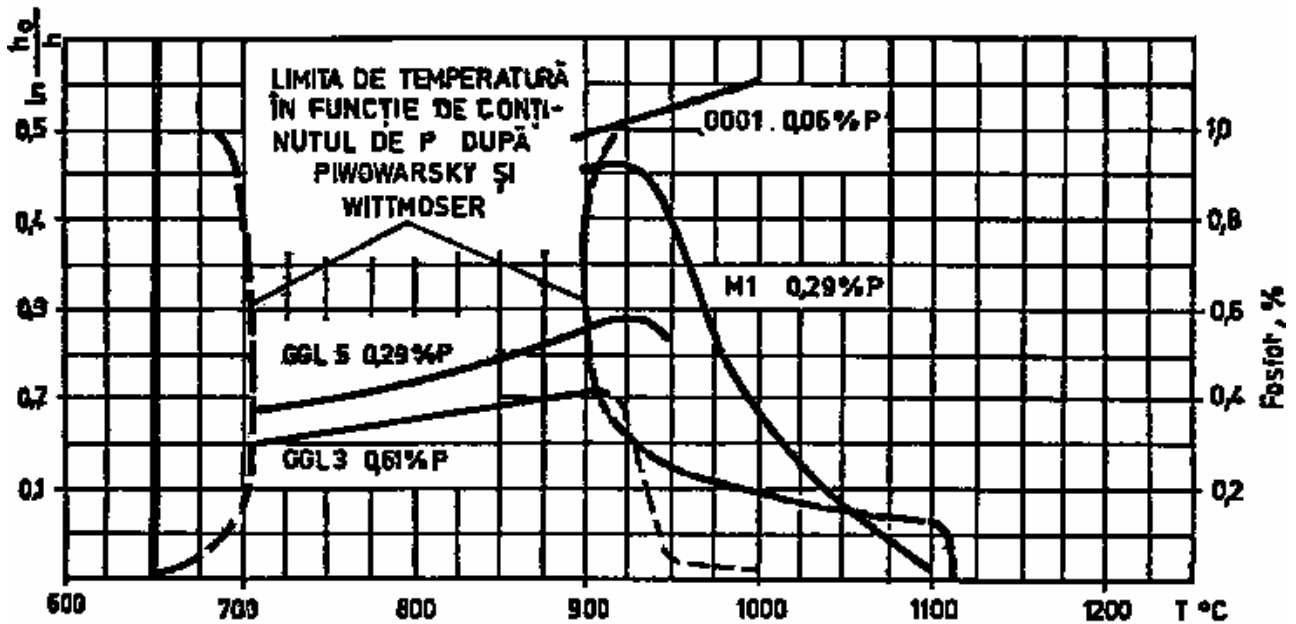


Fig.2 Influența conținutului de fosfor asupra domeniului de temperatură optim pentru deformarea la cald a fontei

În legătură cu influența conținutului de siliciu asupra rezistenței la deformare prin refulare la fonta cenușie în funcție de temperatură până la  $700^{\circ}\text{C}$ , W.SCHLEGEL [7] arată că cu creșterea conținutului de siliciu, rezistența la deformare scade, fig3. De remarcat este faptul ca influența siliciului este tratată la temperaturi subeutectice, fără a se face referiri la temperaturi peste  $700^{\circ}\text{C}$ .

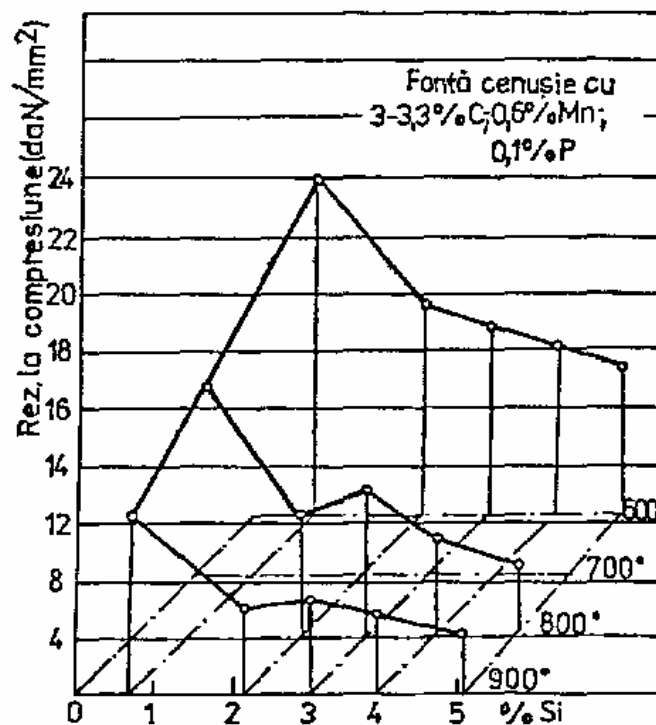


Fig.3 Influența conținutului de siliciu asupra rezistenței la deformare la cald a fontei

Din analiza lucrărilor enumerate mai sus rezultă următoarele aspecte de parametrii metalurgici, care controlează procesul de deformare la cald:

- gradele limită de deformare admisibile în funcție de temperatura de deformare
- influența vitezei de deformare și a temperaturii de deformare asupra rezistenței la deformare
- procesele de recristalizare statică și dinamică
- modificările structurale și ale proprietăților mecanice în funcție de gradul de deformare.

În România primele cercetări semnalate în legătură cu deformarea la cald a fontelor cu grafit nodular, în cuiburi (maleabilă) și a fontei albe au fost efectuate de I. DRĂGAN [12] de la Institutul Politehnic Cluj în ideea că matrișarea unor semifabricate turnate din aceste materiale ar putea căpăta o extindere mai mare și în industria românească.

Matrișarea multor piese ridică probleme dificile privitor la unele faze pregătitoare ale matrișării în finală, iar pe de altă parte de gradul de pregătire a semifabricatului este strâns legat de posibilitatea obținerii în bune condițiuni a piesei în cavitatea finală de matrișare.

Pierderile de material în bavură sunt în general mari la piesele care au treceri bruște de la o secțiune la alta sau la piesele în formă de inel și cadru unde apar timpane de dimensiuni mari. S-a constatat însă că se pot îmbunătăți substanțial proprietățile mecanice ale unor piese turnate și apoi matrișele.

Prezumția modificării unor caracteristici mecanice în sensul creșterii lor, datorită deformării la cald se datorează următorilor factori:

- a. micșorarea mărimii greutăților
- b. micșorarea microsegregațiilor
- c. atenuarea sau înlăturarea completă a retasurilor sau a microporozităților
- d. apariția unei structuri orientate datorită alungirii grăunților, a incluziunilor și a dendritelor în sensul deformării printr-o micșorare a distanțelor inter și intradendritice.

Un rol important din factorii enumerați mai sus îl constituie la piesele turnate, microporozitățile. Aceste microporozități și microretasuri de mărimi diferite, care sunt localizate mai frecvent în spațiile interdendritice se datorează bulelor de gaze prezente în metalul lichid ca urmare a următorilor factori:

- a. conținut ridicat de hidrogen și azot în baie
- b. o defectuoasă dezoxidare a băii
- c. descompunerea vaporilor de apă din forma de turnare.

Este evident că prin reducerea la minim a secțiunii lor transversale, sau a închiderii lor complete se mărește secțiunea sănătoasă a piesei, deci cresc caracteristicile mecanice ale ei. Acest aspect se poate urmări dacă considerăm modul cum se deformează microporozitățile sau golurile care apar în urma turnării în condițiile unei anumite stări de tensiune, de comprimare pe toate fețele semifabricatului, fig.4 [12] când  $b_0=b_1$  înălțimea lor se micșorează fără a se mări lățimea.

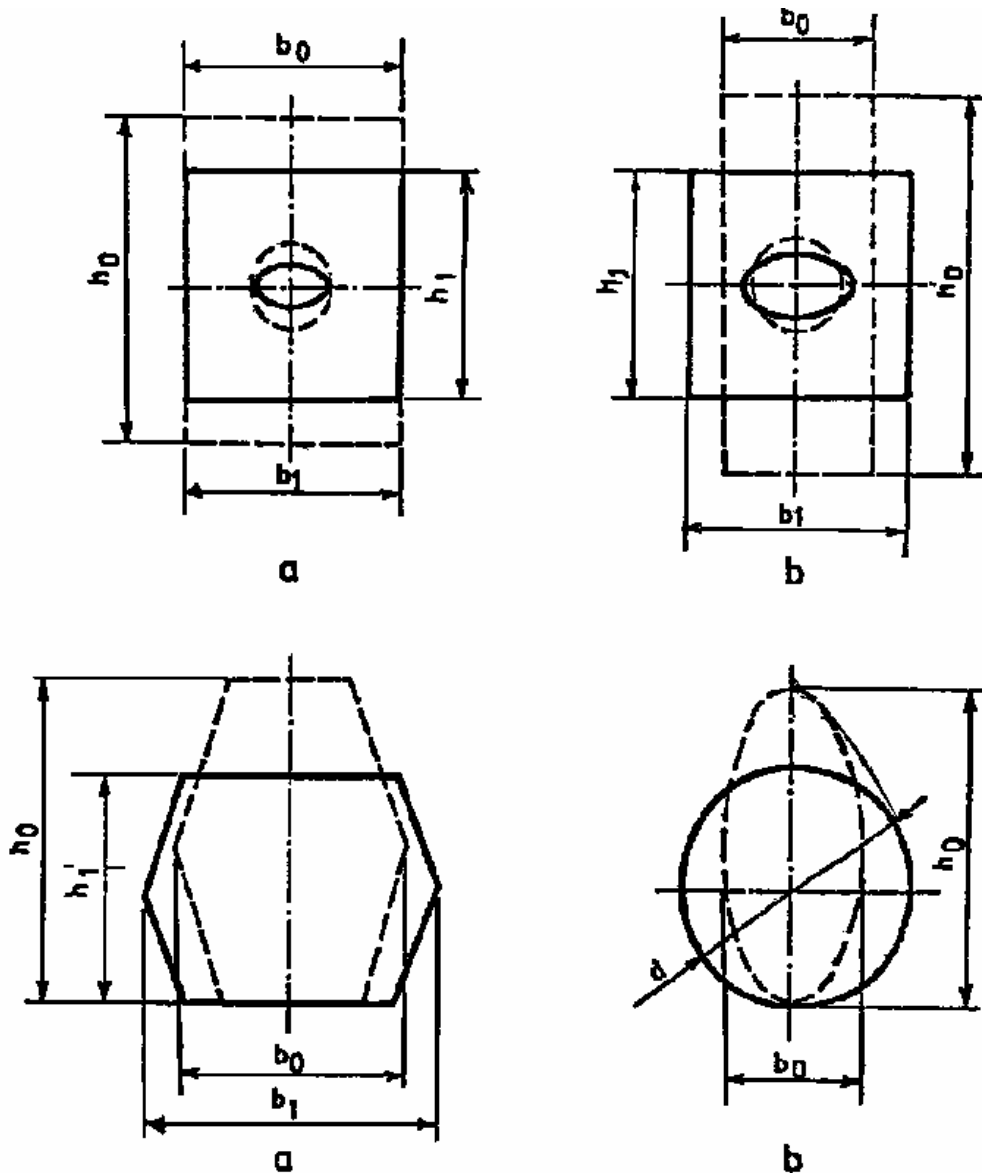


Fig.4 Modul cum se deformează microporozitățile în anumite stări de tensiune (comprimare pe toate fețele)

Acest mod de deformare convine deci din punct de vedere al închiderii golurilor de turnare în zona de contact a rețelei de turnare cu piesa sau maselotei cu piesa. Având în vedere faptul că în general planul de separație pentru matricele de forjare coincide cu planul de separație al pieselor turnate, o parte din metalul deformat curge în baură, se poate anticipa faptul că porozitățile și golurile care apar în zonele de alimentare al semifabricatelor turnate vor curge în baură și se vor închide complet.

Importanța deformării la cald asupra închiderii microporozităților a fost subliniată și de CROUSATIER [14]. Aceasta a făcut cercetări de punere în evidență a închiderii microporozităților pieselor turnate din oțel prin deformare plastică la cald conform schemei din fig.5 [14] observând o creștere însemnată alungirii oțelului turnat și presat la cald în comparație cu cel turnat, fig.6 [14].



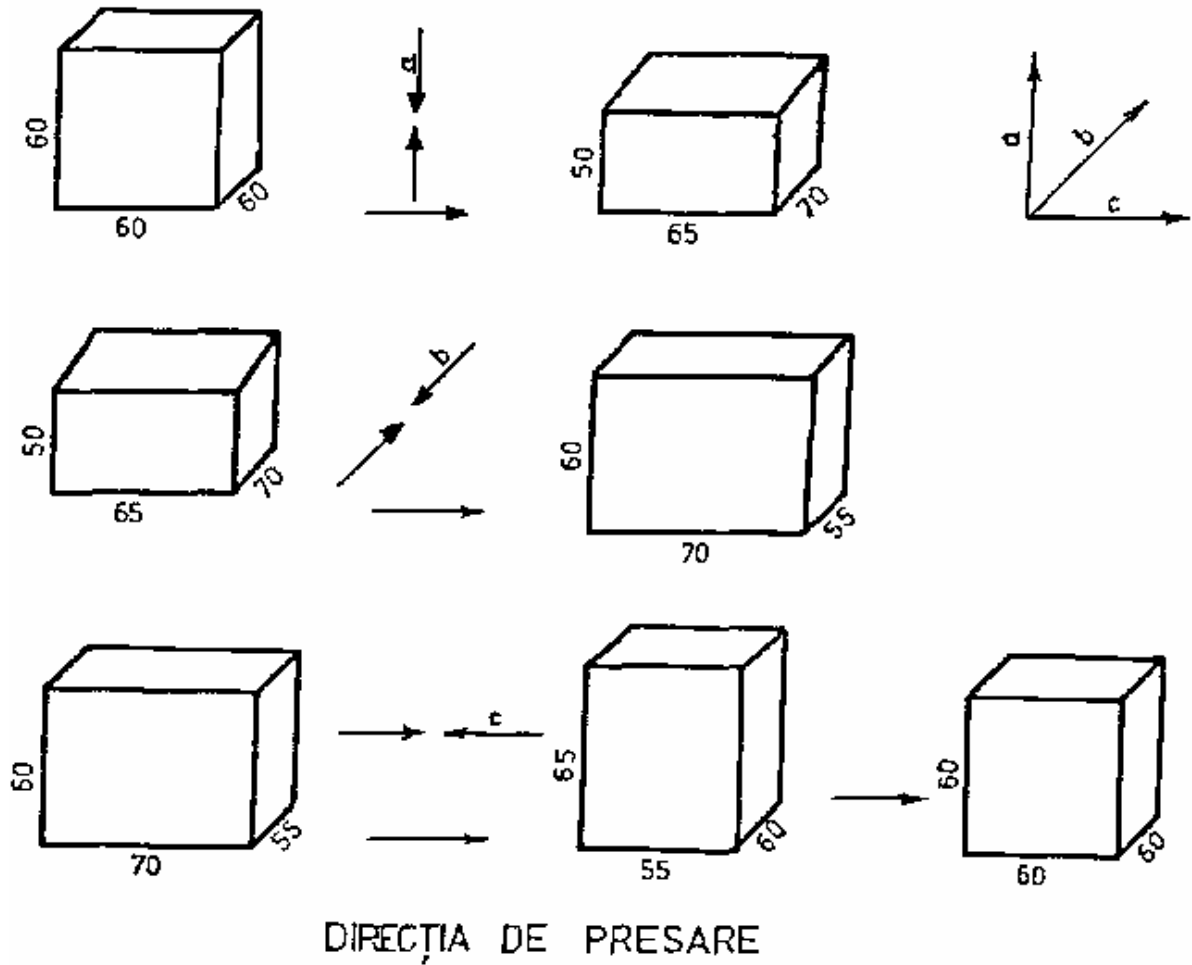


Fig. 5 Schema stării de tensiuni care duc la închiderea porozităților pieselor turnate prin matrițare

Din cele de mai sus rezultă că deformarea la cald a semifabricatelor turnate prezintă următoarele avantaje din punct de vedere tehnico-economic:

a. îmbunătățește principalele caracteristici mecanice ale metalului prin închiderea porozităților rezultate din turnare și prin mărirea capacității acestuia;

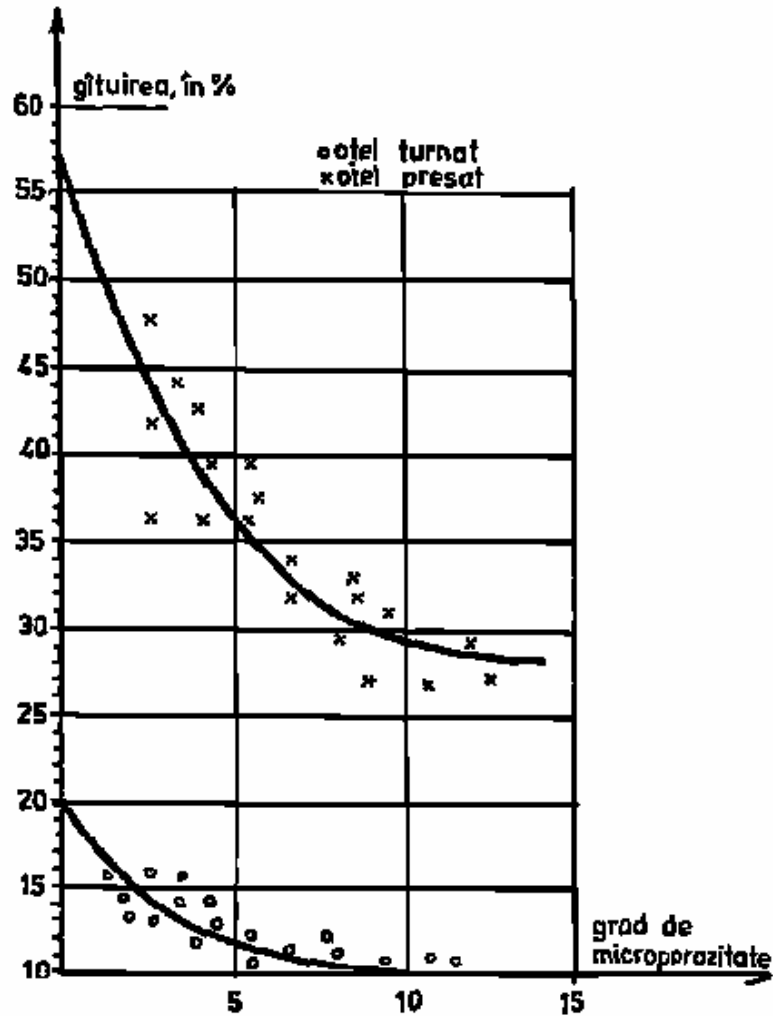


Fig.6 Influența presării la cald asupra scăderii gradului de porozitate a oțelului turnat

- b. elimină execuția unor matrițe mari și costisitoare prin folosirea unei singure cavități, cea pentru deformarea finală;
- c. asigură o considerabilă economie de energie prin eliminarea încălzirilor repetate la trecerea de la o fază de matrițare la alta, sau prin matrițarea semifabricatului turnat din caldul obținut de la turnare;
- d. elimină pierderile prin oxidare datorită unei singure încălziri în vederea matrițării.

#### BIBLIOGRAFIE

1. E.PIWOWARSKI – Fonte de înaltă calitate – Ed.Tehnică, București, 1971
2. E.PIWOWARSKI, A.WITTMOSER – Gewalztes Gusseisen – Essen, 1942
3. E.PIWOWARSKI, A.WITTMOSER – Warmerformer Gusseisen, ZVD, Bd.91 (1941), p.183-185
4. W.SCHLEGEL – V.D.I. – Nachrichten, no 16, 1967, p.5-7

5. H.A.Nipper – D.R.P. – 634.904 (Brevet invenție)
6. H.A.NIPPER, E.PIWOWARSKI – Die plastiche Verformungdes Gusseisen, Giesserei Bd 28 (1941)
7. W.SCHLEGEL – Giesserei, 1953, p.455-461
8. A.WITTMOSER – Zum hentigen Stand der Warmvornung von Gusseisen – Z.Metallkunde Bd.45/1954, p.127-136
9. A.WITTMOSER – Gusseisen mit Kugelgraphitals Konstruktionswerkstoff, VDP Bd.93/1951, p.49-57
10. E.PUNKSOV, E.I.BRESKOWSKI – Untersuchung des Walzen von Gusseisen mit Kugeligen Graphit, Stahl und Eisen, Bd.75/1956, p.661
11. R.BARTON – Metal Forming, nov.1966, 32, no.254, p.433-441
12. I.DRĂGAN – Contribuții la studiul deformabilității la cald a metalelor și aliajelor prin metoda torsiunii, Teză de doctorat, 1965, IPC – Cluj
13. I.DRĂGAN – Matrițarea semifabricatelor turnate, Metalurgia, no.10, 1963
14. J.CROUSATIER – Memoires scientifiques de la revue de metallurgie, no.11, 1974

---

\* Mihai Ciprian Fodor, Drd. Inginer, Universitatea Tehnica Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105 Cluj-Napoca, tel: 0740.027486, e-mail: [mihai.fodor@yahoo.com](mailto:mihai.fodor@yahoo.com)

\*\* Viorel Dan, Conf. Dr. Ing., Universitatea Tehnica Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105 Cluj-Napoca, tel: 0264/401.624, e-mail: [vdan30@yahoo.com](mailto:vdan30@yahoo.com), [viorel.dan@sim.utcluj.ro](mailto:viorel.dan@sim.utcluj.ro)

\*\*\* George Dragoș, Drd. Inginer, Universitatea Tehnica Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105 Cluj-Napoca, tel: 0768.972248, e-mail: [ronin\\_katana1979@yahoo.com](mailto:ronin_katana1979@yahoo.com)

\*\*\*\* Iosif Andrei Fodor, Drd. Inginer Universitatea Tehnica Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105 Cluj-Napoca, tel: 0745.307262, e-mail: [fodordea@yahoo.com](mailto:fodordea@yahoo.com)

## ANALIZA DINAMICĂ A PALEI DE ELICOPTER

Lavinia GAVRILĂ\*

*Abstract: Behavior analysis of the current structures forming a helicopter blade made in order to identify their different and inherent pulsations and vibration modes requires an idealization which takes into account structure details. The Holzer-Myklestad numerical method used for the dynamic blade analysis leads to results without using high-performance computers.*

### I. Considerații introductive

Soluțiile analitice generează soluții foarte bune, în problema vibrațiilor, singurele probleme fiind generate de variațiile coeficienților ecuațiilor de mișcare, chiar în cazul menținerii constante a proprietăților structurale.

Rotorul real (convențional) este construit cu variații ale secțiunii și ale masei de-a lungul palei, ceea ce determină ca solicitările și implicit sarcinile să fie variabile în secțiune, de aceea se utilizează metode numerice pentru determinarea proprietăților modale.

### II. Tehnica determinării pulsațiilor proprii și modurilor proprii de vibrație Holzer-Myklestad

Bazele acestei metode constau în modelarea structurii într-un număr discret de mase (elemente) rigide cu interconectări între ele.

Considerând modelul reprezentat de un sistem elastic cu N grade de libertate, se analizează echilibrul unui element de masă  $m_{n+1}$ .

Ecuțiile mișcării oscilatorii, pe un element, sunt[6]:

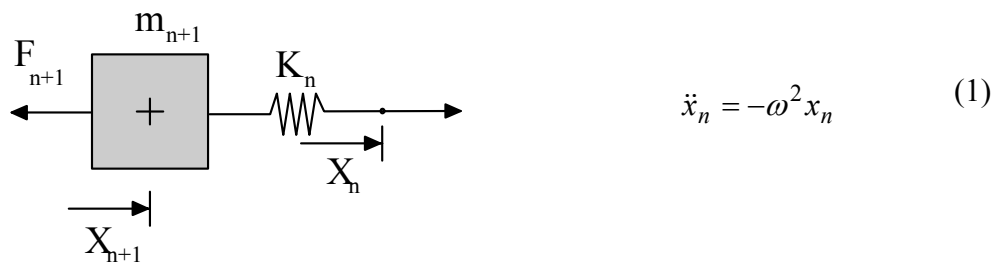


Fig. 1 Echilibrul unui element de masă  $m_{n+1}$

De aceea, următoarele două ecuații pot fi scrise sub forma:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F_n}{k_n} = x_n - \frac{1}{k_n} F_n \quad (2 a)$$

$$F_{n+1} = F_n + m_{n+1} \omega^2 x_{n+1} \quad (2 b)$$

sau sub formă matriceală:

$$\begin{Bmatrix} x_{n+1} \\ f_{n+1} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{k_n} \\ m_{n+1} \omega^2 & 1 - \frac{1}{k_n} m_{n+1} \omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_n \\ F_n \end{Bmatrix} \quad (3)$$

cu condițiile inițiale:

$$F_1 = m_1 \omega^2, \quad x_i = \Delta \quad (4)$$

Matricea (3) se numește matrice de transfer. Aceste ecuații de bază pot fi utilizate pentru fiecare element începând cu  $n=1$ , prin asumarea valorii pulsației  $\omega^2$ , până la ultimul element al structurii.

Valoarea corectă a lui  $\omega^2$  va determina condițiile la limită corecte la ultimul element al structurii. În general, orice valoare aleasă arbitrar pentru pulsație va fi incorectă și trebuie utilizate iterații succesive pentru a obține valoarea corectă.

Iterațiile, în acest caz, se fac prin puncte sau mai bine zis prin urmărirea valorilor către stânga (conform desenului), până la atingerea condițiilor limită prin comparare cu valoarea arbitrară a lui  $\omega^2$ .

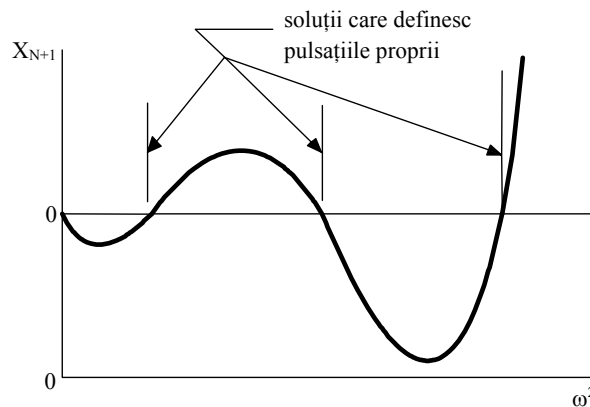


Fig. 2 Determinarea pulsațiilor proprii

Iterațiile constau în varierea valorilor pătratului pulsației și căutarea intersecțiilor cu axa pătratului pulsației unde deplasarea este nulă, așa cum se observă în figura. 2 .

### III. Aplicații la o bară rotitoare (pală)

Analiza vibrațiilor libere caracteristice palei de elicopter folosind metoda Holzer–Myklestad necesită o extindere a studiului vectorului de stare.

Numărul de elemente care descriu starea vectorială trebuie să fie de minim 4. Se consideră în figura 3 mișcarea de bătaie a unei pale (bară rotitoare), discretizată de-a lungul razei (anvergurii), elementele fiind mase concentrate legate între ele de elementele elastice de masă neglijabilă [2].

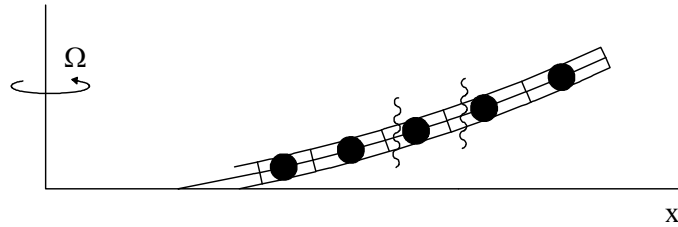


Fig. 3 Discretizarea elastomecanică a unei pale ca bară rotitoare

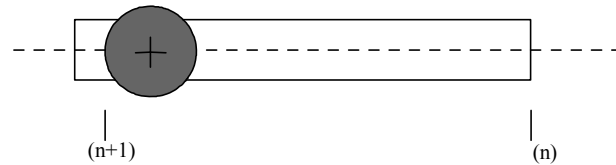


Fig. 4 Segment al barei

Elementul luat în studiu (pentru a fi iterat) are masa concentrată la capătul din stânga. Se notează elementul ales cu  $\{ \}^s$ . În acest caz matricea de transfer a elementelor (stânga) pe care o căutăm poate fi scrisă sub forma (5) pentru a îndeplini condițiile la limită.

$$\{ \}^s = [R_n] \{ \}_n^s \quad (5)$$

Matricea de transfer poate fi scrisă în cascadă de la un element la altul pentru a îndeplini condițiile la limită, de la rădăcină (butuc) la vârf [2].

$$\{ \}_B^{(butuc)} = [R_n][R_{n-1}] \dots [R_1] \{ \}_V^{(varf)} \quad (6)$$

În relația (6), condițiile limită sunt încorporate în  $\{ \}_B^s$  și  $\{ \}_V^s$  așa cum a fost precizat anterior.

Se consideră modificarea unei matrice tipice de transfer așa cum a fost definită, aplicată unui element de pală.

Fie elementul împărțit în două părți distincte:

- o masă concentrată asociată mărimilor: masa -  $m_{n+1}$  și momentul de inerție -  $I_{n+1}$ ;

- un element elastic de masă neglijabilă, atașat spre dreapta masei concentrate, notat  $\{ \}_{n+1}^d$  ca în fig. 5.

Cele două părți fiind asociate una alteia, în punctul de referință al segmentului de-a lungul palei, (conform desenelor iterarea se face de la dreapta la stânga), notația corespunzătoare figurii fiind așa cum se arată în desen.

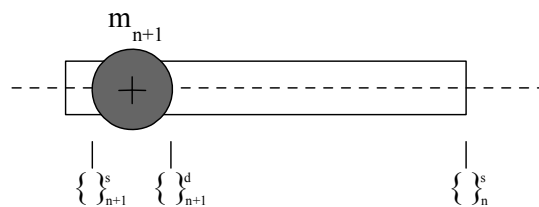


Fig. 5 Modelarea elementului de pală

*Elementul de masă concentrată - determinarea matricei de transfer*

Analiza inițială se face pe un element de masă concentrată, aflat în echilibru, figura 6, încărcat cu forțele axiale  $F_n$  și  $F_{n+1}$  date de relațiile [1]:

$$F_n = \sum_{i=1}^n m_i x_i \Omega^2 \tag{7}$$

$$F_{n+1} = F_n + m_{n+1} x_{n+1} \Omega^2$$

După introducerea eforturilor care acționează pe elementul de masă, se obțin următoarele relații recursive:

$$\begin{aligned} T_{n+1}^s &= T_{n+1}^d + m_{n+1} \omega^2 w_{n+1} \\ M_{n+1}^s &= M_{n+1}^d + I_{n+1} \omega^2 \varphi_{n+1}^R \\ W_{n+1}^s &= W_{n+1}^d \\ \varphi_{n+1}^s &= \varphi_{n+1}^d \end{aligned} \tag{8}$$

care puse sub formă matriceală conduc la:

$$\begin{Bmatrix} w \\ \varphi \\ T \\ M \end{Bmatrix}_{n+1}^s = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ m_{n+1} \omega^2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & I_{n+1} \omega^2 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\text{matricea de transfer } [P_{n+1}]} \begin{Bmatrix} w \\ \varphi \\ T \\ M \end{Bmatrix}_{n+1}^d \tag{9}$$

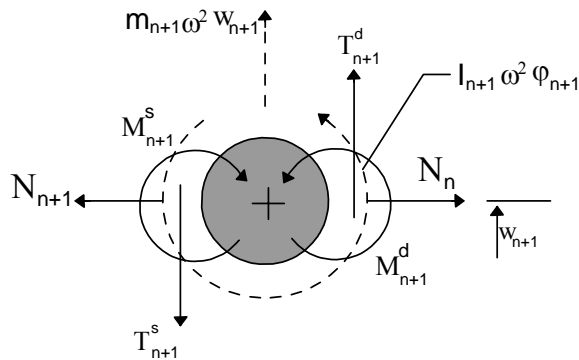


Fig.5.6 Echilibrul elementului de masă concentrată

*Elementul elastic de masă neglijabilă - determinarea matricei de transfer*

Se analizează elementul elastic cuprins între porțiunile  $\{ \}_{n+1}^d$  și  $\{ \}_n^s$  din figura 7.

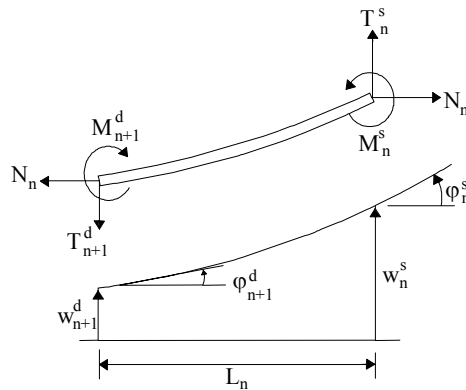


Fig. 7 Echilibrul elementului elastic de masă neglijabilă



Ecuția pentru deformații elastice, pe acest element de lungime  $L$ , poate fi obținută considerând deformațiile elastice caracteristice ale unei pale în consolă, solicitată axial de forța  $F$  și având proprietăți constante în secțiune ( $m$  și  $EI$ ).

Prinderea este făcută în partea stângă de aceea condițiile la limită sunt  $w = w_0$  și  $\varphi = \varphi_0$ , iar bara este încărcată în partea dreaptă cu o forță axială  $N_T$ , o forță de forfecare  $T_T$  și printr-un moment de încovoiere  $M_T$ .

Ecuția diferențială a deformației transversale,  $w$ , considerând variabila  $x$  cu originea în stânga, este:

$$EIw'' = T_T(x_T - x) - N_T(w_T - w) + M_T \quad (10)$$

unde  $w$  este deformația transversală la vârful elementului elastic.

Soluția ecuației se obține prin schimbarea de variabile:

$$\zeta = x - x_T \text{ și } \eta = w - w_T \quad (11)$$

Ecuția devine,

$$EI\eta'' - N_T\eta = T_T(L - \zeta) + M_T \quad (12)$$

unde,  $\zeta$  variază de la 0 la  $L$ , și unde soluția  $\eta(\zeta)$  trebuie să îndeplinească condițiile la limită:

$$\eta(0) = w_0 - w_T \text{ și } \eta'(0) = \varphi_0 \quad (13)$$

Condiția  $\eta(L) = 0$  rezultă în mod automat din definiția lui  $\eta$ .

Soluția este dată de următoarele două ecuații:

$$\begin{aligned} w_T &= w_0 + \varphi_0 L \left[ \frac{th\lambda L}{\lambda L} \right] + \frac{T_T L}{N_T} \left[ 1 - \frac{th\lambda L}{\lambda L} \right] + \frac{M_T}{N_T} \left[ 1 - \frac{1}{ch\lambda L} \right] \\ \varphi_T &= \varphi_0 \left[ \frac{1}{ch\lambda L} \right] + \frac{T_T L}{N_T} \left[ 1 - \frac{1}{ch\lambda L} \right] + \frac{M_T}{N_T} [\lambda L th\lambda L] \end{aligned} \quad (14)$$

Unde,  $\lambda = \sqrt{\frac{F}{EI}}$ , iar pentru  $\lambda L \rightarrow 0$  (cazul fără forță axială).

Aceste expresii se simplifică și devin cele mai elementare expresii pentru deformațiile barei (palei):

$$\begin{aligned} w_T &= w_0 + \varphi_0 L + T_T L^3 \frac{1}{3EI} + M_T L^2 \frac{1}{2EI} \\ \varphi_T &= \varphi_0 + T_T L^2 \frac{1}{2EI} + M_T L^2 \frac{1}{EI} \end{aligned} \quad (15)$$

Funcția de transfer (elastic) sunt completate prin introducerea forței tăietoare și a momentului încovoietor la capete :

$$M_0 = M_T + T_T L - N_T(Z_T - Z_0) \quad (16 a)$$

$$T_0 = T_T \quad (16 b)$$

Soluțiile pot fi aranjate și combinate într-un format matriceal, rezultând astfel ecuația matriceală, și implicit matricea de transfer:

$$\begin{Bmatrix} w \\ \varphi \\ T \\ M \end{Bmatrix}_{n+1}^d = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & -L_n f_n & (L_n/F_n)(f_n+1) & (g_n+1)/F_n \\ 0 & g_n & -(g_n+1)/F_n & -f_n h_n \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -F_n L_n f_n & L_n f_n & g_n \end{bmatrix}}_{\text{matricea de transfer } [Q_n]} \begin{Bmatrix} w \\ \varphi \\ T \\ M \end{Bmatrix}_n^s \quad (17)$$

unde,

$$f_n = \left[ \frac{sh\lambda L}{\lambda L} \right]; g_n = ch\lambda L_n \quad (18)$$

$$h_n = L_n/EI_n; \lambda_n = \sqrt{F_n/EI_n}$$

Combinând rezultatele obținute la exemplele inițiale, atât pentru punctul de calcul cât și pentru matricele de transfer  $[Q_n]$  și  $[P_{n+1}]$ , pentru al  $n$ -lea element se obține relația 19.

Toate matricele de transfer obținute pe elemente de-a lungul razei sunt apoi folosite în serie (cascadă), multiplicare pentru a evidenția (preciza) condițiile de stare de la butucul palei până la vârful acesteia.

$$[R_n] = \begin{bmatrix} 1 & -L_n f_n & \left(\frac{L_n}{F_n}\right)(f_n+1) & \frac{(g_n+1)}{F_n} - F_n \\ 0 & g_n & -\frac{(g_n+1)}{F_n} & -f_n h_n \\ m_{n+1}\omega^2 & -m_{n+1}\omega^2 L_n f_n & \left[1 + m_{n+1}\omega^2 \frac{L_n}{F_n}(f_n+1)\right] & \left[\frac{m_{n+1}\omega(g_n+1)}{F_n}\right] \\ 0 & [I_{n+1}\omega^2 g_n - F_n L_n f_n] & \left[\frac{-I_{n+1}\omega^2(g_n+1)}{F_n} + L_n f_n\right] & [-I_{n+1}\omega^2 f_n h_n + g_n] \end{bmatrix} \quad (19)$$

Pentru că fiecare matrice de transfer este dependentă de pulsație, calculul valorilor proprii se face cu relația:

$$\{ \}_{B(\text{butuc})} = \underbrace{[R_n][R_{n-1}] \dots [R_2][R_1]}_{[R(\omega^2)]} \{ \}_{V(\text{vârf})} \quad (20)$$

Rezolvarea problemei valorilor proprii constă în rescrierea matricei de transfer  $[R(\omega^2)]$  utilizând o formulare a condițiilor la limită.

Se consideră pentru început, condițiile la limită sub forma:

la vârf		la baza palei
$\{ \}_V = \begin{Bmatrix} w_1 \\ \varphi_1 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$	$\{ \}_N =$	$\begin{Bmatrix} 0 \\ \varphi_N \\ T_N \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_N \\ M_N \end{Bmatrix}$
		rotor articulat rotor nearticulat

$$\quad (21)$$

Dacă acești vectori sunt introduși în ecuația de transfer și dacă termenii nenuli sunt reținuți, se obțin următoarele ecuații:

$$\begin{aligned}
0 &= t_{11}w_1 + t_{12}\varphi_1 \\
(\varphi_N) &= t_{21}w_1 + t_{22}\varphi_1 \\
T_N &= t_{31}w_1 + t_{32}\varphi_1 \\
(M_N) &= t_{41}w_1 + t_{42}\varphi_1
\end{aligned} \tag{22}$$

unde unul dintre ei, (dar nu amândoi termenii din paranteză), poate fi ales inițial zero.

De aceea, pentru fiecare tip de rotor, articulată sau nearticulată matricea explicitată va conține două ecuații scalare în funcție de  $w_1$  și  $\varphi_1$ .

Dacă primele 3 ecuații sunt egale cu zero rezultă:

$$\begin{bmatrix} t_{11}(\omega^2) & t_{12}(\omega^2) \\ t_{i1}(\omega^2) & t_{i2}(\omega^2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_1 \\ \varphi_1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{23}$$

unde  $i=4$  pentru rotorul articulată și  $i=2$  pentru rotorul nearticulată.

Ecuația caracteristică necesară, este formată prin rezolvarea sistemului rezultat din egalarea determinantului cu zero.

O soluție proprie (a valorilor proprii), se obține când valoarea iterată a pătratului pulsației determină valoarea zero a determinantului.

$$\Delta(\omega^2) = \begin{vmatrix} t_{11}(\omega^2) & t_{12}(\omega^2) \\ t_{i2}(\omega^2) & t_{i2}(\omega^2) \end{vmatrix} \tag{24}$$

$i=4$  sau  $i=2$ .

O rădăcină și implicit frecvența proprie (naturală) este obținută când:

$$\Delta(\omega^2) = 0 \tag{25}$$

Deoarece diferitele ( $n$ ) matrici de transfer au fost deja evaluate pornind de la butuc (în procesul obținerii elementelor determinantului caracteristic), acestea sunt cele mai potrivite pentru a descrie răspunsul fiecărui element în comparație cu cel al vârfului palei.

Pașii necesari pentru a găsi modurile proprii de vibrații pentru fiecare rădăcină (soluție) sunt:

1. Stabilirea condițiilor pentru normalizarea vectorilor proprii; de exemplu stabilirea valorilor pentru  $w_1$  sau  $\varphi_1$  egale cu valori de referință cunoscute (de obicei 1,0);
2. Rezolvarea pentru alte variabile necunoscute la vârful palei folosind relația

$$t_{12}\varphi_1 = -t_{11}w_1 \tag{26}$$

(De notat că forța tăietoare și momentul încovoietor sunt nule la vârful palei).

Acestea completează elementele de definiție ale vectorului de stare la vârful palei.

Se folosește matricea de transfer individual pentru toate elementele interioare care definesc vectorul de stare, pentru toate elementele de studiu alese de-a lungul anvergurii (razei).

Cunoașterea vectorilor de stare pentru câteva elemente constituie o soluție pentru analiza modurilor proprii de vibrații în termeni de deplasări și pante.

Mult mai important, este faptul că vectorii de stare pot genera informații asupra forfecării și încovoierii în elementul de pală din lungul anvergurii.

#### IV. CONCLUZII

În analiza dinamică se evidențiază utilizarea metodelor numerice pentru determinarea proprietăților modale în cazul rotorului real, construit cu variații ale secțiunii și ale masei de-a lungul palei.

Descrierea stării vectoriale în cazul analizei vibrațiilor libere ale palei de elicopter folosește o discretizare elastomecanică a palei, considerată ca bară rotitoare, în segmente formate din elemente de masă concentrată și elemente elastice de masă neglijabilă.

Matricile de transfer obținute pentru elementele aflate de-a lungul razei sunt folosite în cascadă, multiplicare pentru a lua în considerare condițiile de stare de la butucul palei până la vârf.

Rezolvarea problemei valorilor proprii constă în rescrierea matricei de transfer utilizând condițiile la limită.

Cunoașterea vectorilor de stare conduce la analiza modurilor proprii de vibrații în termeni de deplasări și pante, ceea ce constituie informații asupra stărilor de forfecare și încovoiere ale elementelor de pală.

#### Bibliografie

- [1] Alecu, A., Boianțiu, M., *Dinamica palei de elicopter*, Editura BREN, București, 1999
- [2] Bielawa, R., *Rotary Wing Structural Dynamics and Aeroelasticity*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1992
- [3] Johnson, W., *Helicopter Theory*, Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1980
- [4] Petre, A., *Proiectarea structurilor de aero-astronave*, Editura Academiei Române, București, 1999
- [5] Postelnicu, A., Deliu, Gh., Udriou, R., *Elicoptere*, Editura Universității Transilvania, Brașov, 1999
- [6] Voinea, R., Stroe, I.V., *Sisteme dinamice*, Universitatea Politehnica, București, 1993

---

\* Lavinia GAVRILĂ, conf. univ. dr. ing., Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” din Brașov, str. Mihai Viteazu, nr.160, telefon 0268-423.421, fax 0268-422.004, e-mail [lavinia.gavrila@afahc.ro](mailto:lavinia.gavrila@afahc.ro)

## **ANALIZA REZULTATELOR EXPERIMENTALE ALE TRAGERILOR CU GLOANȚE PERFORANT – INCENDIARE ASUPRA BLINDAJELOR**

Cătălin – Eugen IONESCU \*

*Abstract:*

*Această lucrare își propune analizarea rezultatelor obținute ca urmare a efectuării unor probe experimentale.*

*Probele experimentale au constat în executarea de trageri experimentale într-un poligon.*

*Materialele utilizate la tragerile experimentale au fost următoarele : armamentul, muniția, blindajul și echipament de protecție balistică.*

*Armamentul a fost reprezentat de țeavă balistică Barinov, țeavă balistică Levașov și mitralieră 14,5 mm montată pe transportorul amfibiu blindat (MTB).*

*Muniția utilizată sunt gloanțele perforant – incendiare calibru 7,62 x 54 mm, 12,7 x 108 mm și 14,5 x 114 mm.*

*Echipamentul de protecția balistică este dat de vestă antiglonț.*

### **Capitolul I**

#### **Tipurile de interacțiuni dintre proiectil și blindaj**

Studiul impactului la viteze relativ mari dintre corpuri implică abordarea unor aspecte suplimentare față de analizarea deformării corpurilor în condiții statice sau quasi – statice, deoarece se impune luarea în considerare, atât a afectelor sarcinilor inerțiale, cât mai cu seamă a propagării undelor de tensiune, ca urmare a faptului că impactul reprezintă un fenomen tranzitoriu.

Tipurile de interacțiuni dintre proiectil și blindaj depind de următorii parametrii :

- proprietățile mecanice ale proiectilului și blindajului ;
- factorii inerțiali și fizico – mecanici ce caracterizează sistemul proiectil – țintă.

Domeniul perforării blindajelor se împarte în două mari categorii :

- 1) perforarea aerodinamică ;
- 2) perforarea hidrodinamică.

Diferența dintre impactul aerodinamic și hidrodinamic este dată de diferența de viteză la care se realizează impactul : perforarea aerodinamică se realizează la viteze mari, în timp ce perforarea hidrodinamică are loc la viteze mai mici.

Străpungerea blindajului de proiectil se realizează prin următoarele mecanisme, reprezentate în fig. 1 (aceste mecanisme se pot combina între ele) :

- 1) fragmentarea prin formarea de schije, caracterizată blindajelor confecționate din materiale fragile, obiectivele din spatele blindajului suportând consecințele din partea schijelor ;
- 2) perforarea prin tenacitate, caracterizată prin trecerea completă a proiectilului prin blindaj, determinând astfel o expansiune radială a blindajului în raport cu axul de perforare ;
- 3) ruperea transversală, datorită undei de presiune inițiale, caracteristică blindajelor subțiri sau medii, confecționate din materiale cu densitate mică și rezistență mică ;
- 4) fisurarea și ruperea radială, datorită undei de presiune inițiale, caracteristică blindajelor subțiri confecționate din materiale fragile ;
- 5) exfolierea blindajului pe partea opusă perforării, datorită interferențelor undei incidente cu undele de eforturi reflectate de fața blindajului opusă perforării ;
- 6) extruziunea unui dop, specifică blindajelor rigide de grosime medie la impactul cu proiectile perforante cucap bont (teșit) ;
- 7) și 8) formarea rebordurilor, caracterizată prin :
  - formarea rebordurilor sub formă de stea la fața intrării proiectilului în blindaj, specifică impactului dintre proiectilele cu ogivă ascuțită și blindajele mai groase ;
  - formarea rebordurilor la fața opusă intrării proiectilului în blindaj, în cazul impactului dintre proiectilului cu ogivă ascuțită și blindajele subțiri.

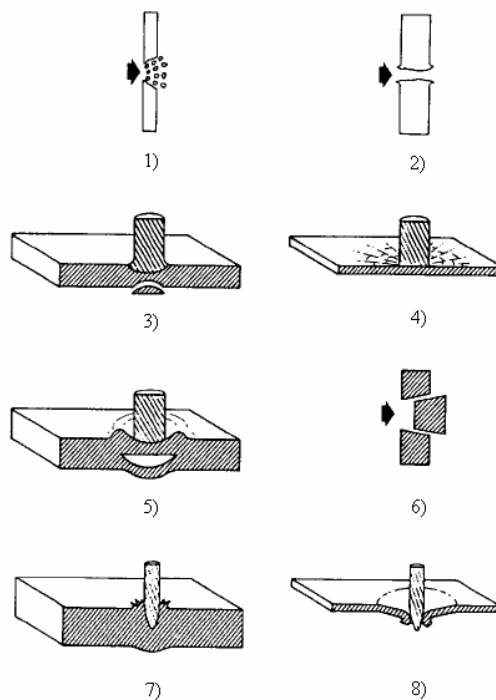


Fig. 1 : Străpungerea blindajului prin diferite mecanisme

## Capitolul II Probele experimentale

### 2.1. Obiectivul probelor experimentale

Obiectivul probelor experimentale îl constituie analizarea comportării unei configurații formată din placă de blindaj și vestă antiglonț, în urma executării tragerii asupra acesteia cu gloanțe de calibru mic.

## 2.2. Descrierea probelor experimentale

Probele experimentale s-au desfășurat în două etape într-un poligon de trageri experimentale.

Acestea au constat în trageri cu gloanțe perforant – incendiare cal. 7,62 x 54 mm, 12,7 x 108 mm și 14,5 x 114 mm asupra unei configurații formată din placă de blindaj de grosime 6 mm și vestă antiglonț, situată la distanța de 50 m față de gurile de foc.

Configurația menționată a fost dispusă perpendicular pe direcția de tragere pentru a se realiza efectul distructiv maxim. În consecință, fenomenul de ricoșeu dintre glonț și placa de blindaj a fost evitat.

Distanța dintre gurile de foc și placa de blindaj s-a considerat ca fiind de 50 m, datorită faptului că pierderea vitezei de impact a glonțului în raport cu viteza inițială (viteza glonțului la părăsirea țevii guri de foc) este mică. Ținând cont de acest lucru, la impactul dintre glonț și țintă se realizează un efect distructiv mare.

În primă fază, au fost executate trageri de reglaj asupra plăcii de blindaj. După ce s-a produs perforarea plăcii, aceasta a fost fixată pe un dispozitiv și dispusă la distanța de 300 mm față de placă.

Vesta antiglonț a fost montată pe dispozitiv și așezată în spatele blindajului la distanța de 300 mm pentru a se reda o situație reală, în care purtătorul acesteia, aflându-se în interiorul unui vehicul blindat este expus efectelor tragerilor cu gloanțe.

În figura 2 se prezintă efectele tragerilor cu gloanțe perforant – incendiare calibru 7,62 x 54 mm asupra configurației formate din placă de blindaj de grosime 6 mm și vestă antiglonț.



Fig. 2 : Impactul dintre gloanțe perforant – incendiare calibru 7,62 x 54 mm și configurația formată din placă de blindaj 6 mm și vestă antiglonț

Figurile 3 și 4 exprimă efectele tragerilor cu gloanțe perforant – incendiare calibru 12,7 x 108 / 14,5 x 114 mm asupra configurației formate din placă de blindaj de grosime 6 mm și vestă antiglonț.



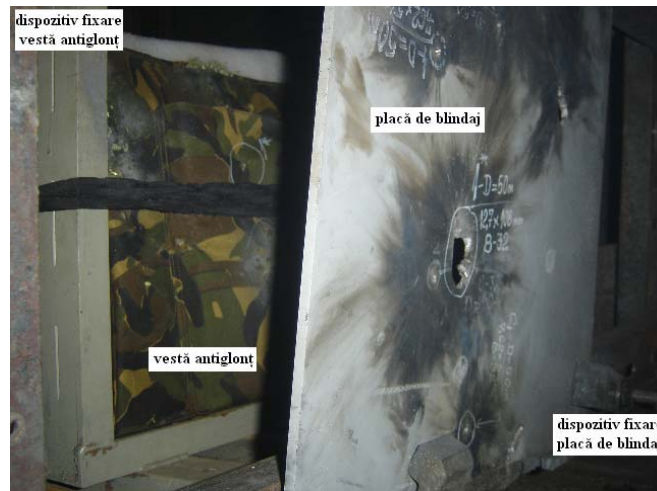


Fig. 3 : Impactul dintre gloanțe perforant – incendiare calibru 12,7 x 108 mm și configurația formată din placă de blindaj 6 mm și vestă antiglonț



Fig. 4 : Impactul dintre gloanțe perforant – incendiare calibru 14,5 x 114 mm și configurația formată din placă de blindaj 6 mm și vestă antiglonț

### 2.3. Materialele utilizate la probele experimentale

În vederea executării probelor experimentale și a efectuării studiului privind fenomenul de perforare au fost necesare următoarele materiale : armament, muniție, blindaj și vestă antiglonț.

Date tehnice ale gurilor de foc utilizate la probele experimentale sunt menționate în tabelul din următor :

Tabelul 1 : Tabel cu date tehnice ale gurilor de foc utilizate la probele experimentale

Nr. crt.	Guri de foc Date tehnice	Țeava balistică marca Barinov	Țeava balistică marca Levașov	M.T.B.
1.	Calibrul	7,62 mm	12,7 mm	14,5 mm
2.	Lungimea țevii propriu – zise	755 mm	1.005 mm	1.276 mm
3.	Lungimea totală	900 mm	1.200 mm	1.480 mm
4.	Greutatea totală	6,5 kg	10,5 kg	52 kg
5.	Modul de executare al focului	foc cu foc	foc cu foc	- foc în serii scurte ; - foc în serii lungi ; - foc continuu

Caracteristici tehnico – tactice ale gloanțelor folosite la probele experimentale sunt specificate în tabelul de mai jos :

Tabelul 2 : Caracteristici tehnico - tactice ale gloanțelor utilizate la probele experimentale

Nr. crt.	Gloanțe	Glonț perforant – incendiar cal. 7,62 x 54 mm	Glonț perforant – incendiar cal. 12,7 x 108 mm	Glonț perforant – incendiar cal. 14,5 x 114 mm
	Caracteristici			
1.	Indexul (denumire prescurtată)	B – 32	B – 32	B – 32
2.	Viteza de părăsire la gura țevii	830 m / s	820 m / s	945 m / s
3.	Energia la gura țevii	337 kgf m	1.520 kgf m	2.910 kgf m
4.	Masa glonțului	9,6 g	51 g	64 g
5.	Miezul glonțului	oțel	oțel	oțel
6.	Culoarea pe vârful glonțului	Neagră cu dungă roșie	Neagră cu dungă roșie	Neagră cu dungă roșie
7.	Marca pulberii	VT	VT	5 / 7
8.	Masa medie a încărcăturii de azvârlire	3,00 – 3,30	16,00 – 17,00	31,00 – 33,00

Rezultatele obținute în urma analizei chimice a plăcii de blindaj sunt date în tabelul următor, precum și configurația elementelor din compoziția chimică a blindajelor sunt materializate în tabelul 3 și figura 5, după cum urmează :

Tabelul 3 : Rezultatele obținute în urma analizei chimice a plăcii de blindaj (%)

Mn	Si	P	S	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	W
1,37	1,31	0,011	0,005	0,01	0,12	0,02	0,19	0,33	0,02

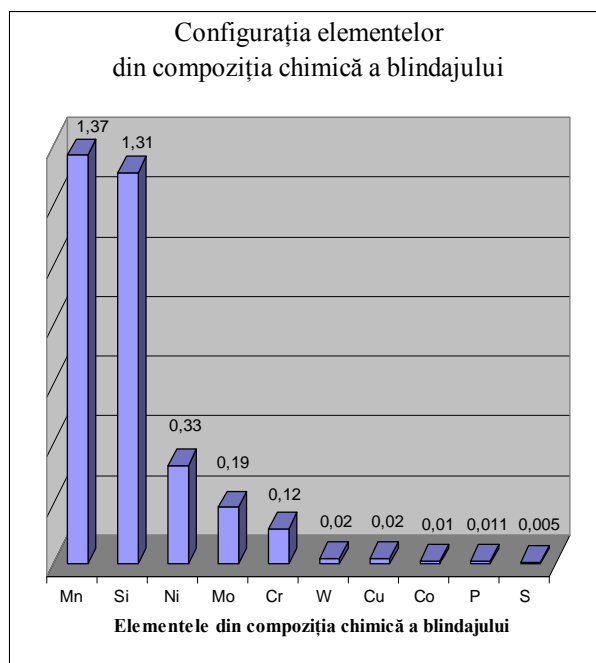


Fig. 5 : Configurația elementelor din compoziția chimică a blindajului

Vestele antiglonț au ca destinație protejarea purtătorului de schije și gloanțele provenite de la armamentul convențional. Vesta antiglonț este alcătuită dintr-un pachet balistic de nivel III–A și placa ceramică care se introduce în buzunarul special al vestei.

### Capitolul III

#### Rezultatele obținute în urma probelor experimentale

În urma impactului dintre gloanțele de calibru mic și placa de blindaj utilizate s-a produs perforarea totală. Cu alte cuvinte, gloanțele au străpuns placa de blindaj. Rezultatele experimentale obținute sunt prezentate în tabelul următor :

Tabelul 4 : Rezultatele experimentale în urma efectuării probelor

Muniția utilizată	Glonț perforant – incendiar cal. 7,62 x 54 mm				Glonț perforant-incendiar cal. 12,7 x 108 mm		Glonț perforant-incendiar cal. 14,5 x 114 mm	
	Lovitura “1”		Lovitura “2”					
Ținta	Vestă antiglonț		Vestă antiglonț		Vestă antiglonț		Vestă antiglonț	
	Placă ceramică	Pachet balistic	Placă ceramică	Pachet balistic	Placă ceramică	Pachet balistic	Placă ceramică	Pachet balistic
Obtained results	Amprentă	Neperforare	Amprentă	Perforare parțială	Amprentă	Perforare parțială	Perforare totală	Perforare totală
Mențiuni	-	-	-	11 țesături perforate	-	21 țesături perforate	-	33 țesături perforate
Gradul de protecție al fiecărei componente a vestei antiglonț	50%	100 %	50%	66,7 %	50%	36,4 %	0 %	0 %
Gradul de protecție al vestei antiglonț	75%		58,4%		43,2%		0 %	
	67%							

Am stabilit gradul maxim de protecție balistică (100%) pentru următoarele situații :

- placa ceramică nu ar fi fost perforată ;
- nici una din țesăturile aramidice tip Kevlar care compun pachetul balistic nu ar fi fost perforată de gloanțele perforant – incendiare utilizate la targerile experimentale.

Am considerat gradul de protecție al plăcii ceramice, astfel :

- 50 % - amprentă ;
- 0 % - perforare totală.

Datorită faptului că la impactul dintre glonțul perforant – incendiar cal. 14,5 x 114 mm și vesta antiglonț s-a produs perforarea totală, placa ceramică și pachetul balistic fiind străpunse de glonț, rezultă că gradul de protecție al vestei antiglonț este nul (0%).

În primă fază am determinat gradul de protecție al fiecărei componente a vestei antiglonț, respectiv placă ceramică și pachet balistic.

Placa ceramică, fiind formată din strat de pietre ceramice și backing, a fost calculat gradul de protecție al fiecăreia din acestea. Prin calculul mediei aritmetice a celor două valori a rezultat gradul de protecție al plăcii ceramice.

Gradul de protecție al vestei antiglonț a reprezentat media aritmetică dintre valorile obținute pentru placa ceramică și pachetul balistic.

În ciuda faptului că blindajul, reprezentat în prezentul material de placă de blindaj de grosime 6 mm, nu oferă protecție maximă la tragerile cu gloanțele perforant – incendiar cal. 7,62 x 54 mm și 12,7 x 108 mm (gloanțele străpung placa de blindaj), consider că se impune aprecierea gradului de protecție al vestei antiglonț în raport cu gloanțele utilizate la tragerile experimentale.

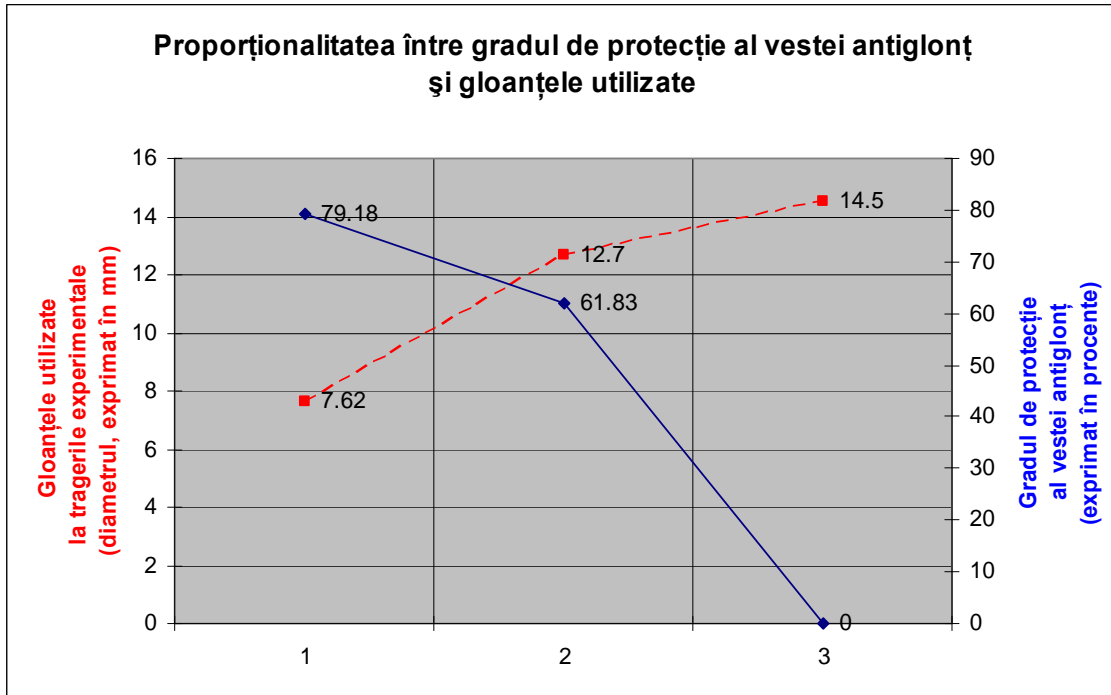


Fig. 6 : Proportionalitatea între gradul de protecție al vestei antiglonț și gloanțele utilizate

Din fig. 6 se trage concluzia că gradul de protecție al vestei antiglonț, evidențiat prin linia continuă de culoare albastră este invers proporțional cu gloanțele utilizate la tragerile experimentale, reprezentate prin linia discontinuă (punctată) de culoare roșie.

Se remarcă importanța foarte mare a plăcii ceramice, deoarece, conținând pietre ceramice, acestea fiind formate dintr-un material de o duritate ridicată, în anumite cazuri oprește glonțul să străpungă ținta sau în alte cazuri determină ricoșeul glonțului.

Însă în toate cazurile, în urma impactului, atât masa, forma glonțului, cât și energia cinetică a acestuia se modifică, în sensul că acestea scad foarte mult, fapt ce constituie un avantaj foarte însemnat, dacă nu chiar decisiv pentru purtătorul echipamentului de protecție balistică.

Pachetul balistic are 2 roluri foarte importante, în unele situații, acela de a absorbi schije formate în urma impactului glonț – blindaj și în alte situații de a reține gloanțele ricoșate din placa ceramică.

## **Capitolul IV Concluzii finale**

Chiar dacă blindajul nu oferă protecție maximă luptătorului aflat în vehiculul de luptă blindat, acest reper prezintă o importanță destul de mare, deoarece, în urma impactului se micșorează, atât masa glonțului, cât și puterea de perforare a acestuia.

Se remarcă importanța echipamentului de protecție balistică, vestă antiglonț, datorită faptului că, în cazurile tragerilor cu gloanțelor perforant – incendiare cal. 7,62 x 54 mm și 12,7 x 108 mm, acesta oferă protecție purtătorului.

Însă în cazul tragerii cu glonț perforant – incendiar cal. 14,5 x 114 mm, vesta antiglonț nu oferă nici un fel de protecție, având în vedere faptul că s-a produs perforarea totală. Cu alte cuvinte glonțul perforant – incendiar cal. 14,5 x 114 mm a străpuns echipamentul de protecție balistică.

---

\* Ionescu Cătălin – Eugen, cercetător științific, Poliția de Frontieră Călărași – Oltenița, Dr. Lucian Popescu, nr. 2, tel. 0242 515798, e-mail : catalineugenionescu@yahoo.com

## **ANALIZA MODELĂRII FENOMENULUI PERFORĂRII BLINDAJELOR DE CĂTRE GLOANȚE PERFORANT - INCENDIARE**

Cătălin – Eugen Ionescu \*

*Abstract :*

*Prezenta lucrare are ca obiectiv analizarea modelării fenomenului perforării blindajelor de către gloanțe perforant – incendiare de calibru mic.*

*Materialele utilizate la modelarea procesului de impact au fost următoarele : muniția și blindajul.*

*Muniția utilizată este glonțul perforant – incendiar calibru 14,5 x 114 mm.*

*Blindajul este reprezentat de placă de blindaj de grosime 6 mm.*

### **Capitolul I**

#### **Prezentarea generală a Metodei Elementelor Finite**

Metoda Elementelor Finite este o tehnică de analiză numerică care permite obținerea unor soluții aproximative pentru probleme de domeniu ingineresc.

În cadrul acesteia, domeniul soluțiilor se împarte în subdomenii diferite ca dimensiuni și forme, care sunt conectate în noduri (puncte) denumite elemente.

Pentru a reprezenta variabilele de câmp ale unei structuri (tensiune, deformație, deplasare, temperatură, presiune etc.), în interiorul elementelor se definesc funcții de aproximare (interpolare) care exprimă această variație în raport cu valorile nodale ale variabilelor.

Metoda Elementelor Finite asigură tehnici de determinare a valorilor nodale ale variabilelor, care să asigure o apropiere mare în raport cu soluția reală.

Într-o problemă cu orice dimensiune a mediului continuu, variabila de câmp are o infinitate de valori, rezultând astfel un număr infinit de necunoscute. Procedurile de discretizare în elemente finite a domeniului reduc problema la una cu un număr finit de necunoscute, datorită faptului că în interiorul fiecărui element variabila de câmp se exprimă prin funcții de interpolare, în raport cu valorile sale nodale necunoscute, dar în număr finit. În general, nodurile sunt situate pe frontierele elementelor, reprezentând punctele de conexiune dintre acestea, dar pot exista și noduri interioare elementelor, în special în cazul unor funcții de interpolare mai complicate. Cu această reprezentare, valorile nodale ale variabilei de câmp

și funcțiile de interpolare pentru fiecare element definesc complet comportamentul variabilei în interiorul ansamblului elementelor.

Ipotezele principale ale Metodei Elementelor Finite sunt :

- elementele finite sunt conectate numai în noduri ;
- toate forțele sunt concentrate și aplicate numai în noduri ;
- deformațiile și deplasările în orice punct al unui element se exprimă în mod unic în funcție de deplasările nodurilor ;
- tensiunile în interiorul oricărui element se exprimă prin intermediul deformațiilor în funcție de deplasările nodurilor.

Este evident că natura soluției și gradul său de aproximare depind atât de mărimea și numărul elementelor, cât și de funcțiile de interpolare alese pentru fiecare tip de element în parte. Deci, alegerea funcțiilor de interpolare constituie o etapă importantă condiționată de convergența soluției căutate, dar, mai ales de compatibilitatea modelului matematic ales.

Rezultă că determinarea proprietăților individuale ale elementelor reprezintă un moment deosebit de important.

Indiferent de tehnica folosită la deducerea proprietăților elementelor, orice problemă de mediu continuu rezolvată prin Metoda Elementelor Finite trebuie să urmeze etapele :

#### a) Discretizarea continuului

În cadrul acestei etape domeniul soluțiilor trebuie să fie împărțit în subdomenii (elemente) având în același timp grijă ca acestea să fie compatibile cu tipul de problemă studiat. De asemenea, dimensiunile și forma elementelor vor fi alese astfel încât să se surprindă într-o măsură satisfăcătoare regiunile din domeniu unde se presupune un gradient mare al variabilei de câmp.

Este remarcabil faptul că programul COSMOS/M și LS-DYNA au posibilitatea generării automate (uniform sau variabil) a rețelei de elemente finite (mesh) în care se dorește să se discretizeze structura, precum și a reluării procesului de discretizare după un prim calcul, în scopul rafinării mesh-ei în zonele cu gradienti mari ai variabilei de câmp. În general această etapă este hotărâtoare pentru acuratețea soluției, corectitudinea discretizării depinzând în special de cunoștințele și experiența utilizatorului metodei.

#### b) Alegerea funcțiilor de interpolare

Odată efectuată discretizarea structurii se trece la alegerea funcțiilor de interpolare care vor descrie legea de variație a mărimi de câmp în interiorul elementului în raport cu valorile sale nodale. De regulă, funcțiile de interpolare se aleg sub forma unor polinoame (algebrice sau trigonometrice) ai căror coeficienți sunt funcții de valorile nodale, gradul lor depinzând de numărul de noduri pe element.

#### c) Determinarea proprietăților elementului (a ecuațiilor elementare)

Pasul următor îl constituie scrierea ecuațiilor matriciale care exprimă proprietățile individuale ale elementelor. Tehnicile de obținere a acestor ecuații sunt: metoda directă, metoda variațională și metoda rezidurilor ponderate.

#### d) Asamblarea ecuațiilor elementare și obținerea ecuațiilor generale ale structurii

În această etapă, având ecuațiile fiecărui element, precum și modul de interconectare dintre elemente, se scriu ecuațiile globale pentru întreaga structură, ținându-se cont de aportul



fiecărui element. Astfel, ecuațiile generale ale structurii vor fi de același tip, dar vor fi mai multe și vor conține mai mulți termeni ca rezultat direct al numărului de elemente participante. În esență metoda de asamblare se bazează pe ipoteza naturală că valoarea globală a variabilei de câmp într-un nod este rezultatul conlucrării elementelor care sunt conectate în nodul respectiv.

e) Scrierea condițiilor la limită

Problemele guvernate de același tip de ecuații cu derivate parțiale sunt individualizate de *condiții la limită* pentru fiecare caz în parte. Această etapă constă în scrierea valorilor variabilei de câmp sau a derivatelor sale pe frontiera domeniului.

f) Rezolvarea sistemului de ecuații

Rezultatul asamblării ecuațiilor nodale este un sistem liniar de ecuații care are ca necunoscute valorile nodale ale variabilei de câmp. Indiferent de tipul de problemă de rezolvat, această etapă constă în rezolvarea sistemului liniar de ecuații algebrice, folosind una din metodele cunoscute.

g) Efectuarea de calcule suplimentare

De regulă, după determinarea funcției de câmp necunoscute, sunt necesare și alte calcule care au ca obiectiv determinarea altor parametri importanți care descriu fenomenul respectiv.

## Capitolul II

### Materialele utilizate la modelarea procesului de impact

În vederea realizării modelării procesului de impact care face obiectul prezentului referat, au fost necesare următoarele materiale :

- muniția ;
- blindajul

#### 2.1. Muniția

Muniția utilizată la modelarea procesului de impact este reprezentată de următorul tip de glonț :

- glonțul perforant – incendiar calibru 14,5 x 114 mm (fig. 1).



Fig. 1 Cartuș calibru 14,5 x 114 mm

Caracteristici tehnico – tactice ale glonțului folosit la modelare sunt specificate în tabelul următor :

Tabelul 1 Tabel cu caracteristici tehnico - tactice ale glonțului utilizat la modelare

Nr. crt.	Caracteristici	Glonț perforant – incendiar cal. 14,5 x 114 mm
1.	Indexul (denumire prescurtată)	B – 32
2.	Viteza de părăsire la gura țevii	945 m / s
3.	Energia la gura țevii	2.910 kgf m
4.	Masa glonțului	64 g
5.	Miezul glonțului	oțel
6.	Culoarea pe vârful glonțului	Neagră cu dungă roșie
7.	Marca pulberii	5 / 7
8.	Masa medie a încărcăturii de azvârlire	31,00 – 33,00

## 2.2. Blindajul

Blindajul, în acest material constă în placă de blindaj de grosime 6 mm.

Rezultatele obținute în urma analizei chimice a plăcii de blindaj sunt date în tabelul următor, precum și configurația elementelor din compoziția chimică a blindajelor sunt materializate în tabelul și figura 2, astfel :

Tabelul 2 Tabel cu rezultatele obținute în urma analizei chimice a plăcii de blindaj (%)

Mn	Si	P	S	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	W
1,37	1,31	0,011	0,005	0,01	0,12	0,02	0,19	0,33	0,02

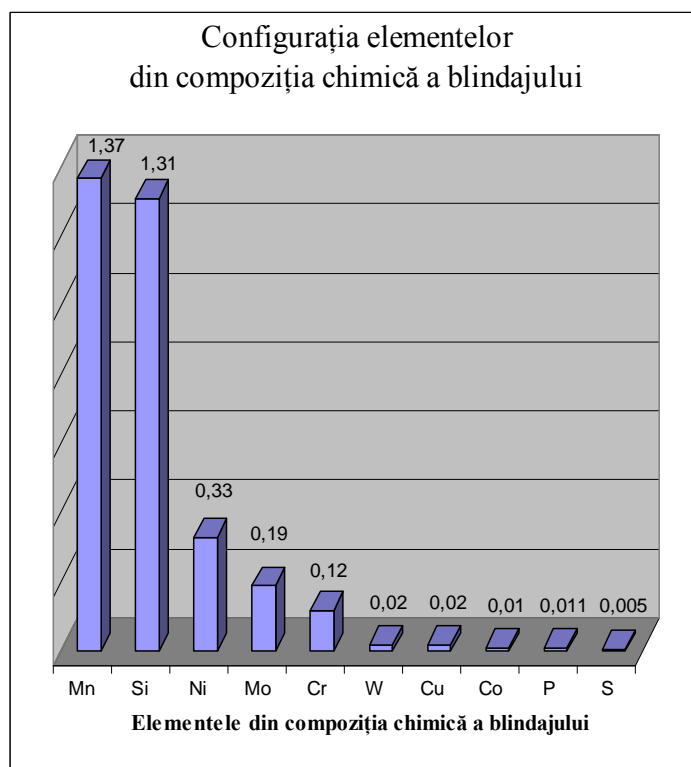


Fig. 2 Configurația elementelor din compoziția chimică a blindajului

### Capitolul III Modelarea procesului de impact

#### 3.1. Impactul glonț – placă de blindaj

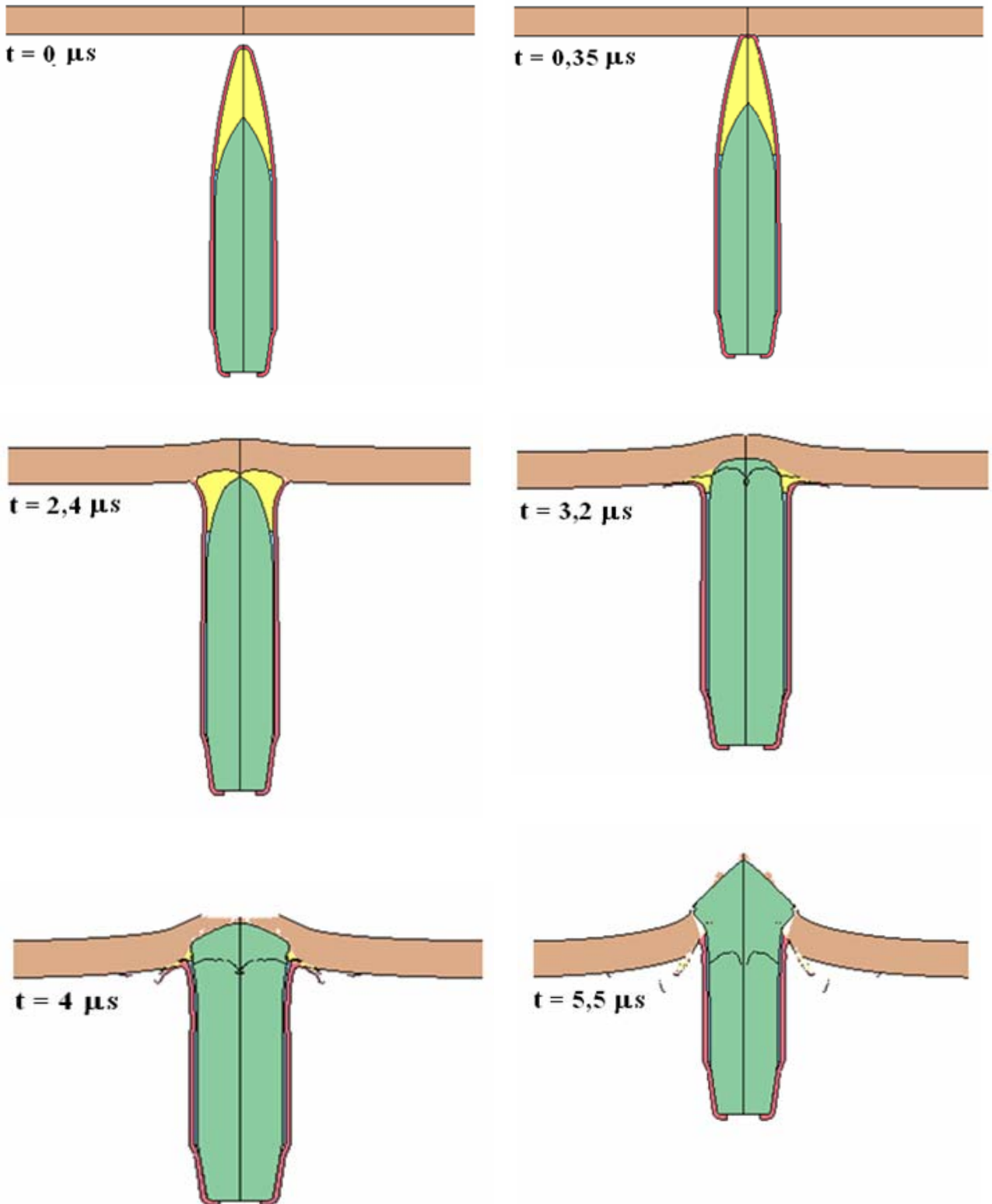


Fig. 3 : Etapele importante ale procesului de impact

3.2. Câmpul tensiunii efective Von Mises

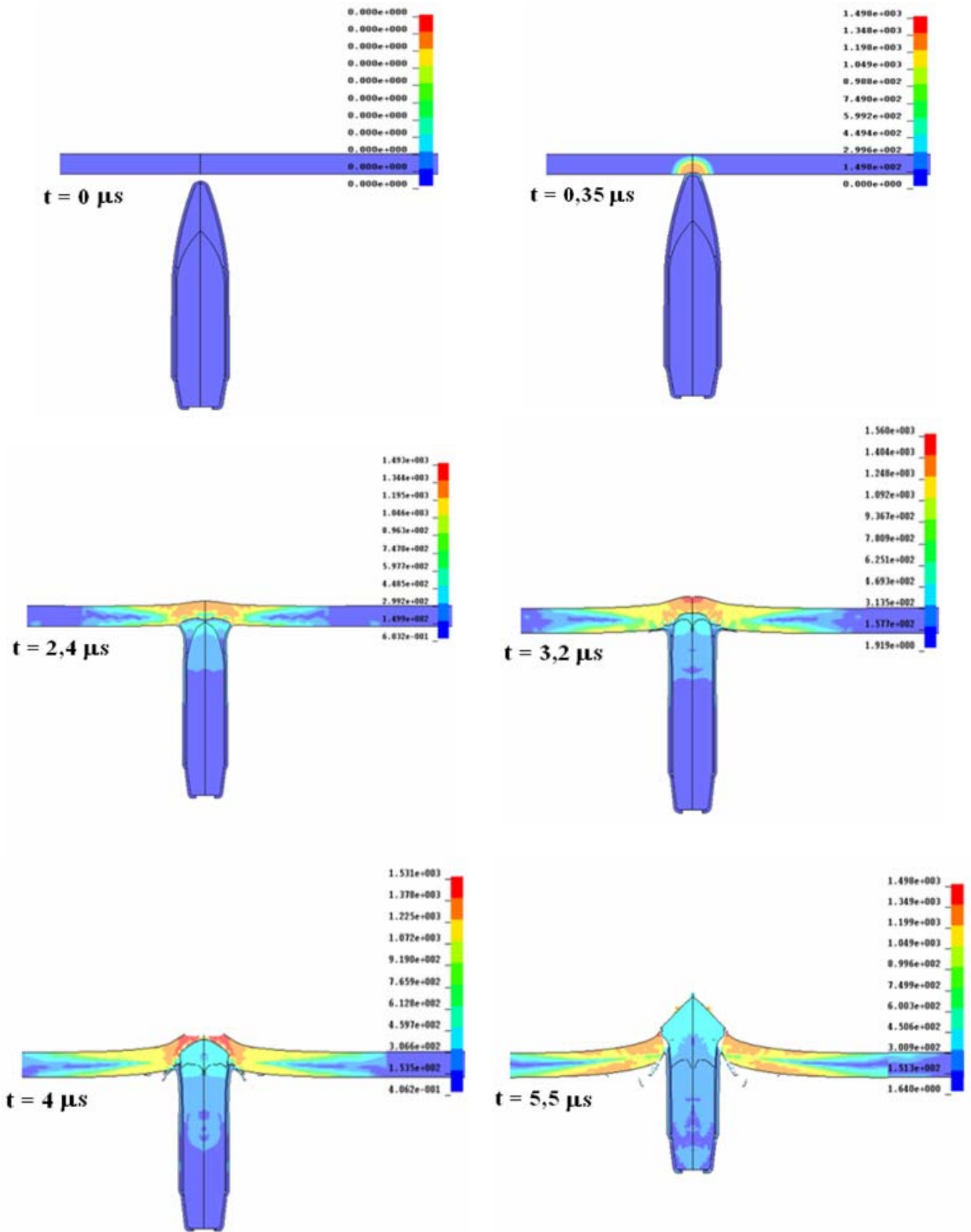


Fig. 4 : Etapele importante ale variației tensiunii efective Von Mises din procesul de impact

## Capitolul IV Concluzii

În figurile anterioare se pot vedea cele mai importante momente ale impactului dintre glonț perforant – incendiar calibru 14,5 x 114 mm și placă de blindaj de grosime 6 mm.

În cadrul ambelor figuri anterioare, la  $t = 0 \mu\text{s}$  este exprimată starea inițială, în care se prezintă glonțul și blindajul.

La  $t = 0,35 \mu\text{s}$  se prezintă momentul impactului, unde ambele elemente care-l generează încep să se deformeze.

Pentru  $t = 2,4 \mu\text{s}$ ,  $t = 3,2 \mu\text{s}$  și  $t = 4 \mu\text{s}$  se prezintă, pe rând, etapele perforării plăcii de blindaj de grosime 6 mm de către glonțul perforant – incendiar calibru 12,7 x 108 mm.

Imaginile corespunzătoare lui  $t = 5,5 \mu\text{s}$  reprezintă perforarea totală a procesului de impact ce face obiectul acestui referat.

---

\* Ionescu Cătălin – Eugen, cercetător științific, Poliția de Frontieră Călărași – Oltenița, Dr. Lucian Popescu, nr. 2, tel. 0242 515798, e-mail : catalineugenionescu@yahoo.com

## UNELE ASPECTE PRIVIND INFLUENȚA CATALIZATORILOR CHIMICI ASUPRA COMBUSTIEI PROPULSANȚILOR SOLIZI PENTRU MOTOARELE RACHETĂ

Lucian ISTODE\*  
Titica VASILE\*\*

### ABSTRACT

*In this paper it is presented some aspects concerning the mode how it is influenced the combustion of rocket solid propellants by different chemical substances.*

*These substances, usually named additives, influence on one hand the physical-chemical characteristics of rocket solid propellants and on another hand the manufacturing process.*

*The physical-chemical characteristics that can be modified are following: the burning rate, in order to increase or decrease of it or diminution of burning rate variation due to temperature variation; the burning stability ("plateau" effect); the combustion heat, for increase of it [1],[2].*

*The additives facilitate the manufacturing process in order to improvement of propellant paste flow or reduction of propellant viscosity [3].*

*In the case study it is analyzed the influence of a chemical catalyst on flame at exit section of nozzle, in order to reduce it. The reduction of flame at exit section of nozzle is beneficial for protection of aircraft, in the case of aviation missiles and for diminution of thermal signature, in the case of rocket launched from land.*

### I. INTRODUCERE

Problema studiului mai aprofundat a fenomenului de postcombustie la motoarele racheta cu combustibil solid a apărut ca urmare a unor incidente apărute la tragerile cu rachete aer-aer și aer-sol de pe avioanele MIG 21, MIG 23 și MIG 29. La foarte scurt timp după lansarea rachetei, deseori se constatau perturbații în funcționarea motorului turboreactor al avionului purtător. Au fost și situații în care motorul turboreactor al avionului s-a oprit, repornirea lui fiind posibilă numai datorită experienței pilotului. Aceste incidente au fost aduse la cunoștință furnizorului de avioane și rachete. Furnizorul a confirmat faptul că asemenea incidente s-au produs și la

avioanele din dotarea lui, rezolvând problema prin introducerea în structura avionului a unui rezervor suplimentar de oxigen, cu care supradoza intrarea în turboreactorul avionului înainte de lansarea rachetei. Ca urmare a acestor incidente, s-a pus problema îmbunătățirii combustiei în motorul rachetă, astfel încât, combustia produselor de ardere evacuate să nu mai necesite un consum semnificativ de oxigen, care să afecteze motorul turboreactor al avionului purtător.

## II. ADITIVI FOLOSIȚI PENTRU REDUCEREA EMISIEI DE FLACĂRĂ LA PROPULSANȚII SOLIZI PENTRU MOTOARE RACHETĂ

### II.1 Aspecte teoretice

Combustia unei pulberi solide din motoarele rachetă este în sine un proces complex, dependent de mulți factori. Modelările acestei combustii au constituit și constituie subiect de studiu pentru specialiști, elaborând diverse metode de calcul a caracteristicilor termochimice și termodinamice. Prin modelarea combustiei se obțin unii parametri termoenergetici absolut necesari în etapa de studiu pentru un combustibil nou, cum ar fi: produșii de ardere, constanta gazelor, masa molară a gazelor, temperatura gazelor etc. Dar cel mai mare neajuns al a acestei modelări constă în faptul că procesele de ardere nu sunt legate de factorul *timp*, datorită complexității acestor procese. Produsele inițiale rezultate prin ardere nu sunt stabile, ele suferind recombinații în camera de ardere, în ajutor și dincolo de secțiunea de ieșire a ajutorajului unde se transformă în produse de ardere gazoase sau solide stabile. În cazul prezentat, pentru îmbunătățirea combustiei era necesar să se intervină asupra rețetei prin adăugarea unui inhibitor de flacără (aditiv de suprimare a flăcării). În procesul de ardere, acest inhibitor să fie vaporizat și descompus în radicali liberi, care ulterior, dincolo de secțiunea de ieșire a ajutorajului să reacționeze cu produșii parțiali de combustie (CO, C, OH), ducând la întreruperea lanțurilor cinetice de postcombustie a produșilor oxidați parțial [4],[5].

### II.2 Aspecte practice

Pentru realizarea combustibilului ce echipează motorul proiectilului reactiv S24 pentru avionul MIG 29, aditivul folosit a fost un complex ce înglobează metale împreună cu un oxid. Compusul folosit este hexanitrocobaltiatul de potasiu, având formula chimică  $K_3Co(NO_2)_6$ . El se prezintă sub formă de particule micronizate, de culoare galben intens, bine cristalizat, sub formă cristalografică aparținând sistemului cubic polimorf.

Distribuția granulometrică a lui este:

- |                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| • cristalite sub 2 $\mu$         | 1,2 ppg  |
| • cristalite între 2 și 10 $\mu$ | 60,8 ppg |
| • cristalite peste 10 $\mu$      | 38,0 ppg |

Conținutul de cobalt din compus este de 9,5 % ppg.

Hexanitrocobaltiatul de potasiu se prepară prin sinteză pe instalații de sinteză specifice fabricației catalizatorilor solizi.

Din punct de vedere al materiilor prime, există mai multe posibilități de a sintetiza hexanitrocobaltiatul de potasiu. Compusul strategic al acestui aditiv este cobaltul, pentru care



materia primă poate fi metalul ca atare sau înglobat sub formă de azotat. La rândul său, azotatul de cobalt ( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ ) poate fi sub formă de cristale sau sub formă de soluție.

În etapa de cercetare care a avut ca obiectiv stabilirea tehnologiei optime din punct de vedere preț și timp pentru sinteza hexanitrocobaltiatului de potasiu s-a acționat pe trei variante.

La prima variantă s-a utilizat cobaltul ca atare. Această variantă s-a dovedit ca fiind nerentabilă atât din punct de vedere al consumurilor cât și al costurilor. Pentru sinteza a 100 kg de hexanitrocobaltiat de potasiu erau necesare 12 kg de cobalt de o puritate medie.

La a doua variantă de sinteză s-a utilizat azotatul de cobalt cu șase molecule de apă,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

La a treia variantă s-a utilizat azotat de cobalt sub formă lichidă, a cărei caracteristici de bază sunt prezentate mai jos:

• aspect	soluție limpede
• culoare	roșu-vișiniu
• conținut $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$	35...40 %
• densitate [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	1,3...1,4
• pH	5,5...6,5

Din analiza efectuată pe baza criteriilor specificate mai sus a rezultat că varianta trei este cea mai bună.

Oxidul folosit este oxidul de magneziu,  $\text{MgO}$ , sub formă de particule cu suprafață rugoasă, dopat cu atomi de  $\text{Fe}^{3+}$  și  $\text{Mn}^{2+}$ .

Compoziția aditivului este:

• hexanitrocobaltiat de potasiu	72 %
• oxid de magneziu	26 %
• impurități de metale alcaline și alcalinopământoase, altele decât K și Mg	2 %

Rețeta pulberii este:

• nitroceluloză	57 %
• nitroglicerina	24 %
• aditiv de suprimare a flăcării	8 %
• dinitrotoluen	4 %
• dibutilftalat	3 %
• centralită II	2,5 %
• ulei de vaselină	0,5 %
• grafit	0,3 %
• difenilamină	0,2 %
• umiditate	max 0,5 %

### II.3 Aspecte tehnologice

Pentru introducerea în pulbere a aditivului au fost testate mai multe procedee.

În prima variantă, aditivul a fost introdus în malaxor la sfârșit, după ce toți ceilalți constituenți erau amestecați în soluție apoasă. După stoarcerea pastei, dar înainte de extrudare

s-au efectuat analize de laborator în scopul verificării compoziției din punct de vedere procentual al constituenților. În urma analizei s-a constatat că aditivul se regăsește în rețetă în proporție de numai 25 % din cantitatea introdusă în malaxor. Cu toate acestea s-a continuat procesul de fabricație a pulberii prin extrudarea pastei în element sub formă de macaroană, la dimensiunile cerute de documentație. Din elementii extrudați s-au prelevat probe pentru determinarea repartiției granulometrice a aditivului. În urma analizei rezultatelor s-a constatat existența unei repartiții neuniforme a aditivului. Explicația acestor rezultate a constat în faptul că procedeul de introducere a aditivului la sfârșit nu este adecvat. Prezența nitroglicerinei în compoziția apoasă îi conferă acesteia proprietățile unei suspensii uleioase, în care nu se poate realiza o repartiție uniformă a unui compus solid sub formă micronizată. Într-o suspensie apoasă și uleioasă, particulele micronizate ale aditivului nu au găsit un suport de care să se „agațe” și prin urmare el s-a dispersat aleatoriu. Mai mult decât atât, 75 % din conținutul de aditiv a fost antrenat de apă în procesul de stoarcere. Chiar și în aceste condiții s-au efectuat teste statice pe prin trageri pe banc. Rezultatele obținute au fost considerate ca fiind promițătoare, în sensul că parametrii balistici s-au încadrat în totalitate în cerințele impuse, iar din punct de vedere al aspectului flăcării s-a constatat o reducere a ei, comparativ cu testele în care combustibilul nu conținea nici un fel de aditiv, sau aditivi sub formă de oxizi

În a doua variantă, aditivul a fost introdus în malaxor, imediat după introducerea nitrocelulozei, dar înainte de introducerea nitroglicerinei. Justificarea acestei succesiuni de introducere a componentelor pulberii a fost susținută de structura fizică a nitrocelulozei. Nitroceluloza are o structură fibroasă. Dacă în suspensia de apă, în care de fapt se și produce ca materie primă se introduce un compus solid micronizat, în procesul de amestecare particulele solide se „agață” de fibre. Mai mult decât atât, durata procesului de amestecare poate determina și gradul de uniformizare în masa nitrocelulozică al compusului solid micronizat.

Pe baza argumentelor prezentate mai sus s-a modificat tehnologia și s-a fabricat o nouă șarjă de pulbere. Ca și în prima variantă, din pasta rezultată în urma stoarcerii s-au prelevat probe pentru analiza cantitativă a constituenților prezenți și compararea rezultatelor din punct de vedere procentual cu ceea ce s-a introdus în malaxor. Referindu-ne la aditiv, acesta se regăsea în masa de pastă în procent de numai 50 % din cât a fost introdus. La fel ca și în prima variantă, pasta a fost extrudată, presată și prelucrată sub formă de calupii. Pe calupii de combustibil rezultați s-au efectuat teste statice pe banc. Dacă la testele prezentate anterior, rezultatele au fost calificate ca fiind promițătoare, de data aceasta rezultatele au confirmat faptul că aceasta este direcția cea bună. Analiza comparativă a rezultatelor va fi făcută și comentată mai târziu.

Pe baza rezultatelor prezentate mai sus, era clar că direcția de cercetare trebuia orientată pe îmbunătățirea tehnologiei de fabricație a pulberii. Cel mai important aspect încă neelucidat era acela al „dispariției” unei cantități importante din masa de aditiv pe fluxul de fabricație, de data aceasta 50 %. Această diferență semnificativă trebuia să se regăsească undeva. Cel mai probabil, diferența de aditiv se putea regăsi în emulsia de apă, dar din păcate, această apă rezultată în urma stoarcerii este evacuată împreună cu celelalte ape reziduale și nu este colectată.

La această etapă de cercetare s-a stabilit modificarea instalației de pulbere, în sensul adăugării unui bazin de colectare a apelor reziduale. S-a reluat cercetarea pe o nouă șarjă de combustibil. Rezultatele obținute au fost foarte asemănătoare cu cele prezentate la etapa anterioară. De data aceasta însă, s-au efectuat analize pe apa colectată. Cum era și de așteptat, o parte din aditivul lipsă era în această apă. Și totuși numai o parte. În această fază de cercetare s-a ivit o nouă ipoteză, și anume aceea că, este posibil ca în anumite etape ale fluxului tehnologic de fabricare a pulberii, aditivul să sufere o modificare, cel mai probabil să se dizolve parțial. Dizolvarea aditivului menținut un anumit timp în apă se poate produce numai dacă în compoziția

sa este prezent și sodiul, într-o anumită cantitate. Prezența sodiului în structura aditivului, chiar și ca element rezidual este inerentă, datorită existenței lui materiile prime folosite. Prin rafinarea procesului de sinteză, conținutul de sodiu poate fi diminuat, dar nu eliminat în totalitate.

Următoarea etapă de cercetare a constat în sinteza unei noi cantități de aditiv, în care s-a obținut reducerea procentului de sodiu rezidual.

În paralel cu activitatea de sinteză a unei noi cantități de aditiv a fost luată în calcul și ipoteza reducerii timpului tehnologic de amestecare a constituenților, astfel încât aditivul să nu aibă timpul necesar dizolvării. Dar modificarea unei tehnologii presupune alte implicații. Timpul tehnologic este impus în primul rând de realizarea gradului de omogenizare a constituenților. Chiar și în această situație, unele aspecte rămân neelucidate, cum ar fi faptul că în apele recuperate se regăsește aditiv care nu s-a dizolvat, deși a fost recuperat după o perioadă de timp mult mai mare decât aceea în care a fost în malaxor.

Folosind noul aditiv, s-a fabricat o nouă șarjă de combustibil. Rezultatele obținute au confirmat unele ipotezele emise. De data aceasta, în masa de pulbere s-a regăsit 70 % din procentul de aditiv introdus. Testele prin trageri statice pe banc au confirmat încă o dată faptul că prezența aditivului în rețetă, cât mai aproape de procentul necesar, duce la atingerea scopului propus.

Specialiștii în sinteza aditivului au continuat activitatea de cercetare pentru reducerea pe cât mai mult posibil a existenței sodiului, dar în același timp au realizat și faptul că acest aspect duce la creșterea semnificativă a prețului de producție. În acest stadiu de cercetare s-a pus și problema modificării tehnologiei de fabricație a pulberii. Propunere a constat în înlocuirea apei ca agent de emulsie în faza de amestecare a constituenților cu un alt agent. Un posibil agent de emulsie poate fi uleiul, agent în care dizolvarea aditivului este complet eliminată. În această situație apar două aspecte noi.

Primul aspect constă în faptul că în pasta stoarsă va rămâne o anumită cantitate de ulei. Acest lucru nu deranjează, având în vedere faptul că, oricum în rețetă se introduce și ulei, ca agent emulgator pentru etapa de extrudare. Prin urmare, nu se mai introduce ulei ca un constituent separat, ci se controlează procentual uleiul rezidual.

Al doilea aspect se referă la costurile de fabricație ale pulberii. Din acest punct de vedere, apa este incomparabil mai ieftină decât uleiul dar, dacă se procedează la recuperarea uleiului și reutilizarea lui, este posibil ca unele aspecte privind costurile de fabricație să se încadreze în limite acceptabile.

Revenind la activitatea descrisă mai sus, o modificare a fluxului de fabricație presupunea alte aspecte de ordin tehnic, financiar și de timp. Pentru continuarea cercetărilor s-a stabilit și efectuat fabricarea unei noi șarje de pulbere, la care procentul de aditiv a fost supradozat cu diferența constatată la ultimele analize. În urma rezultatelor obținute la analizele de laborator și a testelor experimentale au fost obținute rezultate foarte apropiate de cele stabilite ca obiectiv.

## II.4 Aspecte experimentale

În Fig. 1 sunt reproduse imagini din înregistrările video efectuate pe timpul efectuării testelor experimentale pe banc. Din analiza lor se poate constata influența procentului de aditiv din rețetă asupra flăcării.



**a** aspectul jetului la testul de banc al combustibilului fără aditiv



**b** aspectul jetului la testul de banc al combustibilului cu 2,5 % aditiv



**c** aspectul jetului la testul de banc al combustibilului cu 5 % aditiv



**d** aspectul jetului la testul de banc al combustibilului cu 7...8 % aditiv

Fig. 1 Aspectul comparativ al jetului pentru o rețetă de combustibil cu procente diferite de aditiv pentru suprimarea flăcării

### III. REZULTATE ȘI CONCLUZII

Folosirea aditivului pe bază de hexanitrocobaltiat de potasiu și oxid de magneziu în pulberea motorului rachetei S24 adus la diminuarea flăcării dincolo de secțiunea critică a ajutorului.

Testele dinamice, prin trageri de pe toate tipurile de avioane au demonstrat că motoarele aeronavei nu au mai fost perturbate pe timpul lansării.

### REFERINȚE

- [1] G. P. SUTTON: *Rocket Propulsion Elements*, Seventh Edition, A Wiley-Interscience Publications, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2001.
- [2] A. DAVENAS: *Solid Rocket Motor Design*, vol. 170, Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, 1996.

- [3] C. BOYARS and K. KLAGER: *Propellants: Manufacture, Hazards and Testing*, Advances in Chemistry Series 88, American Chemical Society, Washington, DC, 1969.
- [4] V. T. TIGANESCU and L. ISTODE: *Sisteme tehnice integrate. Sisteme propulsive*, Editura Univers Stiintific, Bucuresti, 2006.
- [5] L. ISTODE: *Propellants with Additives for Diminution of Flame*, Proceedings of the XXVI-th International Conference, Military Academy Publishing House, Bucharest, 1995.

---

\* Lucian Istode, lt.col(r) cercetător științific I drd. ing., Academia Tehnică Militară, București, George Coșbuc nr. 81-83, tel. 021 3354660 int. 198, e-mail: istodeluci@yahoo.com

\*\* Titică Vasile, gl.bg.(r) profesor univ. dr. ing., Academia Tehnică Militară, București, George Coșbuc nr. 81-83, tel. 021 3354660 int. 149, e-mail: titica@mta.ro



## DIAGNOSTICAREA MECANISMULUI DE FRÂNARE A MAȘINILOR DE EXTRACȚIE CU ROATĂ MOTOARE

Itu Vilhelm\*  
Dumitrescu Iosif\*\*  
Toth Francisc\*\*\*  
Itu Răzvan Bogdan\*\*\*\*

*Abstract: The paper presents aspects of diagnosing winding engine brake mechanisms, with driving wheels as cable winding parts locate in towers, in view of appraising and adjusting winding engines. The object of survey was the winding engine with driving wheel in „Put cu auxiliarno.2” Livezeni Mine winding installation.*

### Introducere

Mașinile de extracție ale instalațiilor de extracție miniere pot fi amplasate lateral față de acesta pe sol (fig. 1), sau în turnul de extracție al instalației de extracție deasupra puțului (fig. 2) [1].



Fig. 1: Instalația de extracție  
„Puț auxiliar nr3 “ E.M. Livezeni



Fig. 2: Instalația de extracție  
„Puț Centru “E.M. Petrila

Conform normelor de exploatare și de protecția muncii, fiecare mașină de extracție trebuie prevăzută cu un dispozitiv de frânare (fig. 3) ce asigură desfășurarea normală a regi-



Fig. 3. Mașină de extracție tip MK 2,25 x 4  
„ Puț auxiliar nr.1 “ E.M. Livezeni

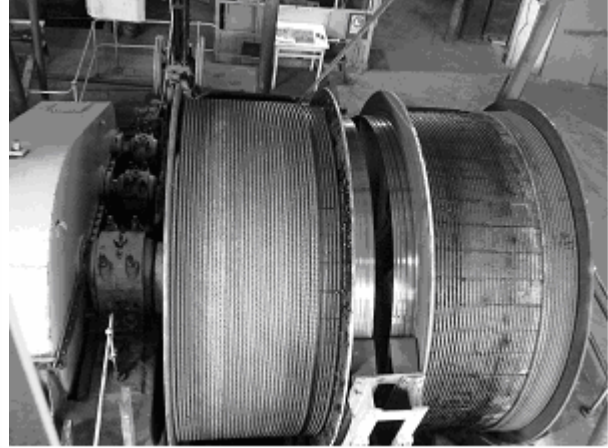


Fig. 4. Mașină de extracție tip 2BM 300 x 900  
„ Puț Chorin “ E.M. Vulcan

mului de mișcare a vaselor de extracție, sau oprirea mașinii într-o anumită poziție a vaselor (frânarea de manevră) și oprirea automată a mașinii, independent de voința operatorului, într-unul din următoarele cazuri considerate perturbații sau avarii: dispariția tensiunii, scăderea presiunii fluidului de lucru pentru acționarea frânei, supraînălțarea vaselor de extracție, depășirea vitezei admise, suprasarcina etc (frânarea de siguranță).

Mecanismul de execuție a frânelor constă din saboții de frânare și din transmisia cu pârghii ce leagă saboții de dispozitivul de acționare.

Mecanismul de execuție este comun (în majoritatea cazurilor) pentru frânarea de manevră și pentru cea de siguranță [1].

În cazul organelor de înfășurare sub formă de tobe, gențile de frânare se află pe marginile interioare (fig. 4) sau pe marginile exterioare ale acestora (fig. 5).

Amplasarea genților de frânare pe marginile interioare ale tobelor se aplică în cazurile când ambele perechi de saboți au același dispozitiv de acționare.

Amplasarea exterioară se folosește la tobe simple, sau în cazul mașinilor de extracție mari, când fiecare pereche de saboți are acționare individuală (fig. 6).

La roțile motoare monocablu (fig.10), gențile de frânare se dispun pe cele două părți ale canalului cablului.

La roțile multicablu gențile de frânare pot fi dispuse în părțile exterioare (fig. 5) sau între canalele cablurilor, în cazul când trebuie folosite mai multe perechi de saboți (fig.6).

În funcție de modul de suspendare a saboților, organele executoare pot fi de două



Fig. 5. Mașină de extracție tip 2T 3,5 x 1,7  
„ Puț auxiliar nr.2 “ E.M. Bărbăteni

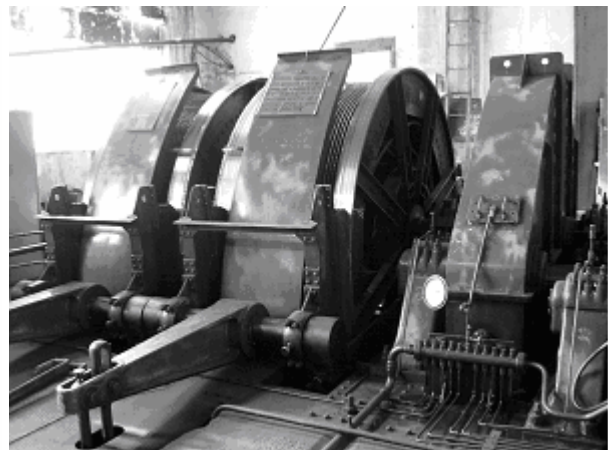


Fig. 6. Mașină de extracție tip BAMERT  
„ Puț Procop “ E.M. Vulcan



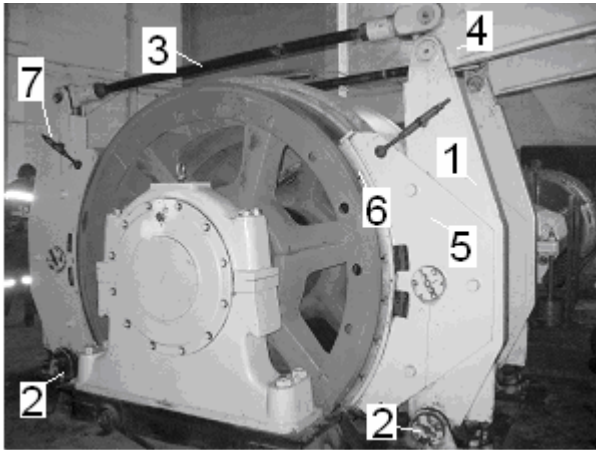


Fig. 7. Mașină de extracție tip MK 3,25x4  
„ Puț cu schip “ E.M. Livezeni



Fig. 8. Instalația de extracție  
„ Puț auxiliar nr.1 “ E.M. Livezeni (stânga)

tipuri: cu saboți fixați pe suportți cu reazeme fixe și cu saboți pe suportți cu reazeme articulate.

Organul de execuție al frânelor cu saboți și pârgii (fig. 7) constă din două bare suport (stâlpii port-saboți) (1) articulate în reazeme (2), legate între ele prin tija (3) (tirantul care face legătura dintre stâlpii portsaboți) acționată prin ridicarea sau coborârea pârgiei (4) (triunghiului). Pe barele de susținere (1) sunt fixați suportții (5) ai saboților de frână (rigid în cazul deplasării un-ghiulare și articulat în cazul deplasării paralele). Pe suprafața interioară a suportților se fixează saboții (6) care acționează direct asupra genților de frână-re. Deplasarea saboților în timpul frânării este împiedicată de reazemele (7) la extremitățile suportților (5) [1].

Diagnosticarea mecanismului de frânare a mașinilor de extracție miniere constă în determinarea coeficienților de siguranță reali la aplicarea frânei de siguranță și la aplicarea frânei de manevră.

În vederea expertizării și reglării mașinii de extracție măsurătorile experimentale au fost făcute la mașina de extracție al instalației de extracție multicablu de la Puțul auxiliar nr.1 incinta E.M. Livezeni (fig. 8), a cărei prezentare se face în cele ce urmează.

## 2. Instalația de extracție luată în studiu

Instalația de extracție echează Puțul auxiliar nr.1, Incinta Livezeni din cadrul E.M. Livezeni, care este destinat [4] pentru extracția transportul de materiale și personal din și în subteran. Adâncimea de extracție este de 300m. Cota rampelor din puț (punctul de încărcare și descărcare a schipurilor) este 284 (cota 300) și respectiv 584 (cota 0).

Instalația de extracție ce deservește puțul este echilibrată (cu cablu de echilibru) și este dotată cu o mașină de extracție de tip MK 2,25x 4 (fig. 9), fabricată în fosta U.R.S.S. și a fost pusă în funcție în anul 1976. Mașina este echipată cu două motoare asincrone tip AKH-14-46-10 de putere nominală 630 kW și turația nominală de 585 rot/min și un reductor tip 2ȚD-14 cu raport de transmisie 6. Diametrul tobei de fricțiune (acționare) este de 2,25m. Sarcina statică maximă este de 328.000 N, sarcina maximă dezechilibrată este de 120.000 N.

Cablurile de compensație în număr de două au masa (pe metru liniar) respectiv de 7,6 kg/m și 6,8 kg/m. Viteza maximă este de 11 m/s ridicat materiale, de 7 m/s coborât materiale, 6 m/s pentru transport personal și 0,5 m/s pentru revizie.

Timpu de frânare cu schipul plin ascendent la viteza de 8,64 m/s este de 3,77 s, iar spațiul de frânare este de 7,8 m. Momentul maxim de frânare este de 264.870 N•m. Distanța reglabilă între șaiba de frânare de  $\Phi 2,4$  m și saboți este de 1,2-1,5 mm.

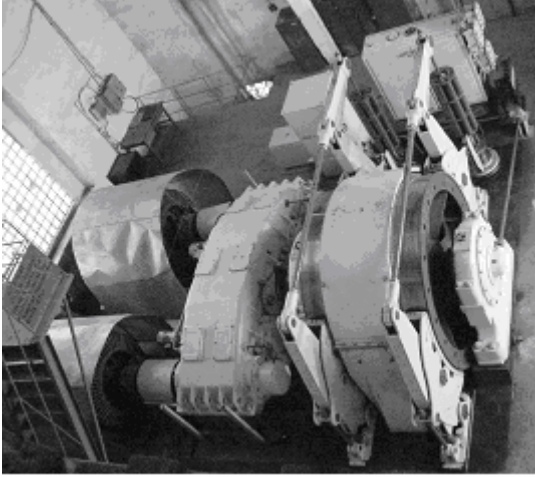


Fig. 9. Mașină de extracție tip MK 2,25x4

Cablurile de extracție, în număr de 4 cu diametrul maxim admis de  $\Phi 28$  mm și masa (pe metru liniar) de 3,22 kg/m sunt petrecute peste roata motoare cu diametrul de  $\Phi 2,25$ m, celelalte capete ale cablurilor, sunt prinse de vasele de extracție prin intermediul dispozitivului de echilibrare și de legare a cablului (D.L.C.-uri). Vasele de extracție sunt schip-colivie stânga și colivie basculantă dreapta de 14000kg. Sistemul de prindere al vaselor de extracție de cabluri este cu D.E.C. și patru D.L.C.-1. O altă componentă principală a instalației de extracție este turnul (fig. 8) cu o înălțime, până la axul mașinii de extracție ce echipează turnul, de 55,75 m

### 3. Condiții de funcționare impuse dispozitivului de frânare

Momentul de frânare atât la frânarea de manevră cât și, la cea de siguranță trebuie să fie cel puțin triplul momentului; static:

$$M_{fr} \geq 3M_{st} \quad [Nm] \quad (1)$$

În cazul unei instalații de extracție neechilibrate (fără cablu de compensare (echilibru)), momentul static este:

$$M_{st} = g(Q_u + qH)R \quad [Nm] \quad (2)$$

unde  $g$  este accelerația gravitațională,  $g = 9,81$  [m/s<sup>2</sup>];  $Q_u$  masa utilă a vasului de extracție, kg;  $q$  masa pe metru liniar a cablului de extracție, kg/m;  $H$  adâncimea de extracție, m;  $R$  este raza organului de infășurare, m.

Pentru o instalație echilibrată static sau dinamic (cu cablu de compensare):

$$M_{st} = g(Q_u + (q - q_1)H)R \quad [Nm] \quad (3)$$

unde  $q_1$  masa pe metru liniar a cablului de compensare, kg/m.

În cazul reglării poziției unei tobe față de cealaltă, la schimbarea orizontului de extracție, pe geanta de frânare a tobei fixe trebuie dezvoltat momentul de frânare:

$$M'_{fr} \geq 1,2 M_{1st} \quad [Nm] \quad (4)$$

unde  $M_{1st}$  este momentul static al unei ramuri a cablului, creat de greutatea vasului de extracție gol și a cablului de extracție, Nm.

$$M_{1st} = g(Q_c + qH)R \quad [Nm] \quad (5)$$

unde  $Q_c$  este masa vasului de extracție gol, kg.

Distanța maximă între saboți și geanta de frânare nu trebuie să depășească 2mm.

Se impune totodată ca la frânare să se producă o decelerare de cel puțin 1,5m/s<sup>2</sup> și cel mult 4—5 m/s<sup>2</sup>, dar care să nu depășească valoarea critică la care are loc alunecarea cablului la instalațiile de extracție cu roată motoare. Așa cum s-a precizat, la aceste instalații punerea în mișcare a cablului și a încărcăturii se face datorită forței de frecare între cablu și roata motoare. Din acest motiv, cu cât adâncimea de extracție este mai mare, cu atât siguranța contra alunecării cablului pe roata motoare este mai mare.

Pentru evitarea alunecării cablului pe roata motoare, se impune să se păstreze un anumit raport între tensiunile de înfășurare și de desfășurare a cablului. În acest sens se limitează atât accelerația la pornire, cât și întârzierea în cazul frânării.

Pentru aprecierea posibilității alunecării cablurilor, unele uzine și firme constructoare folosesc raportul:

$$k_{st} = \frac{T_a}{T_d} \quad (6)$$

în care:

$T_a$  este tensiunea statică în ramura ascendentă a cablurilor, [N];

$T_d$  – tensiunea statică în ramura descendentă a cablurilor, [N].

Decelerația critică, dependentă de regimul de lucru al instalației, se determină cu relațiile:

- pentru instalații fără moletă de deviere:

$$a_{3cr} = g \frac{k_{st} e^{\mu\alpha} - 1}{k_{st} e^{\mu\alpha} + 1} [m/s^2] \quad (7)$$

la coborârea încărcăturii:

$$a_{3cr} = g \frac{e^{\mu\alpha} - k_{st}}{e^{\mu\alpha} + k_{st}} [m/s^2] \quad (8)$$

- pentru instalații cu moletă de deviere:

la ridicarea încărcăturii (încărcătura pe ramura opusă poziției moletii de deviere):

$$a_{3cr} = g \frac{k_{st} e^{\mu\alpha} - 1}{k_{st} e^{\mu\alpha} + 1 + \frac{M'_m g}{T_d}} [m/s^2] \quad (9)$$

la ridicarea încărcăturii (încărcătura pe partea moletii de deviere):

$$a_{3cr} = g \frac{k_{st} e^{\mu\alpha} - 1}{e^{\mu\alpha} k_{st} + \frac{M'_m g}{T_d} + 1} [m/s^2] \quad (10)$$

la coborârea încărcăturii (încărcătura pe ramura opusă poziției moletii de deviere):

$$a_{3cr} = g \frac{e^{\mu\alpha} k_{st} - 1}{e^{\mu\alpha} + 1 + \frac{M'_m g}{T_d} + k_{st}} [m/s^2] \quad (11)$$

la coborârea încărcăturii (încărcătura pe partea moletii de deviere):

$$a_{3cr} = g \frac{e^{\mu\alpha} k_{st} - 1}{e^{\mu\alpha} + k_{st} + \frac{M'_m g}{T_d}} [m/s^2] \quad (12)$$

unde  $M'_m$  este masa moletelor de deviere.

Decelerația de lucru se adoptă pe baza relației:

$$a_3 = (0,7 - 0,8) a_{3cr} [m/s^2] \quad (13)$$

#### 4. Verificarea forțelor efective din tiranți și evaluarea coeficienților de siguranță reali

Pentru determinarea forțelor de întindere din tiranți s-au lipit câte două mărci tensiometrice pe fiecare tirant (fig.10 și fig.11), diametral opuse, cu scopul de a elimina efectul încovoierii și cu ajutorul a altor două mărci de compensare s-a realizat o punte Wheatstone având două ramuri active și două ramuri pasive.

Puntea Wheatstone s-a echilibrat cu ajutorul unui compensator, diferite stări ale frânei și s-a determinat deformația specifică a materialului.

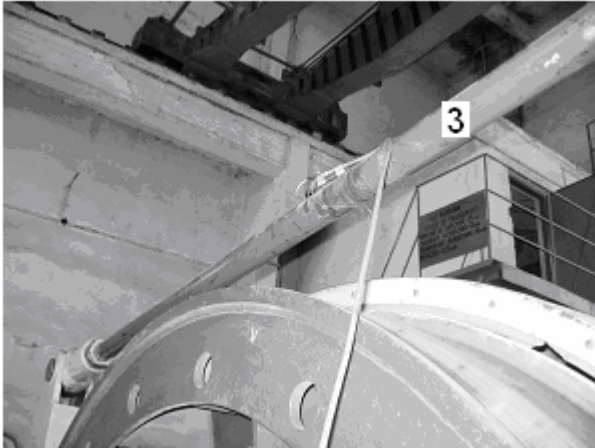


Fig. 10: Tirant stânga

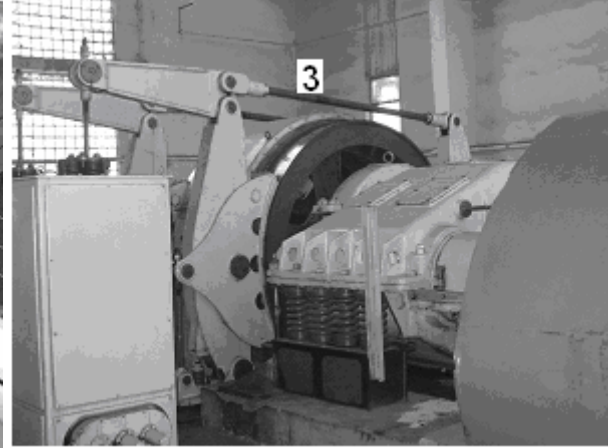


Fig. 11: Tirant dreapta

S-au utilizat mărci tensiometrice de fabricație MM-SUA, tip EA-06-250BG-120, rezistență nominală 120 ohmi, factor de sensibilitate real 2,06 și amplificator de măsură tip SPIDER 8. Măsurătorile s-au executat în regim static pentru determinarea valorilor absolute. Pentru a cunoaște dinamica fenomenelor, s-a înregistrat semnalul de ieșire din amplificator cu ajutorul unui sistem de achiziții de date. Valorile forțelor din tiranți, cu care s-au calculat coeficienții de siguranță, obținute în urma măsurătorilor efectuate în timpul unui ciclu de extracție, împreună cu elementele cinematice ale mișcării vaselor pe puț sunt redată în figura 12 și figura 13.

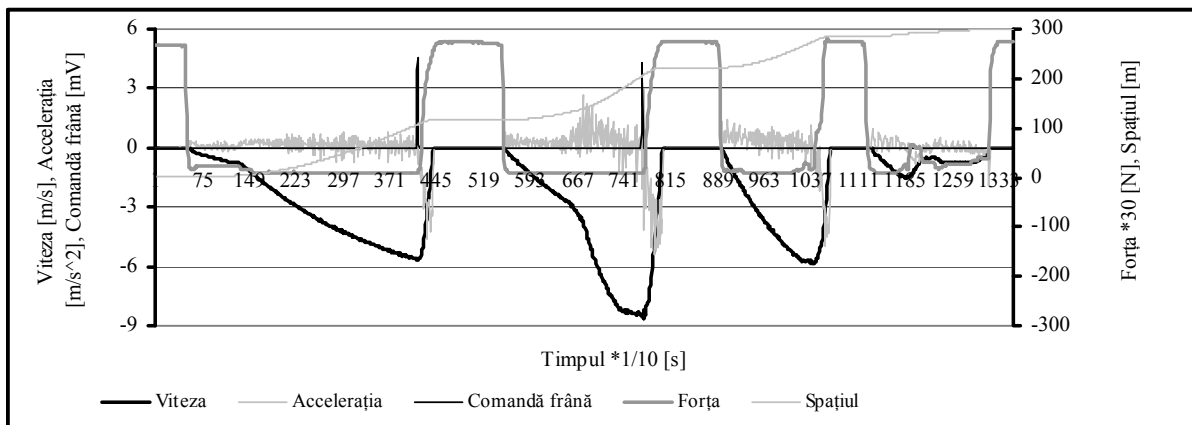


Fig. 12: Tirant dreapta, colivie stânga coboară

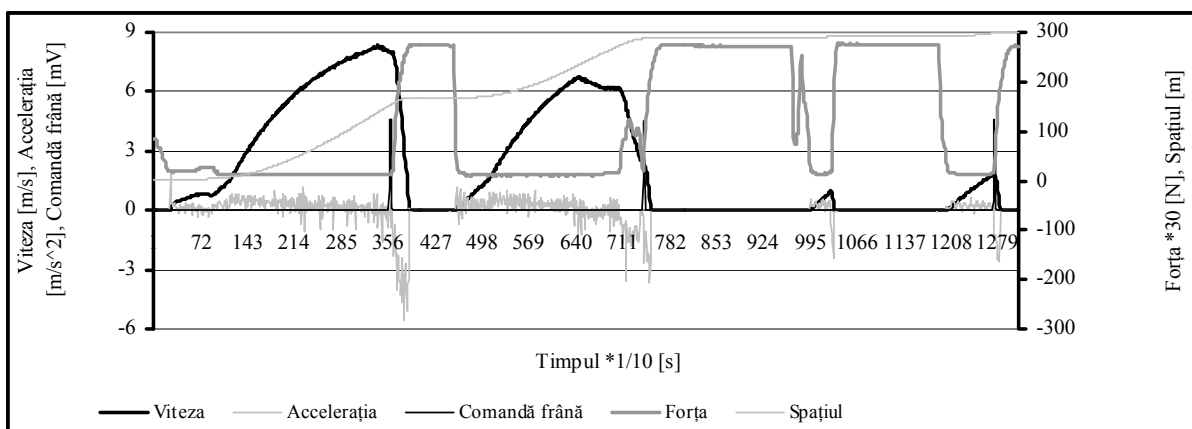


Fig. 13: Tirant dreapta, colivie stânga urcă

Frâna de manevră:

Forța de întindere din tiranți: F – (daN)

$$F_s = \varepsilon_s \cdot E_o \cdot S_s \cdot 10^{-6}, F_s = 7,746 \times 10^3, F_d = \varepsilon_d \cdot E_o \cdot S_d \cdot 10^{-6}, F_d = 7,404 \times 10^3 \quad (14)$$

$$D_j - \text{diametrul jantei de frânare (m)} \quad D_j = 2,4$$

$$i_2 - \text{raportul de amplificare parțial (stâlp port-sabot)} \quad i_2 = 2,5$$

Momentul de frânare la frâna stângă                                  Momentul de frânare la frâna dreaptă

$$M_{Fs} = \frac{F_s \cdot i_2 \cdot D_j \cdot 2 \cdot \mu \cdot \eta}{2}, M_{Fs} = 1,325 \times 10^4, M_{Fd} = \frac{F_d \cdot i_2 \cdot D_j \cdot 2 \cdot \mu \cdot \eta}{2}, M_{Fd} = 1,266 \times 10^4 \quad (15)$$

Moment de frânare total:  $M_t$  (daNm)

$$M_t = M_{Fs} + M_{Fd}, M_t = 2,591 \times 10^4 \quad (16)$$

$c_s$  – coeficientul de siguranță real la frânare determinat experimental

$$M_{st1} - \text{moment static maxim (daN)} \quad M_{st1} = 8630$$

$$c_s = \frac{M_t}{M_{st1}}, c_s = 2,967 \quad (17)$$

Frâna de siguranță:

Forța de întindere din tiranți: F – (daN)

$$F_s = \varepsilon_s \cdot E_o \cdot S_s \cdot 10^{-6}, F_s = 7,902 \times 10^3, F_d = \varepsilon_d \cdot E_o \cdot S_d \cdot 10^{-6}, F_d = 8,869 \times 10^3 \quad (18)$$

Momentul de frânare la frâna stângă                                  Momentul de frânare la frâna dreaptă

$$M_{Fs} = \frac{F_s \cdot i_2 \cdot D_j \cdot 2 \cdot \mu \cdot \eta}{2}, M_{Fs} = 1,351 \times 10^4, M_{Fd} = \frac{F_d \cdot i_2 \cdot D_j \cdot 2 \cdot \mu \cdot \eta}{2}, M_{Fd} = 1,517 \times 10^4 \quad (19)$$

Moment de frânare total:  $M_t$  (daNm)

$$M_t = M_{Fs} + M_{Fd}, M_t = 2,868 \times 10^4 \quad (20)$$

$c_s$  – coeficientul de siguranță real la frânare determinat experimental

$$M_{st1} - \text{moment static maxim (daN)} \quad M_{st1} = 8630$$

$$c_s = \frac{M_t}{M_{st1}}, c_s = 3,285 \quad (21)$$

## 5. Calculul decelerațiilor critice la alunecarea cablului

Calculul decelerațiilor critice teoretice:

Tensiunile în cablu (daN) (din anexa 1):

- ramură încărcată

$$Q_1 = 27370, T_1 = Q_1 \quad (22)$$

- ramură neîncărcată:

$$Q_2 = 19610, T_2 = Q_2 \quad (23)$$

Unghiul de înfășurare al cablului  $\alpha$  (rad)

$$\alpha = 190 \frac{\pi}{180}$$

Decelerațiile critice (m/s<sup>2</sup>):

- ridicare de sarcină

- coeficientul de frecare dintre cablu și căptușeală:

$$\mu = 0,3$$

$$k_{st} = \frac{T_1}{T_2}, k_{st} = 1,396 \quad (24)$$

$$a_{crr} = g \frac{k_{st} \cdot e^{\mu \cdot \alpha}}{k_{st} \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + 1}, a_{crr} = 5,526 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2} \quad (25)$$

- decelerația maximă admisă (m/s<sup>2</sup>):

$$a_{maxr} = 0,85 \cdot a_{crr}, a_{maxr} = 4,697 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-2} \quad (26)$$

- coborâre de sarcină

$$a_{crc} = g \frac{e^{\mu \cdot \alpha} k_{st}}{e^{\mu \cdot \alpha} + k_{st}}, \quad a_{crc} = 2,897 \cdot sec^{-2} \quad (27)$$

- decelerația maximă admisă ( $m / s^2$ )

$$a_{maxc} = 0,85 \cdot a_{crc}, \quad a_{crc} = 2,463 \cdot sec^{-2} \quad (28)$$

- schipuri goale:

$$k_{st} = 1$$

$$a_{crr} = g \frac{k_{st} \cdot e^{\mu \cdot \alpha} I}{k_{st} \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + I}, \quad a_{crr} = 4,307 \cdot m \cdot sec^{-2} \quad (29)$$

$$a_{maxr} = 0,85 \cdot a_{crr}, \quad a_{maxr} = 3,661 \cdot m \cdot sec^{-2} \quad (30)$$

Decelerațiile reale la frânarea de siguranță:

Tabelul 5.1 Decelerațiile reale

Nr.crt.	dQ [daN]	V <sub>0</sub> [m/s]	V <sub>1</sub> [m/s]	t <sub>ef</sub> [s]	t <sub>m</sub> [s]	a [m/s <sup>2</sup> ]
1	0	7,78	7,78	2,91	0,78	2,674
2	0	6,66	6,66	2,39	0,77	2,78
3	0	8,64	8,64	3,13	0,64	2,76
4	0	7,64	7,64	2,9	0,57	2,634

Dcelerațiile reale conform tabelului 5.1 sunt mai mici decât cele admise.

## 6. Concluzii

Coeficientul de siguranță real calculat cu forța efectivă din tirant, obținută în urma rezultatelor măsurărilor experimentale, la aplicarea frânei de siguranță și la aplicarea frânei de manevră se încadrează în limita admisă. Deasemenea decelerațiile și timpii de întârziere, la aplicarea frânei de siguranță, au valorile cuprinse în limitele admisibile.

## Bibliografie

- [1] Magyari A., Instalații mecanice miniere, Editura Tehnică, București, 1990;
- [2] S.C. TECHNOSAM S.R.L., Expertizarea și reglarea mașinii de extracție tip MK 2,1x4 montată la Puțul cu schip E.M. Lonea;
- [3] electronică a tensiunilor mecanice, Editura Universitas, Petroșani, 2005;
- [4] \*\*\* Documentație tehnică E.M. Livezeni.

\* Itu Vilhelm, Șef.lucr.dr.ing., Universitatea din Petroșani, drituv@yahoo.com

\*\* Dumitrescu Iosif, Conf.univ.dr.ing., Universitatea din Petroșani, iosif\_dumi@yahoo.com

\*\*\* Toth Francisc, Sing., S.C. Technosam S.A. Satu-Mare, technosam@xnet.ro

\*\*\*\* Itu Răzvan – Bogdan, Drd.ing., C.N.H. Petroșani S.A., razvanitu@cnh.ro

## **DETERMINAREA REZISTENȚEI ȘI MODULULUI DE ELASTICITATE UNUI COMPOZIT DIN FIBRE DE STICLĂ**

Ciprian LARCO\*

### ***Abstract:***

*Intuitively, material tensile test is the most important determination of the material characteristics. This article presents the factors that influence both the Young's modulus and the shear modulus.*

### **I. INTRODUCERE**

Materialele compozite sunt astăzi special create, cu cele mai potrivite alcătuirii micro și macro-structurale, pentru a corespunde unor exigențe deosebite în privința rezistenței mecanice, a rigidității, a greutateii specifice reduse, a stabilității dimensionale, termice și chimice, a rezistenței la oboseală, la șoc și la uzare, a proprietăților izolatoare, a esteticii și, nu în cele din urmă, a imperativelor economice.

Materialele asupra cărora voi insista sunt materialele compozite armate cu fire lungi, iar motivațiile acestei alegeri sunt multiple. Una din aceste motivații rezultă din calitatea acestora de a pune în valoare în mod global comportarea remarcabilă la tracțiune a fibrelor din componența lor, fapt care autorizează folosirea acestora pe scară din ce în ce mai largă la fabricarea reperelor din industria aeronautică. Un alt motiv constituie faptul că acest tip de materiale sunt reprezentative pentru comportamentul materialelor ortotrope.



## II. MODELUL MATEMATIC

Abordarea problemei mecanicii acestor materiale compozite luate ca atare ridică probleme dificile legate în special de neomogenitatea lor asociată cu numărul extrem de mare de fibre prezente, acest mod de tratare făcând obiectul micromecanicii materialelor compozite. Complexitatea modelelor care țin seamă de alcătuirea intimă, discretă a materialelor, le face improprie de folosit în cazul structurilor complicate. Din această cauză tratarea micromecanică este foarte puțin folosită în probleme concrete.

Orientarea relativ constantă a fibrelor pe zone mari din material, precum și densitatea foarte lent variabilă a acestora în interiorul materiei pe aceste zone, au legitimat apariția și impunerea unui alt mod de tratare, global, care face obiectul macromecanicii materialelor compozite, în acesta situație se consideră materialul ca fiind omogen dar anizotrop, tipul de anizotropie fiind dictat de arhitectura fibrelor în interiorul materiei.

Correspondența bună dintre rezultatele teoretice obținute pe un astfel de model mecanic și determinările experimentale au impus rapid metoda în abordarea majorității problemelor de mecanică a materialelor compozite cu fibre lungi.

Dacă un corp prezintă două plane de simetrie elastică, există și un al treilea plan de simetrie, perpendicular pe acestea (Q). Astfel de materiale sunt caracterizate prin trei direcții principale de elasticitate și sunt cele mai folosite în tehnica de aviație.

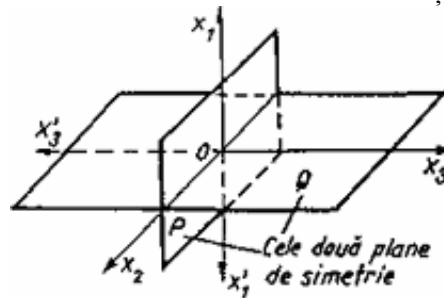


Fig.1 Planele de simetrie

În acest caz, relațiile dintre tensiuni și deformații se scriu în mod identic față de sistemele de referință  $\{O, x_1, x_2, x_3\}$ ,  $\{O, x'_1, x_2, x_3\}$ ,  $\{O, x_1, x'_2, x_3\}$ ,  $\{O, x_1, x_2, x'_3\}$ .

Matricea de rigiditate, care are 9 constante independente, are forma:

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Pentru un astfel de material, în axele de ortotropie nu există termeni de cuplaj între tensiunile normale și lunecările specifice din tensorul deformațiilor.

Matricea complianțelor are forma:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Prin analogie cu corpurile izotrope, definind modulele de elasticitate asociate direcțiilor 1,2 și 3, matricea complianțelor (de flexibilitate), scrisă în raport cu sistemul axelor de ortotropie, este următoarea:

$$[S] = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & -\nu_{31}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & -\nu_{32}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{13}/E_1 & -\nu_{23}/E_2 & 1/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{31} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

și, fiind simetrică,  $\nu_{ij}/E_i = \nu_{ji}/E_j$  pentru  $i \neq j$ ;  $i, j = 1, 2, 3$ .

Spre deosebire de materialele izotrope, la cele anizotrope nu există relații de legătură ale modulelor de forfecare  $G_{ij}$  cu modulele longitudinale  $E_i$  și coeficienții lui Poisson  $\nu_{ij}$ .

### III. DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ

#### 3.1 Considerații preliminare asupra încercării uniaxiale a epruvetelor

În general, cel mai rezistent material este și cel mai dificil de încercat la tracțiune. Materialele compozite nu fac excepție de la această regulă, cea mai mare provocare fiind încercarea la tracțiune a unui compozit unidirecțional. Însăși utilitatea practică a unui astfel de încercare este discutabilă, iar dificultățile unui astfel de test pot induce cu ușurință erori de măsurare.

O primă problemă în încercarea la tracțiune (și nu numai la acest tip de încercare) o reprezintă prinderea epruvetei fără a introduce mari concentrații de tensiune. Capetele de prindere ale mașinii de încercare strâng capetele epruvetei și astfel transferă forța aplicată, prin intermediul unei forțe de forfecare pe suprafața de contact, în forță de tracțiune a epruvetei. Ținând cont că materialul compozit este rezistent, forțele de prindere devin semnificative. Din dorința de a evita alunecările capetelor epruvetei în dispozitivul de prindere, echivalent cu eșuarea experimentului, se poate ajunge la strivirea materialului în zona de contact. Ideea este de a minimiza aceste forțe de prindere și/sau de a le împiedica să influențeze într-un fel tensiunea în epruvetă.

O metodă este de a realiza epruveta cât de subțire posibil, păstrând-o totodată reprezentativă pentru material. Din acest motiv, majoritatea epruvetelor de încercare la tracțiune au o grosime în jurul valorii de 1 mm. Țin să precizez faptul că grosimea epruvetei nu este un factor, deoarece forța aplicată pe zona de prindere variază direct proporțional cu grosimea epruvetei.

O altă metodă este de a realiza capetele de prindere mai lungi, astfel încât forța de strângere să fie distribuită pe o suprafață cât mai mare. Din păcate, capetele de prindere comerciale au o lungime limitată. Un capăt de prindere de capacitate 100 kN are obișnuit o lungime de 63 mm. Mai mult,

lăţimea acestor capete de prindere este şi ea limitată. De exemplu, pentru capătul de prindere precizat anterior, lăţimea este de 45 mm. Din acest motiv este dificil de prins un specimen cu o lăţime mai mare.

Ținând cont de aceste limitări, este de dorit a se elimina sau, cel puțin, de a se minimiza concentrările de tensiune induse de capetele de prindere. O soluție des întâlnită este de a amortiza forțele de prindere folosind materiale-tampon la capetele epruvetei. Aceste plăcuțe pot fi prinse sau lipite de capetele epruvetei.

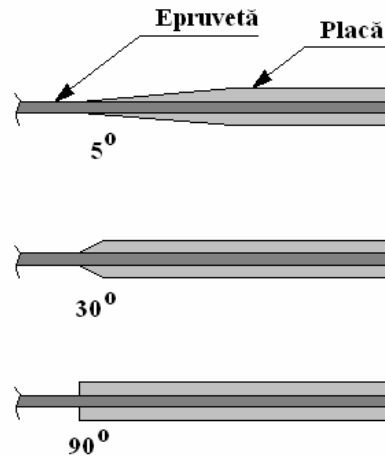


Fig. 2 Discontinuitatea de capăt a epruvetei

Deși reprezintă soluția cea mai răspândită, nu este neapărat și mai bună. Sunt într-adevăr o soluție foarte bună de amortizare a forțelor de prindere și protejează suprafețele epruvetei de abraziune. Ele induc totuși o nouă sursă de concentratori de tensiune, mai precis la capetele acestor plăcuțe.

O soluție de reducere a acestor noi tensiuni suplimentare o reprezintă reducerea discontinuității dintre epruvetă și plăcuțe. ASTM D 3039 recomandă ca acest unghi de pantă de trecere să fie mai mare sau egal de  $5^\circ$ . Neexistând o limită superioară, practic acest unghi poate lua orice valoare. Fac precizarea că acest unghi poate fi chiar mai mare de  $90^\circ$ , deși beneficiile alegerii unei astfel de soluții nu au fost încă demonstrate.

Pentru a realiza un studiu experimental asupra comportamentului unui laminat la încercarea de tracțiune, am realizat un material compozit prin înglobarea a 6 straturi din țesătură de fibre de sticlă E104 în rășină NASTRAPOL 450. Cele 6 straturi au fost dispuse astfel încât să aibă aceeași direcție pentru urzeală și băteală, materialul compozit rezultat (laminatul) să poată fi asimilat cu un material ortotrop. Direcțiile principale de elasticitate sunt direcția urzelii, direcția bătelii și direcția perpendiculară pe acestea.

### 3.2 Caracterizarea experimentală

Epruvetele prelevate din materialul obținut au fost prelucrate astfel încât să poată fi încercate pe mașina de încercat universală ZD-20.

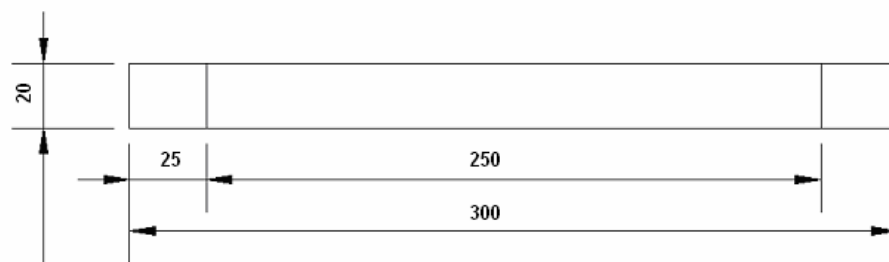


Fig.3 Dimensiunile epruvetei

Pentru a evita perturbarea rezultatelor datorită eventualelor alunecări ale epruvetei în dispozitivele de prindere ale mașinii, elongațiile au fost măsurate combinat, atât tensometric cât și cu extensometrul. Tot din acest motiv, ca măsură împotriva eventualelor sfâșieri ale capetelor epruvetei în dinții de prindere ai mașinii, zonele de contact au fost întărite prin adăugare de material. Acest lucru nu alterează comportamentul epruvetei, ci doar previne ruperea în zona capetelor de prindere ale mașinii ca urmare a distrugerii materialului prin penetrare.

Prin încercări de întindere (tracțiune) se determină constantele elastice  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\nu_{12}$ ,  $\nu_{21}$ , cât și rezistențele limită  $X_t$  și  $Y_t$ . În urma încercării la tracțiunea pe direcția longitudinală (direcția urzelii) se determină  $E_1$  și  $\nu_{12}$ , iar în urma încercării la tracțiunea pe direcția transversală (direcția bătelii) se determină  $E_2$  și  $\nu_{21}$ .

Pentru a măsura simultan deformațiile specifice longitudinală și transversală, se dispun în zona de mijloc a epruvetei două traductoare tensometrice ortogonale. A fost aleasă acea zonă de dispunere pentru a se evita eventualele influențe ale prinderii (tot din acest considerent am ales și lungimea epruvetei de 30 cm). Deoarece încercarea pe care mi-am propus-o este o încercare în regim static, viteza de deplasare a bancurilor mașinii a fost reglată pe minim ( $v = 0,1$  m/s).

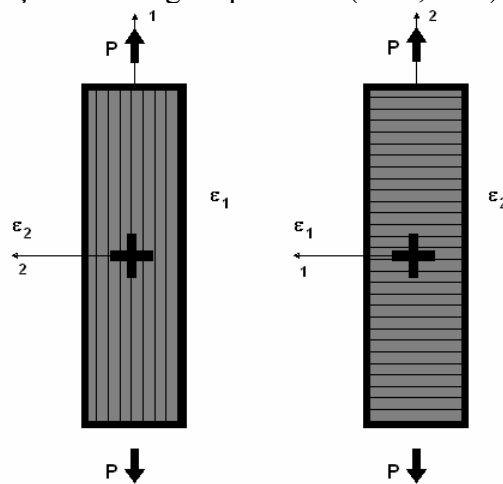


Fig.4 Dispunerea mărcilor tensometrice MU-120



Fig. 5 Epruvetă în mașina de încercat universală ZD-20

Folosind puntea tensometrică, am determinat elongațiile pentru un set de valori incrementale ale forței de tracțiune. Acest set, împreună cu valorile indicate de puntea tensometrică, au fost folosite pentru determinarea modului de elasticitate.

	<b>F</b> (daN)	<b>A</b> (mm <sup>2</sup> )	<b>ε<sub>1</sub></b> (μm/m)	<b>ε<sub>2</sub></b>	<b>σ</b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b>E</b> MPa
1	50	24	500	70	2,083	4167
2	100	24	1050	155	4,167	3968
3	150	24	1450	260	6,250	4310
4	200	24	1500	325	8,333	5556
5	250	24	1500	475	10,417	6944
6	300	24	1200	670	12,500	10417

Din păcate, am putut constata că mărcile tensometrice s-au desprins de pe epruvetă. Întrucât remarcă că valorile deformației specifice longitudinale prezintă o evoluție anomală după pragul de 150 daN, putem considera că desprinderea mărcii de pe epruvetă s-a inițiat la această valoare a forței și că valorile indicate de puntea tensometrică ulterior nu mai sunt de încredere și pot fi omise.

Oricum, dacă putem ridica semne de întrebare asupra liniarității relației între tensiunea și deformația specifică până la rupere, este cert că în pentru valori mai mici de 50% din valoarea de rupere comportamentul este liniar. Cu alte cuvinte, primele trei valori furnizează o valoare destul de bună a modului de elasticitate:

$$E_1 = \frac{4167 + 3968 + 4310}{3} = 4148 \text{ MPa} .$$

Similar s-a procedat pe direcția bătelii, obținându-se o valoare de 2219 MPa.

### 3.3 Determinarea modului de elasticitate la forfecare

I. Fuiorea propune un algoritm de determinare a modului de elasticitate la forfecare pe baza efectuării unor experimente de tracțiune pentru înclinări ale fibrelor corespunzătoare direcției care asigură decuplarea efectelor la o sollicitare uniaxială ([1]).

Valoarea unghiului  $\theta$  de orientare a fibrelor în raport cu direcția forței, corespunzătoare decuplării efectelor la sollicitarea de tracțiune, coincide cu valoarea aceluiași unghi corespunzătoare realizării valorii minime a modului de elasticitate  $E_x$ , valoare notată cu  $\theta_{min}$ . Valoarea corespunde deci unui punct staționar al funcției  $E_x = f(\theta)$ .

Așa cum văzut la analiza decuplării efectelor, există o dependență directă între  $\theta$  și modulul de elasticitate la forfecare  $G_{12}$ :

$$\theta = \arctg \left( \sqrt{\frac{\frac{2}{E_1}(1+\nu_{12}) - \frac{1}{G_{12}}}{\frac{2}{E_2}(1+\nu_{21}) - \frac{1}{G_{12}}}} \right) \quad (3.1)$$

Ideea de algoritmului este următoarea: se pleacă de la o valoare a modului de elasticitate  $G_{12}$  determinat în baza unei experiențe la tracțiune după o direcție arbitrară  $\theta$  a fibrelor. Cu  $G_{12}$  determinat după această primă aproximație se determină o valoare mai bună a

pentru  $\theta_{min}$ . Cu acest unghi se repetă experiența de întindere, în urma căreia se obține o altă valoare a lui  $G_{12}$ . Procesul iterativ se reia până la stabilitatea dorită a soluției.

Deși la prima vedere metoda pare destul de laborioasă, cu multe încercări la diferite unghiuri, de fapt este simplă și practică deoarece numărul de încercări este dat în principal de valoarea de plecare unghiului  $\theta$  iar aceasta poate fi aleasă în jurul valorii de 45 – valoarea teoretică a decuplării efectelor.

Aplicând acest principiu,

$$\theta = \arctg \left( \sqrt{\frac{\frac{2}{4148}(1+0,166) - \frac{1}{3184}}{\frac{2}{2219}(1+0,094) - \frac{1}{3184}}} \right) = 45,019 \text{ deg} \quad (3.2)$$

Cu alte cuvinte, decuplarea efectelor are loc chiar la valoarea de 45° de înclinare a fibrelor. Datorită preciziei la a doua zecimală, este inutil de a încerca să determinăm alte valori ale unghiului  $\theta$  deoarece este practic imposibil de a realiza tăierea plăcii sub un asemenea unghi.

#### IV. CONCLUZII

Încercarea de a determina elongațiile până la rupere cu ajutorul mărcilor tensometrice nu a putut fi realizată pentru întreaga plajă de valori ale forței. După depășirea valorii de 150 daN, elongațiile sunt prea mari și mărcile tensometrice se dezlipesc. S-ar impune niște mărci tensometrice special adaptate unor deformații mari. O alternativă ar reprezenta folosirea unor traductoare de forță și de deplasare, însă apare dificultatea realizării unor adaptoare care să realizeze legătura între capetele epruvetei și bacurile mașinii. Acești „intermediari” ar trebui să fie confecționați dintr-un material foarte rezistent și să permită schimbarea cu ușurință a epruvetei, pentru realizarea cât mai multor încercări.

Remarcăm, bazându-ne pe caracterul liniar al relației între tensiune și deformația specifică pentru valori mici și medii ale forței, că modulul de elasticitate este de 4148 GPa, valoare cu 4% mai mică decât cea obținută presupunând comportament liniar până în momentul ruperii. Această abatere mică ne conduce la ideea că, exceptând modelele foarte fine, comportamentul materialului poate fi considerat liniar chiar până în momentul ruperii.

Cum mărcile tensometrice nu surprind momentul ruperii, care se produce la o forță mare, de aproximativ 800 daN, însăși valoarea elongației la rupere poate avea mici abateri de la valoarea reală.

Un aspect foarte important îl reprezintă verificarea ecuației de compatibilitate.

$$\frac{E_1}{\mu_{12}} = \frac{4148}{0,16645} = 2,292 \times 10^4$$

$$\frac{E_2}{\mu_{21}} = \frac{2219}{0,09415} = 2,357 \times 10^4$$

Datorită diferențelor foarte mici între cele două rapoarte (abaterea este de 5,7%), putem considera că ecuația de compatibilitate este satisfăcută.

## Bibliografie

- [1] Fuiorea I. *Materiale compozite. Proiectarea răspunsului mechanic, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1999*
- [2] Fuiorea I. *Metoda elementelor finite pentru structuri aeroelastice, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1998*
- [3] Ille, V., Soare, M., V. *Rezistența materialelor și Teoria elasticității, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983*
- [4] Melin L. N., Neumeister, J. M. *Experimental Determination Of In-plane Shear Properties Of Anisotropic Composite Panels, Departament Of Solid Mechanics, KTH- Royale Institute of Technology, SE-100 44 Stockholm, Sweden*

---

\* LARCO Ciprian, căpitan inginer aviație, Academia Tehnică Militară – București  
ciprian\_larco@yahoo.com

e-mail:



## VUE SUR LES ECOULEMENTS TRANSSONIQUES

Ciprian LARCO \*

### **Abstract:**

*Le sujet touché propose d'aborder des aspects physiques des ailes finies d'écoulements compressibles, la compressibilité, la séparation et la séparation induite par choc et, finalement, l'interaction choc - couche limite et l'écoulement compressible autour de profils d'aile, aussi que la discretisation du domain pour bien préparer le calcul numérique.*

### I. INTRODUCTION

En 1894, Reynolds a démontré que l'écoulement de fluide change d'un état ordonné et prévisible en chaotique et imprévisible quand le nombre de Reynolds dépasse une valeur critique. L'état, la turbulence, souvent rencontré dans les applications techniques, et sa signification pratique a attiré l'attention de certains des meilleurs esprits dans les domaines de la physique, des mathématiques et de la technologie. Le progrès vers une théorie analytique rigoureuse a été empêché par le fait que la dynamique de turbulence est fortement non-linéaire. La description la plus générale d'un écoulement de fluide est obtenue à partir du plein système des équations de Navier-Stokes. Ces équations non-linéaire sont connues depuis plus d'un demi siècles mais les détails de la transition et du mouvement turbulent ne sont pas entièrement compris. La difficulté principale est que le système des équations est fermé seulement dans un nombre très limité de cas. En plus, le problème des équations bien posé dans le sens classique est limité à un certain intervalle des paramètres ou des intervalles courts de temps. Par conséquent on doit employer des techniques numériques pour obtenir les solutions approximatives aux équations de Navier-Stokes.

Le CFD est un excellent outil pour étudier le comportement des équations non linéaires du mouvement et pour gagner une vision physique sur les détails des mécanismes fondamentaux. Dans une simulation d'un écoulement de fluide, en utilisant un code CFD, tout la zone d'écoulement est connue à chaque point et moment, au moins vers le bas de la résolution choisie. Particulièrement la pression qui est très difficile à obtenir d'une voie précise par des expériences, même pour un seul point, est connue à chaque point dans l'intérieur du domaine de calcul. Les données expérimentales, si disponibles, ne peuvent jamais fournir cette quantité massive d'informations. De plus en plus écoulements complexes de nombre de Reynolds élevés peuvent être simulés en raison de l'augmentation rapide de la puissance des ordinateurs, du développement des schéma numériques et des modèles améliorés de turbulence.

## II. ASPECTS PHYSIQUES DES AILES FINIES D'ÉCOULEMENTS COMPRESSIBLES

L'écoulement compressible autour d'une section d'aile à grande vitesse est composé par des régions distinctes avec leurs propres caractéristiques. Il y a des régions laminaires, transitoires et turbulentes dans le champ de l'écoulement. Au bord principal l'écoulement est laminaire, caractérisé comme étant ordonné, en suite des instabilités descendant en écoulement commencent à se développer et l'écoulement subit le processus de transition et devient turbulent. Dans les écoulements transsoniques il apparaît des ondes chocs qui interagissent avec la couche de limite.

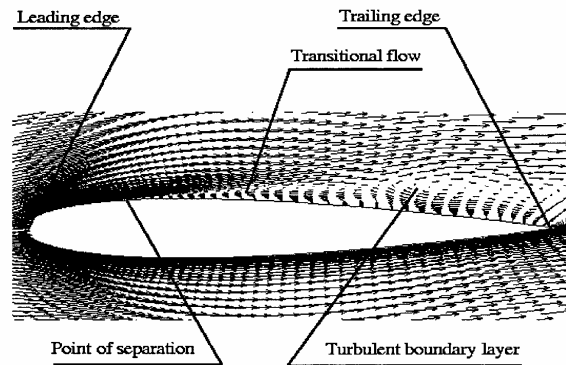


Fig.1: L'écoulement séparé autour du profil NACA 0012

### 2.1. Compressibilité

Pour calculer des écoulements compressibles il est nécessaire non seulement de résoudre les équations de continuité et de moment mais également une équation de conservation pour l'énergie. La pression est liée à la densité et à l'énergie par l'équation d'état. En réalité les écoulements compressibles peuvent montrer le comportement qui est très différent de celui des écoulements incompressibles. Par exemple, dans des écoulements compressibles on peut trouver des ondes chocs, où les variables d'écoulement changent rapidement sur des distances très petites (l'effet de la diffusion est habituellement petit dans des écoulements compressibles parce que le nombre de Reynolds est haut). En fait, la solution d'écoulement est discontinue [2]. Une autre discontinuité apparaissant dans les écoulements sur des sections d'aile est la feuille de vortex au bord de fuite. Même si les variables dépendantes ( $\rho$ ,  $u$ ,  $v$ ,  $w$  et  $T$ ) sont discontinus la masse, le moment et le écoulement d'énergie par la discontinuité sont conservés.

Des écoulements compressibles sont caractérisés par le nombre de Reynolds et par le nombre de Mach.

Le nombre de Mach décrit le rapport à la vitesse d'écoulement de la vitesse du son.

$$M = \left( \frac{u^2 + v^2 + w^2}{a^2} \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

étaient  $a$  est la vitesse du son.

La vitesse du son est définie en tant que  $a^2 = \gamma \left( \frac{\partial p}{\partial \rho} \right) T$ . En utilisant idéal gaz loi, on a:

$$a = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} \quad (2.2)$$

ou  $\gamma$  rapport spécifique chaleur constant pression,  $C_p$ , spécifique chaleur constant volume,  $C_v$ ,  $R$  est la constante du gaz et  $T$  est la température.

Pour le gaz idéal  $\frac{p}{\rho \cdot T}$  est constant. Sous forme différentielle, ça se peut écrire :

$$\frac{\partial p}{p} - \frac{\partial \rho}{\rho} - \frac{\partial T}{T} = 0 \quad (2.3)$$

L'équation (2.3) comment les changements de pression, densité et température sont corrélés dans les écoulements compressibles. Pour mettre en évidence l'importance du nombre de Mach, on considère un écoulement isentropique. En appliquant le principe de la conservation du moment, on a :

$$\frac{\partial p}{p} = -\gamma \cdot M^2 \cdot \frac{dV}{V} \quad (2.4)$$

L'équation de l'énergie donne :

$$\frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \cdot M^2 \cdot \frac{dV}{V} \quad (2.5)$$

En fin, en combinant les équations (2.3), (2.4) et (2.5), on obtient :

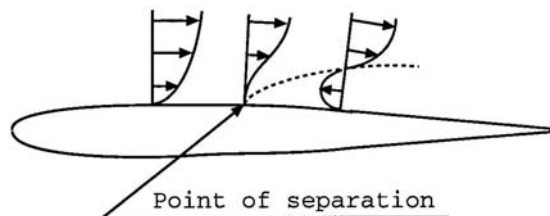
$$\frac{\partial p}{p} = -M^2 \cdot \frac{dV}{V} \quad (2.6)$$

A partir de ces équations on peut voir que pour un changement fractionnaire donné de vitesse, c.-à-d. pour un  $dV/V$  donné, le changement induit correspondant de la densité, la température et la pression dépendra de la place du nombre de Mach. C'est clair que le nombre de Mach est le paramètre qui détermine l'importance des effets de compressibilité en écoulement.

D'une manière générale, la compressibilité a un effet relativement faible sur les tourbillons en écoulements autour de parois. Ceci apparaît pour être vrai pour Mach nombre jusqu'au environ 5, si écoulement non éprouver grand pression changement au-dessus un court distance tel pouvoir avoir à travers une onde de choc.

## 2.2. Séparation

Le concept classique de la séparation d'écoulement est dû à la viscosité. Près des frontières solides, les forces visqueuses doivent équilibrer le gradient de pression. Les gradients défavorables de pression peuvent mener à la stagnation d'écoulement et à la déviation des lignes profilées de leur position parallèle à la paroi. Dans de telles situations, l'écoulement s'appelle séparé et on parle la séparation de la couche limite.



**Fig.2 :** Point de séparation: Séparation de couche de frontière. L'écoulement sépare en raison d'un gradient de pression défavorable. Le point de séparation aussi bien que la ligne de vitesse nulle (à ligne pleine) sont dépeints.

En revanche on peut trouver des écoulements séparés également derrière les objets émoussés. Le mécanisme pour une telle séparation est fondamentalement non visqueux (bien que la viscosité joue un rôle dans le comportement final d'écoulement).

La physique de la séparation d'un écoulement après un profil d'aile peut être expliquée comme suit. Devant le point de stagnation, une élévation considérable de pression se produit le long de la direction de l'écoulement, mais l'écoulement ne sépare pas en raison de l'absence du frottement de paroi. Près du bord d'attaque, l'écoulement ne sépare pas non plus, puisque le fluide entre dans la direction de la pression décroissante. À un certain point la plus basse pression est atteinte et de ce point l'écoulement trouvera un gradient adverse de pression. Comparé au jet principal, l'écoulement retardé dans la couche de limite souffre une décélération relativement plus grande; par conséquent le moment de l'écoulement près de la surface est petit et la capacité du fluide de se déplacer en avant contre l'élévation de pression est également limitée. En aval, cette petite quantité de moment et d'énergie le long de la surface de corps est utilisée pour surmonter l'élévation de pression et le frottement et, en conclusion, le fluide est apporté pour se reposer. La théorie classique de séparation

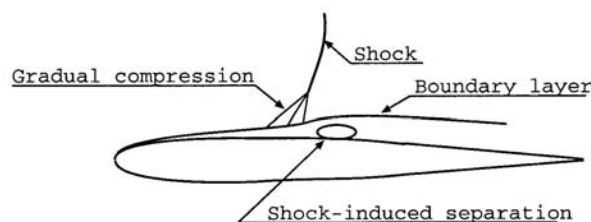
d'écoulement définit un tel point auquel  $\left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = 0$  comme point de séparation, où  $u$  est la

vitesse tangentielle à la surface et  $y$  est la direction normale sur la surface. La tension de frottement  $\tau_w = \mu \cdot \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = 0$  au point de séparation est nulle, cela est la force visqueuse

disparaît. En aval de ce point de séparation se produira un écoulement inversé, en raison d'un gradient défavorable de pression. En raison de cette inversion d'écoulement la couche de limite épaisit le considérablement. La séparation d'un écoulement autour d'une aile changera nettement les performances de l'aile. Le coefficient de traînée augmentera, qui augmente la consommation de carburant, et le coefficient d'ascenseur diminuera et dans le plus mauvais cas la cale peut se produire.

### 2.3. Séparation induite par choc

Quand la vitesse d'écoulement au-dessus du profil d'aile est haute et devient supersonique une onde choc est formée et va agir avec la couche limite. En raison de cette interaction, l'écoulement peut être séparé de la surface si le choc est assez fort. La séparation d'écoulement est provoquée par l'élévation de pression dans la direction de l'écoulement. Cependant, dans ce cas-ci, l'élévation de pression est provoquée par un écoulement d'intersection de l'onde choc le long d'une surface. Même pour un choc faible le gradient de pression dans l'écoulement externe est relativement grand. Près de la surface de corps cependant, le gradient de pression est petit en raison d'un processus se ramollissant provoqué par l'interaction de l'onde choc avec la couche limite. L'élévation de pression que l'onde choc impose à la couche limite épaisit les tubes de jet de la basse vitesse dans la partie intérieure de la couche (cf. fig. 3).



**Fig. 3:** Onde choc ramollie par la couche de frontière.

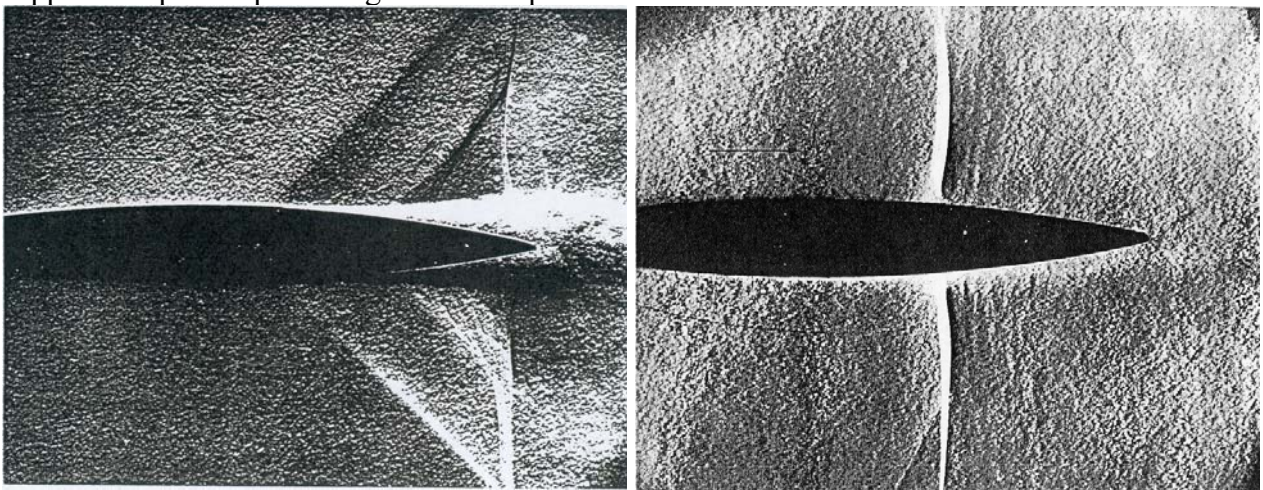
L'épaississement guide la partie externe de la couche loin la paroi qui produit des vagues de compactage dans l'écoulement supersonique. Ces vagues commencent dans la partie supersonique de la couche limite et propagent dehors dans l'écoulement externe où vont former le choc. La couche limite convertit ainsi l'élévation pointue de pression en plus progressive qu'elle peut négocier, à condition que le choc soit faible. Cependant, à mesure que la force de choc (c.-à-d. la grandeur de l'élévation globale de pression) augmente, les gradients dans cette région montent et le degré de décélération dans la partie intérieure augmente progressivement jusqu'à ce que l'écoulement vers l'avant ne soit plus possible sur la surface. Ainsi la séparation apparaît dans une configuration se développant sans interruption d'écoulement qui est dévoilée plus loin et autre à mesure que la force de choc augmente progressivement.

#### 2.4. Interaction choc - couche limite

On peut rappeler que quand un obstacle est placé dans un écoulement à grande vitesse, des zones locales à vitesses supersoniques peuvent se former au voisinage de l'obstacle. Le passage d'une vitesse supersonique vers une vitesse subsonique est alors généralement accompagné d'une onde de choc. Une onde de choc est une région très fine de l'écoulement dans laquelle les variations de pression, de température et de densité deviennent importantes en la traversant. Dans la couche limite, les particules fluides se déplacent à des vitesses subsoniques; le choc généré dans l'écoulement externe ne peut donc attendre cette zone.

Divers expériences physiques d'écoulement compressible stationnaires sur plaques plane (voir l'ouvrage de Schlichting [3]) montrent qu'au voisinages du choc, l'augmentation de pression le long de la couche limite laminaire ou turbulente est plus graduelle que dans l'écoulement externe; la distribution de pression "diffuse" alors près de la paroi, de plus à cause d'une région subsonique transversale plus importante, cette diffusion est, plus prononcée dans une couche limite laminaire qu'une couche limite turbulente. On peut s'attendre alors parfois qu'une couche limite laminaire, qui supporte qu'une très faible augmentation de la pression, décolle en amont du front de choc en présence d'un nombre de Reynolds modéré et un nombre de Mach suffisamment important.

Les figures 4 et 5 montrent divers exemples d'interactions choc - couche limite dans des écoulements transsoniques stationnaires autour de profils d'aile. La figure 4 montre un exemple de décollement d'une couche limite laminaire respectivement en amont et en aval du choc. La figure 5 montre une couche limite turbulente en amont du choc et l'absence de décollement; ce qui prouve qu'en présence d'une agitation turbulente, la couche limite supporte de plus importants gradients de pression.





### III. ECOULEMENT COMPRESSIBLE AUTOUR DE PROFILS D'AILE

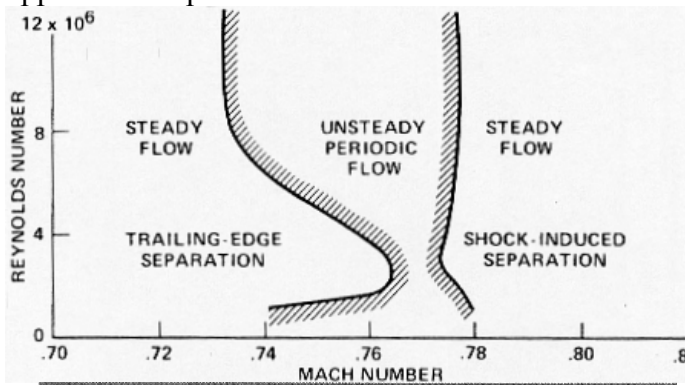
L'étude des écoulements transsoniques autour de profils d'aile a fait l'objet de plusieurs études tant expérimentales que numériques durant ces quelques dernières décennies, en raison du grand intérêt que suscite cette classe d'écoulements dans le domaine aéronautique. Une vue exhaustive de ces investigations est résumée dans l'article de McCroskey [4]. Cette auteur relate plus spécialement les problèmes du décrochage dynamique intervenant dans les mouvements de tangages d'un profil d'aile. Dans ce contexte, le caractère instationnaire émane du mouvement oscillatoire de l'obstacle. En revanche, très peu d'études expérimentales examinent le caractère instationnaire inhérent à l'écoulement qui peut intervenir dans cette catégorie d'écoulements transsoniques et qui peut avoir des influences cruciales sur les valeurs des paramètres globaux et sur l'apparition de vibrations induites. Dans ce qui suit, nous relatons différents travaux concernant ce domaine dans le cas des faibles et grands nombres de Reynolds.

#### Cas des grands nombres de Reynolds

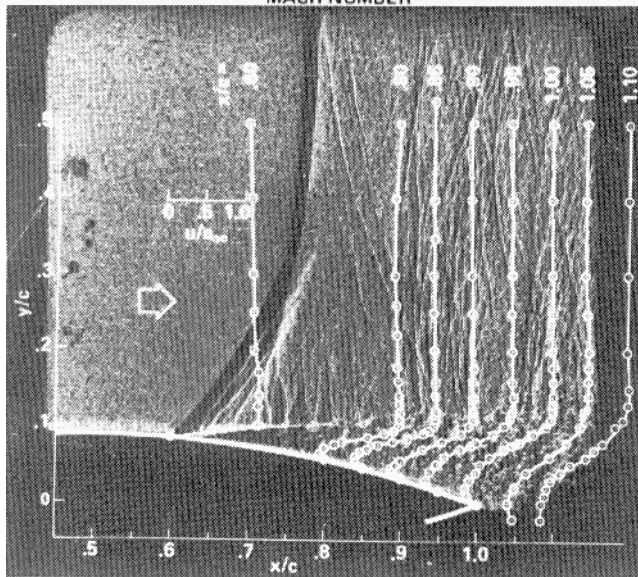
Pour les grands nombres de Reynolds, on peut citer les études expérimentales de McDevitt, Levy et Deiwert [5] concernant des écoulements transsoniques autour d'un profil d'aile de type arc de cercle à  $0^\circ$  d'incidence pour des nombres de Reynolds compris entre  $10^6$  et  $1.7 \times 10^7$  et des nombres de Mach compris entre 0.75 et 0.78. Les différentes visualisations et mesures de pression réalisées, ont permis de distinguer des domaines d'écoulements stationnaires et instationnaires ainsi que des décollements de bord de fuite (*trailing edge séparation*) et des décollements induits par onde de choc (*shock induced séparation*) en fonction du nombre de Mach et du nombre de Reynolds. Cette distinction est résumée dans la figure 6. Afin d'évaluer en détail le comportement de l'écoulement dans le domaine instationnaire, des signaux de pression ont été évalués à 50% et 77.5% à l'extrados et à l'intrados du profil, pour un nombre de Mach variant entre 0.76 et 0.78 et un nombre de Reynolds égale à  $7.3 \times 10^6$ . Ces signaux ont montré un caractère périodique et asymétrique des variations de pression étant exactement en opposition de phase). Les visualisations montrent un alternement intrados - extrados entre le décollement de bord de fuite et le décollement induit par onde de choc. En augmentant la valeur du nombre de Mach, les oscillations diminuent en amplitude pour finalement cesser à  $M=0.78$ ; l'écoulement redevient alors stationnaire.

Les travaux expérimentaux de Seegmiller, Marvin et Levy [6] ainsi que ceux de Seegmiller, Marvin, Harrison et Kojima [7], ont permis, par des techniques de vélocimétrie laser, de quantifier des profils de vitesses moyennes, de l'énergie cinétique turbulente et des contraintes de Reynolds à  $Re=11.106$  dans les zones décollées pour les différents régimes transsoniques cités précédemment (stationnaires et instationnaires). La figure 7 montre un exemple d'écoulement stationnaire à  $M=0.79$  avec décollement à la base de l'onde de choc et s'étendant au delà du bord de fuite du profil. Des ondes de Mach semblent émaner de l'interface entre la couche cisailée turbulente et l'écoulement externe. Sur cette figure sont superposés les profils de vitesses moyennes. La figure 8 montre une visualisation d'un écoulement instationnaire à  $M=0.76$  durant quatre instants d'un cycle oscillatoire. L'écoulement commence par présenter une série de faibles ondes de choc à environ 85% de la corde du profil. Ces ondes se consolident, coalescent et se déplacent en amont du profil en décollant la couche limite et provoquant un sillage turbulent important. Lorsque l'onde de

choc atteint le milieu du profil les vitesses locales décroissent et le choc se dissipe. Ce cycle se répète périodiquement. L'écoulement intrados est essentiellement identique mais est en opposition de phase.

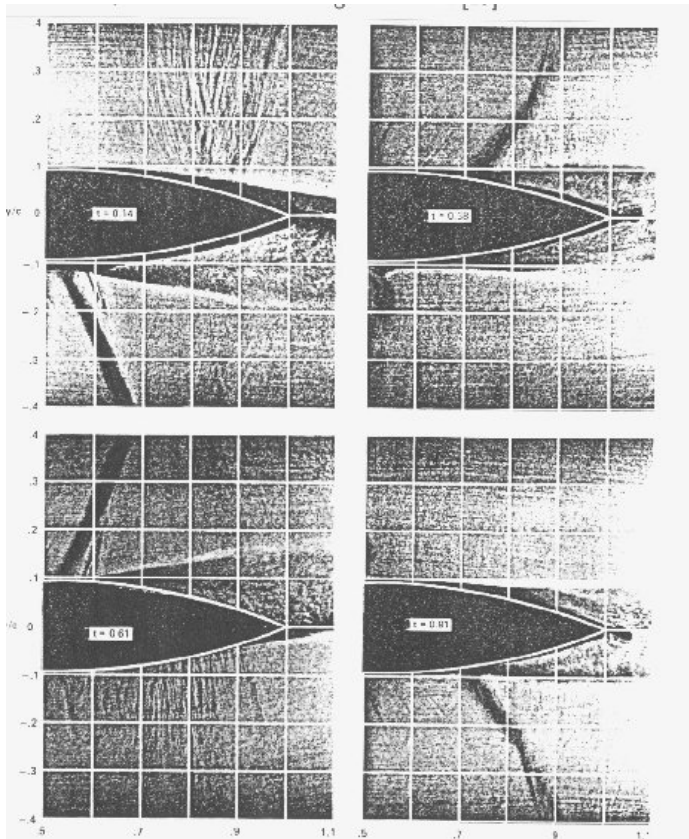


**Fig. 6** Domaines d'écoulement stationnaires et instationnaires



**Fig. 7** Visualisation d'un décollement (induit par le choc) stationnaires et profils de vitesses moyenne à  $M = 0.79$ ,  $Re = 11 \times 10^6$





**Fig. 8** *Ecoulement instationnaire à  $M = 0.7$ ,  $Re = 11 \times 10^6$*

#### IV. CONCLUSIONS

Les écoulements séparés compressibles autour des sections d'aile sont d'intérêt considérable pour la technologie et les raisons scientifiques puisqu'ils comportent la transition, la turbulence proche paroi et la séparation. À la vitesse transsonique, l'interaction entre le choc et la couche limite visqueuse est d'intérêt. Si le choc est assez fort, on a la séparation induite par le choc. Dans beaucoup d'applications, telles que l'écoulement à grande vitesse autour d'ailes et des lames de turbine, la séparation de couche limite est d'importance majeure.

Divers expériences physiques et numériques ont mis en évidence la forte interaction qui existe entre une couche limite, dépendant essentiellement du nombre de Reynolds, et des conditions de chocs, dépendant principalement du nombre de Mach. L'analyse de cette interaction est complexe puisque les hypothèses bien connues de la couche limite deviennent invalides.

#### Bibliographie

- [1] Larco C., Braza M. *Analyse des instabilités dans les écoulements transsoniques, Conférence du EMT2, Institute de Mécanique des Fluides Toulouse, 2001*
- [2] Brillouin M. *Annale de la faculté des sciences de Toulouse, no.3, 1887*
- [3] Schlichting H., Gersten K. *Boundary Layer Theory, 8th ed. Springer-Verlag 2004*
- [4] McCroskey, W.L. *Analysis of the development of dynamic stall based on oscillating airfoil experiments, NASA Technical Reports, 1977*

- [5] McDevitt J.B., Levy L., Deiwert G.S.     *Transonic Flow About A Thick Circular-Arc Airfoil, AIAA J., vol.14, no.5, 1976*
- [6] Seegmiller H.L., Marvin J.G., Levy L.     *Steady and Unsteady Transonic Flow, AIAA J., vol.16, no.5, 1978*
- [7] Seegmiller H.L., Marvin J.G, Harrison D.R., Kojima G.     *Application of laser velocimetry To An Unsteady Transonic Flow, ICIASF'79, 8<sup>th</sup>, 1979*

---

\* LARCO Ciprian, căpitan inginer aviație, Academia Tehnică Militară – București , e-mail: ciprian\_larco@yahoo.com

## APLICATII ALE IMPLANTATIEI IONICE IN DOMENIUL PRELUCRARIII MATERIALELOR PENTRU SCULE ASCHIETOARE

Gheorghe Mareş\*

### Rezumat

*În lucrare se prezintă o metodă de îmbunătățire a proprietăților stratului superficial al materialelor pentru sculelor așchietoare folosind procedeul fizic cunoscut sub numele *Implantație de Ioni(II)*. Lucrarea cuprinde bazele procedeuului de implantare a ionilor de TiN și rezultatul aplicării procedeuului la materialele din care se execută partea activă a sculei așchietoare – tip carburi metalice și oțel rapid.*

### I. Introducere

Primele cercetări ale tehnologiei de implantare a ionilor s-au desfășurat la începutul anilor 1950, iar aplicarea industrială în prima jumătate a anilor 1970.

Implantația de ioni este unul dintre cele mai avansate procedee de prelucrare finală a suprafețelor. Cel mai mare avantaj al acestui procedeu constă în faptul că TiN produsă este mai densă și mai stabilă chimic decât cea produsă prin metode tradiționale. Din punct de vedere al rezistenței la uzură și coroziune, experimentele au arătat că placarea realizată prin implantare de ioni este de 5 – 8 ori mai bună decât cea obținută prin metode tradiționale. De fapt, se poate considera că această acoperire este de neîndepărtat.

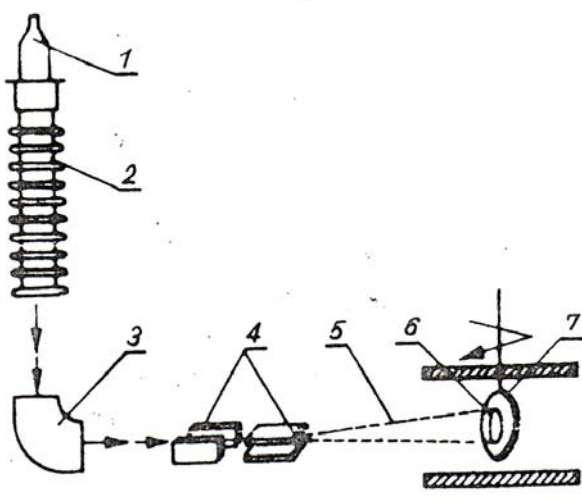
### II. Principiul și caracteristicile implantatiei de ioni

Procedeul implantăției de ioni constă în introducerea (implantarea) în corpuri solide de atomi ionizați din substanța dorită. Procesul are la bază energia mare pe care o posedă ionii, situați într-o incintă în care există un vacuum înaintat ( $6 \cdot 10^{-5}$  Pa) și unde sunt accelerați în câmp electric cu potențial cuprins în domeniul 20 – 300 KeV. Ionii, având energii de la câțiva KeV

până la câțiva zeci de MeV, pătrund în adâncimea corpului solid și datorită nucleelor atomice intercalate în rețeaua cristalină a materialului rămân implantați în aceasta. În cazul unor energii de ionizare foarte mari, de ordinul MeV o cantitate mică de ioni este respinsă de materialul de bază. O cantitate mai mare de ioni implantați se obține în cazul pulverizării atomilor în materialul de ionizat (pulverizare ionică).

Schema de principiu a implantației de ioni este reprezentată în figura 1.

Ca rezultat al implantației de ioni, în stratul superficial (SS), de grosime  $0,01 - 1 \mu m$  se introduce o cantitate determinată de ioni, fapt care conduce la modificarea, în sens pozitiv, a proprietăților fizico-chimice ale stratului în raport cu cele ale materialului de bază.



- 1-izvorul (generatorul) de ioni
- 2-tubul de accelerare;
- 3-separator;
- 4-sistem de deviere a ionilor;
- 5-fascicul de ioni;
- 6-materialul de implantat;
- 7-sistemul de deplasare și rotație a piesei.

Fig. 1. Schema de principiu a implantației de ioni

Adâncimea de pătrundere, precum și distribuția volumică a ionilor implantați în material depinde de următorii factori:

- energia internă a materialului, în sensul că adâncimea crește rapid cu îmbunătățirea energiei;
- numărul atomic al elementului de bază al materialului;
- unghiul de incidență al fasciculului de ioni cu suprafața de implantat;
- structura și proprietățile materialului de ionizat.

Ionii implantați se lovesc de atomii materialului de prelucrat, le provoacă o modificare care conduce la deranjarea mișcării lor în cadrul structurii cristaline (se formează defecte ale rețelei cristaline). Mai în adâncime toți ioni pătrunși se orientează după o direcție care coincide cu direcția “canalelor goale” ale rețelei acestea rezultă din dispunerea determinată a unghiurilor rețelei și a axei cristalografice). Parțial ionii frânați migrează “ atermic” de-a lungul axei cristalografice. Se remarcă chiar fenomenul de difuzie anormală, care constă în migrarea rapidă a ionilor prin defectele rețelei, defecte reclamate de însuși procesul de implantație. Viteza acestei difuzii depinde în principal de temperatură.

Aspectul distribuției concentrației de ioni depinde de adâncimea stratului pătruns, precum și de doza de implantație, care reprezintă cantitatea de ioni implantați pe unitatea de suprafață.

Adâncimea de pătrundere a ionilor în corpul solid este relativ mică, dar crește rapid pe măsura creșterii densității de ioni. Valoarea adâncimii stratului implantat pe oțeluri se stabilește

la valori normale în limita de  $0,2 - 0,3 \mu\text{m}$ . Obținerea unei adâncimi mai mari a implantației și a cantități de ioni implantați se poate realiza acționând asupra pulverizării ionilor suprafeței “țintă” (o singură bombardare ionică triază câteva mii de atomi).

Implantația de ioni este însoțită de creșterea temperaturii suprafeței materialului de prelucrat. Astfel, bombardarea ionică poate determina, în zona locală, o temperatură de aproximativ  $1000^{\circ}\text{C}$  într-un interval mai mic de  $10^{-11}\text{sec.}$ , care determină un gradient de temperatură de circa  $10^{14}\text{K/sec.}$

Căldura materialului implantat depinde cel mai mult de energia și doza ionilor și se determină pe baza densității puterii de alimentare. În cazul unei densități de putere de  $10\text{KW/m}^2$  suprafața metalului se încălzește până la  $100^{\circ}\text{C}$ , pentru densități de  $100\text{KW/m}^2$  temperatura ajunge până la  $350 - 500^{\circ}\text{C}$  în câteva minute, iar în cazul unei densități de aproximativ  $6000\text{KW/m}^2$  materialul poate fi pulverizat sau vaporizat.

Bombardarea cu ioni de înaltă energie poate conduce la fisurarea internă, care apare în materialul inițial, la mărunțirea structurii, precum și la omogenizarea acesteia. Tehnologiile de bază care utilizează implantația de ioni dau posibilitatea alierii materialelor respective. Principalele procedee de implantare cu ioni sunt prezentate tabelul 1:

Tabelul 1.

Procedeul	Substratul	Adâncimea stratului implantat
Implantația de ioni primari, de metale sau gaze nobile	Material supus implantației	20 – 1000nm
Implantația de ioni secundari sau imixiune de ioni de gaze nobile	Material +strat de metal	20 – 200nm
Imixiune interfazică de ioni	Idem	50 – 1000nm
Imixiune dinamică de ioni	Material supus implantației	10nm – $1\mu\text{m}$
Atomi (condensare din vapori)		

Metalele și aliajele dure lor pot fi implantate cu elemente nemetalice (N, C, etc.) sau metalice (Al, B, Ti, etc.) Scopul de bază al implantației de ioni este obținerea unui strat cu duritate mare, cu rezistență ridicată la uzură și coroziune și cu proprietăți superioare de ungere. Obținerea proprietăților dorite ale stratului depinde de alegerea corectă a substanței de implantat, stabilirea dozei optime de ioni precum și a valorilor energiei ionilor și a temperaturii suprafeței de implantat.

Relativ, ușor se comportă la implantație metalele care conțin azot, bor, carbon, staniu, siliciu, crom, etc. și mai greu cele cu titan, aluminiu, etc.

Creșterea durității stratului superficial se obține, așadar, prin implantarea ionilor altor substanțe, de regulă toate elemente ușoare (azot, carbon, bor, etc.), în stratul superficial al piesei. Rezultatul acestui proces constă în introducerea unor tensiuni însemnate în strat, blocarea mișcării dislocațiilor, formarea unor faze dure de închidere, de tip nitruri, boruri, carburi, etc., cu o dispersie mare.

Referitor la adâncimea mică a stratului durificat se remarcă faptul că aceasta crește semnificativ pe măsura exploatării piesei respective.

În procesul de uzare, din cauza încălzirii locale a suprafeței implantate se produce o imigrație a atomilor implantați în adâncimea materialului prin “spațiile libere” depășindu-se astfel mult adâncimea inițială a implantației, fapt ce determină durificarea stratului superficial și în consecință crește rezistența la uzură a acestuia.

Aplicare pe scară industrială și-a găsit numai implantațiile cu azot, și mai rar bor, pe partea activă a sculelor așchietoare și a celor pentru prelucrări prin presare la rece. În aceste cazuri durabilitatea sculelor a crescut de 2-10 ori, tabelul 1. Creșterea durabilității depinde nu numai de procedeul de implantare ci și de gradul de frecare din timpul exploatării, precum și de materialul din care este executată scula așchietoare.

### III. Domenii de aplicare al tehnologiei implantației de ioni

Tabelul 1.

Scule și piese supuse implantației			Ionii implantați	Creșterea durabilității
Destinația	Tipul	Materialul		
Scule pentru presare la rece	Conductori (filamente)	WC-Co	C	5
	Foarfece de tăiat tablă	Oțel de scule	Azot	2-4
	Foarfece speciale	WC-Co	Azot	5
	Matrițe și poansoane	Oțel, WC, WC+Co	Azot	2-5
	Valțuri acoperite pentru cupru și aluminiu	Oțel aliat	Azot	3-6
Scule așchietoare	Tarozi	Oțel rapid	Azot	8-10
	Filiere	Oțel rapid	Azot	3-4
	Burghie pentru metale	Oțel rapid	Azot	2-6
	Burghie pentru grafit	WC	-	6
	Freze medicale	WC+Co	Azot	3
	Freze disc	Oțel rapid	Azot	2
	Cuțite pentru filetat	Oțel rapid	Azot	5
	Cuțite disc profilate	Oțel rapid	Azot	11
Organe de mașini	Elementele active ale matrițelor pentru mase plastice	Oțel rapid	Azot	2-10
	Carburator pentru injecție	Oțel de scule	Azot	10
	Lagăre cu beriliu	Aliaj cu beriliu	Bor	3-5
Destinație specială	Proteze	Aliaj cu Ti	-	100
		Ti6Al4V	Azot	400

Superioritatea tehnologiei constă în următoarele:

- posibilitatea aplicării cu ușurință la alierea materialelor;
- temperatura joasă a procesului;
- creșterea mică a stării energiei;
- păstrarea formei piesei, absența impurificării mediului înconjurător.

Principalele dezavantaje ale acestui procedeu sunt:

- adâncimea mică a stratului implantat;
- imposibilitatea implantării în alezaje adânci;
- costul ridicat al procedurii.

#### **IV. Concluzii**

Implantația de ioni este un procedeu deosebit de eficient în îmbunătățirea performanțelor așchietoare ale sculelor. Prin aplicarea procedurii cresc: duritatea, rezistența la uzură, la coroziune, termostabilitatea oțelului rapid și a carburilor metalice. În consecință crește durabilitatea sculei așchietoare.

#### **Bibliografie**

1. Buranovski, V. M. – Ingineria poverhnosti metallov. Sostoianie I perspectivî, Vol. 20, Moskva, 1990.
2. Mareș, Gh. Ingineria suprafețelor metalice; Prelucrări termomecanice, termochimice, chimice, și fizice ale stratului superficial. Editura Universității “Transilvania” din Brașov, 2004.

**Gheorghe Mareș\***, conf. univ. dr. ing., Universitatea Transilvania din Brașov, B-dl Eroilor, nr.9, Brașov.



## APECIERI PRIVIND PRELUCRAREA SUPRAFETELOR METALICE UTILIZÂND LASERI

Gheorghe Mareş\*

### Rezumat

*Lucrarea conține elemente referitoare la posibilitățile tehnologice de prelucrare termică a stratului superficial al suprafețelor metalice folosind laserii. Se prezintă principalele caracteristici ale următoarelor operații: călire superficială, aliere, fuziune (placare normală și placare sticloasă) și durificare prin explozie.*

### Introducere

Aplicarea corespunzătoare a tratamentului termic superficial impune alegerea unui regim optim de încălzire-răcire și anume un regim rapid sau ultrarapid. În acest sens se recomandă realizarea unor viteze de încălzire de ordinul  $10^2 - 10^3 \text{ C/sec}$ , pentru regimul rapid și mai mari de  $10^3 \text{ C/sec}$  pentru regimul ultrarapid. În aceste condiții se obțin puteri de concentrare a căldurii de ordinul  $10^3 \text{ W/m}^2$ , pentru regimul rapid și de ordinul  $10^6 - 10^{10} \text{ W/m}^2$  pentru regimul ultrarapid. Regimurile menționate pot fi obținute folosind radiația LASER.

În cazul dispozitivelor cu LASER izvorul de energie termică este raza (fascicolul) LASER, în spectrul vizibil sau invizibil, coerentă, practic monocromatică, lățimea spectrului fiind de aproximativ  $10^{-12} \text{ m}$  și având divergență mică (ex. în cazul laserului cu gaz, diametrul fascicolului, după un parcurs de 1 km, ajunge la aproximativ 7 cm.). Radiația LASER se focalizează într-un fascicol continuu sau pulsatoriu în formă de impulsuri scurte, cu un diametru pornind de la  $3 \div 10 \text{ }\mu\text{m}$  și până la câțiva mm, fascicol care în zona radiațiilor continue are o mare densitate de putere (maxim  $10^{16} \text{ Kw/m}^2$ ), suficientă pentru încălzirea instantanee locală a suprafeței (viteza maximă a gradientului de căldură este de aproximativ  $10^6 \text{ K/s}$ ) nu numai le temperatura de topire ci și la cea de fierbere.

Majoritatea metalelor și aliajelor, în stare neoxidată, se caracterizează printr-o înaltă reflectare (respingere) a radiației. Absorbția la suprafață se îmbunătățește prin creșterea rugozității sau depuneri (paste, galvanizări, etc.) cu coeficient înalt de absorbție (ex. strat de fosfat de fier, grafit, etc.).

Căldura provenită de la aer oxidează suprafața motiv pentru care este necesară protejarea ei și care adesea se realizează cu azot sau argon la presiunea de  $(0,5 \div 1)10^5$  Pa. Încălzirea suprafeței se poate face fie prin procedul măturării cu fascicolul LASER, fie punctiform prin deplasarea sau rotirea mesei pe care se află piesa. Densitatea de putere se realizează prin focalizarea fascicolului sau prin modificarea liniarității radiației. Adâncimea încălzită sau a stratului retopit depinde și de timpul de expunere la raza LASER. Această adâncime variază de la câțiva  $\mu\text{m}$  până la câțiva mm, valoarea optimă fiind de ordinul zecilor de  $\mu\text{m}$ . Răcirea suprafeței se realizează optim cu o viteză de  $(10^6 \div 10^9)$   $^\circ\text{K}/\text{sec}$ .

### I. Încălzirea superficială rapidă folosind LASERII

Schema de principiu a procedului de încălzire cu LASERI este prezentată în figura 1.

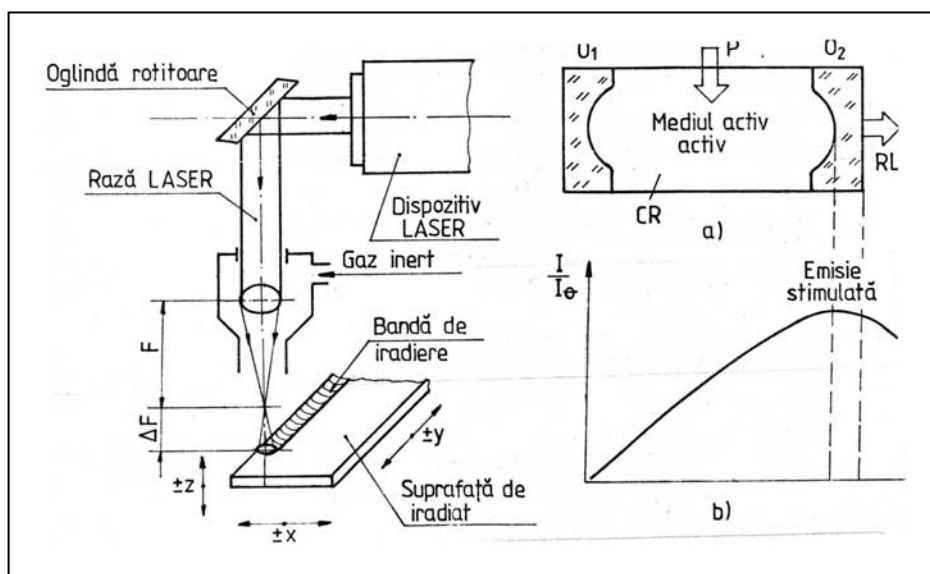


Fig.1 Schema de principiu a încălzirii superficiale cu radiație LASER.

Fig.2 Schema de principiu a unui dispozitiv LASER;  
P-energia de pompaj;  
O<sub>1</sub>,O<sub>2</sub>-oglinzi confocale;  
CR- cavitate rezonantă;  
RL- radiație stimulată.

Pentru tratamentele termice se folosesc mai frecvent instalațiile LASER cu mediu activ solid sau gazos. Laserii cu mediul solid au pompaj optim, datorită unei lămpi puternice, iar ca mediu activ se folosesc bare de sticlă aliată cu neodim, cristale de granat de aluminiu și ytriu (YAG+Nd), sau bare de rubin.

Impulsul produs poate avea durate de 0,1 – 8 msec și o structură temporală, constând din “vârfuri” separate, scurte ( $\sim 1 \mu\text{sec.}$ ), cu intervale de 3 – 10  $\mu\text{sec.}$  Variind parametri rezonatorului, se poate ordona distribuția vârfurilor în timp și amplitudinea, sau se poate obține un impuls neted (fără vârfuri). Puterea impulsului în regimul generării relaxate variază în limitele  $10^3 - 10^6 \text{ W}$ .

În tratamentele termice cel mai utilizat este LASERUL cu mediul activ gazos ( $\text{CO}_2 + \text{He} + \text{N}_2$ ), cu excitație electrică. Pompajul se realizează prin transmitere a energiei moleculelor de  $\text{CO}_2$ . Heliul se adaugă pentru mărirea randamentului laserului.

În ultimul timp se folosesc laseri cu  $\text{CO}_2$ , excitați cu descărcare prin scânteie transversală și cu presiune până la  $10^5 \text{ Pa}$  a amestecului gazos, așa numiți LASERI TEA (Transversally Exited Atmospheric Pressure).

Procesul termofizic din zona încălzită cu radiație LASER constă în cedarea energiei cuantice a fotonilor, care alcătuiesc radiația LASER, gazului electronic din suprafața metalului iradiat, iar acesta - la rândul lui - cedează energia rețelei cristaline. Temperatura gazului electronic se uniformizează într-un timp extrem de scurt, de ordinul a  $10^{-13} \dots 10^{-14} \text{ sec.}$  iar aceea a rețelei cristaline într-un timp de aproximativ  $10^{-11} \text{ sec.}$  astfel că radiația LASER devine sursă termică efectivă într-un timp de ordinul a  $10^{-9} \text{ sec.}$  Teoretic, se demonstrează că pentru impulsuri cu durate mai lungi de  $10^{-8} \text{ sec.}$  și cu densități de putere superficiale mai mici de  $10^9 \text{ W/mm}^2$ , diferența de temperatură dintre gazul electronic și rețeaua ionică atinge valori de ordinul a  $10^3 \text{ }^\circ\text{K}$ , ceea ce face posibilă aplicarea legilor conducției termice, în rezolvarea problemei încălzirii metalelor cu surse de energie concentrate.

## II. Procedee și metode de utilizare a laserilor încălziri rapide

Prelucrarea termică a metalelor cu LASER se poate face în următoarele variante de lucru:

**1. continuu**, unde în mod obișnuit se folosește LASER cu gaze (moleculare) la care mediul activ este  $\text{CO}_2$  cu adaos de He și  $\text{N}_2$ ; lungimea de undă activă este de  $10,6 \mu\text{m}$ , puterea de la câteva sute de wați la  $20 \text{ Kw}$ , deseori fiind de  $(2,5 \div 5) \text{ kw}$  iar în aplicații industriale frecvent de  $25 \text{ Kw}$ ; laserii permit obținerea unui gradient mai mic de temperatură pe suprafață în comparație cu metoda “prin impulsuri”, necesitând o mai mică densitate de energie și un timp mic de expunere;

**2. prin impulsuri**, unde se folosesc laseri solizi pe bază de cristale de  $\text{YAG} + \text{Nd}$ ; lungimea de undă activă este de  $1,06 \mu\text{m}$ , puterea medie a impulsului  $\sim 1 \text{ Kw}$ , durata impulsului ( $10^{-3} \div 10^{-6}$ ) sec. și frecvența impulsului de ordinul zecimilor de secundă; gradientul de temperatură este mic iar densitatea de energie, la aplicații industriale, de  $\sim 10^9 \text{ Kw/m}^2$ .

Prelucrarea termică cu laseri conduce în principiu la creșterea durabilității sculelor și a organelor de mașini prin următoarele grupe de tehnologii (tab.1):

### 1 - tehnologii fără topirea SS al materialului de prelucrat

a) -**călire superficială** a oțelurilor de scule pentru presare la rece, a oțelurilor rapide, de construcție și slab aliate, a oțelurilor de rulmenți și a fontelor.

Parametrii de lucru sunt:

- densitatea de putere:  $10^2 \div 5 \cdot 10^4 \text{ Kw/m}^2$ ;
- timpul de expunere:  $10^2 \div 1$  secunde;
- gradientul vitezei de încălzire:  $\sim 10^4 \text{ Kw/s}$ .

Obținerea unui strat călit mai subțire decât 0,1÷2,5 mm și mai dur decât la călirea prin inducție se poate face prin mărirea timpului de expunere de ordinul câtorva secunde.

Aplicarea **LASERILOR** la diverse operații de prelucrare termică

Tab.1

Tipul operației	Densitatea de putere [kw/cm <sup>2</sup> ]	Timpul	Tipul laserului
Călire superficială	$3 \cdot 10^2 \div 10^4$	secunde	continuu
Aliere	$5 \cdot 10^4 \div 10^6$	milisecunde	-continuu -prin impulsuri
Fuziune superficială (placare)	$5 \cdot 10^4 \div 10^6$	milisecunde	-continuu -prin impulsuri
Fuziune superficială (placare sticloasă)	$10^5 \div 10^7$	microsecunde	-continuu -prin impulsuri
Durificare prin explozie	$10^8 \div 10^{10}$	nanosecunde	prin impulsuri

Adâncimea stratului călit s-a stabilit în majoritatea cazurilor la valori de:

- 0,25÷0,75 mm pentru oțeluri;
- ~ 0,5 pentru fonte cenușii;
- ~ 0,1 pentru fonte cu structură globulară.

## 2 - tehnologii cu topirea SS al materialului de prelucrat:

a) - **alierea** – constă în retopirea materialului de aliere, depuneră pe materialul de bază, subțierea sa, solidificare rapidă a aliajului rezultat; structura, stabilitatea și proprietățile chimice ale stratului superficial se deosebesc esențial de ale materialului de bază (fig.3).

Parametrii regimului de aliere sunt:

- densitatea de putere:  $5 \cdot 10^4 \div 10^6$  Kw/cm<sup>2</sup>;
- durata de expunere:  $10^{-1} \div 10^{-3}$  secunde.

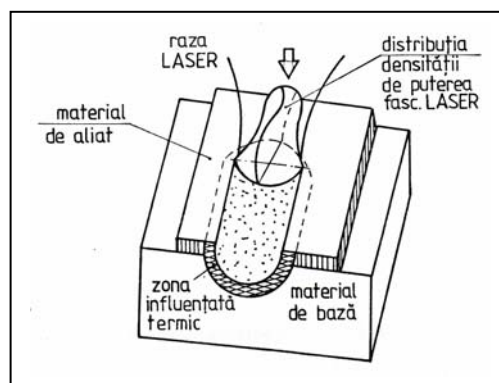


Fig.3 Schema alierii cu LASER

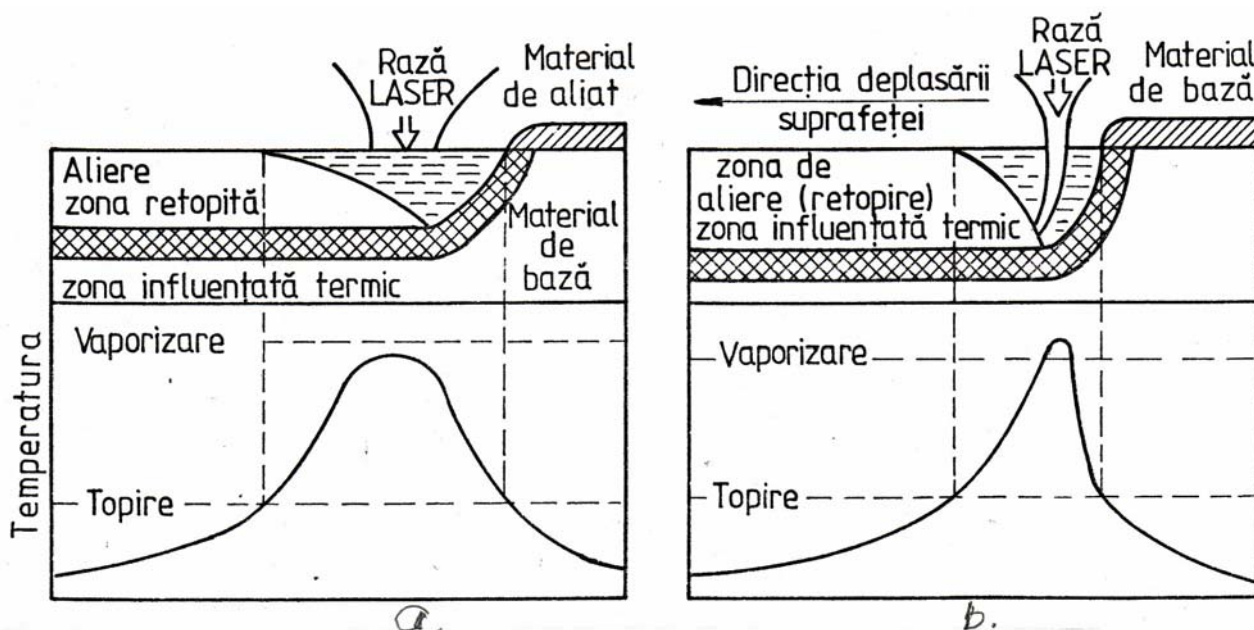


Fig.4 Procesul alierii cu LASER;  
a) fără formarea plasmă; b) cu formarea plasmă.

Cu cât crește densitatea de putere cu atât este mai mare adâncimea retopită, la care poate să se formeze plasmă și să se producă vaporizarea materialului (fig.4).

Alierea se realizează la unul sau la câteva cicluri ale fascicolului LASER.

Totodată alierea conferă suprafeței tratate creșterea rezistenței la temperatură, coroziune, uzură, eroziune, datorită existenței:

- elementelor de aliere: Mo, Cr, B, C, Mn, Ni, Zn, Cd, Si;
- compozițiilor: B-C; Co-W, Cr-Ti, C-Cr-Mn, Al-Cr-C-W;
- aliajelor:  $Cr_3C_2$ ,  $Cr_3C_2/NiCr_2$ , WC/Co.

b) **placarea prin sudură** constă în topirea materialului de sudat cu raza laser sau alimentarea continuă cu pulberi în zona de acțiune a laserului (fig.5) și retopirea stratului superficial al materialului de bază. Prin placare prin sudură cu laseri cresc: rezistența la temperaturi înalte, rezistența la foc, rezistența la uzură și la coroziune, a stratului superficial (SS).

Oțelul poate fi placat cu aliaje de Co și Ti, Cr-Ni, Cr-B-Ni, TiC- $Al_2O_3$ -Al, TiC- $Al_2O_3$ -Al- $B_4C$ , Al, carburi, nitruri, etc. Lățimea stratului fuzibil (topit superficial) este de ordinul a câțiva milimetrii.

Productivitatea procedurii este mai mare de 100 mm/s iar calitatea stratului obținut (porozitate, adeziune la materialul de bază, duritate) este superioară în comparație cu depunerea termică.

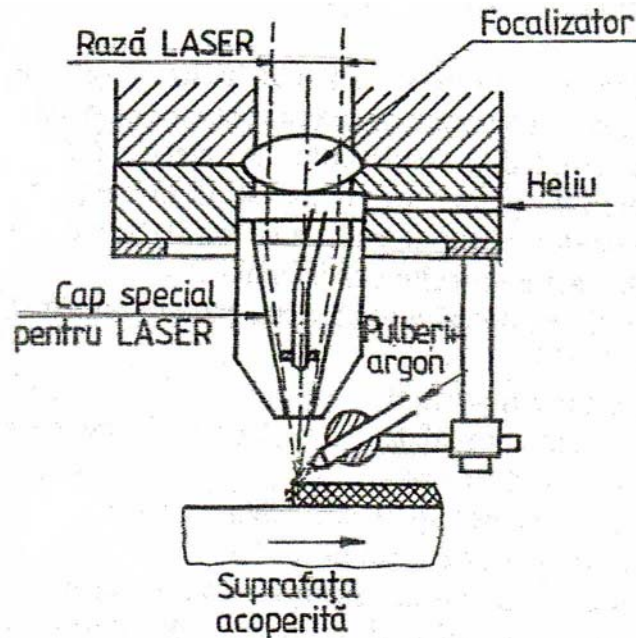


Fig.5 Schema capului LASER asamblat cu dispozitivul pentru introducerea pulberilor

c) **fuziunea superficială** se desfășoară la densități de putere mai mari și la timpi de expunere mai mici, constând în retopirea SS de bază în scopul îmbunătățirii substanțiale după solidificare (viteza de răcire este de  $10^5 \text{ K}^0/\text{s}$ ) a proprietăților chimice și a structurii în comparație cu depunerea fără retopire. Se obține o structură fină și chiar amorfă (sticloasă) cu înaltă rezistență la coroziune, uzură și oboseală.

d) - **tehnologii cu vaporizarea SS al materialului tratat**

e) -**durificarea prin explozie** are loc la timpi de încălzire foarte mici ( $10 \div 100 \mu\text{s}$ ), mari densități de putere ale fascicolului laser ( $10^8 \div 10^{10} \text{ kw}/\text{cm}^2$ ) ceea ce permite obținerea unui SS foarte subțire (grosime de câțiva pași ai rețelei cristaline) prin vaporizarea sa la temperatura de sublimare, formându-se plasma, și având ca rezultat apariția unde de șoc (explozie) ce durifică materialul rămas care practic este rece. Aceasta dă posibilitatea asigurării unei mari durificări a SS, în special la materialele dure pe bază de oțel. Se aplică cu succes și la durificarea înaltă a aliajelor de aluminiu.

### III. Considerente referitoare la prelucrarea termică cu LASERI

Prelucrarea termică cu LASERI a stratului superficial este net superioară tuturor celorlalte prelucrări termice.

Intalațiile de prelucrare termică a stratului superficial cu laseri trebuie să satisfacă și anumite condiții specifice, cum ar fi:

- înaltă siguranță a tuturor sistemelor;
- durabilitate mare în funcționare;
- posibilitatea de remediere și înlocuire a blocurilor și pieselor;
- posibilitatea de observare prin televiziune a piesei prelucrate;

- posibilitatea unui nivel înalt de automatizare;
- ușurința în montarea, demontarea și revizia instalației;
- randament ridicat al generării radiației (consum redus);
- consum mic de gaze de protecție, materiale și piese de schimb, etc.

Au însă și dezavantaje legate de: realizarea fascicolului LASER, necesitatea creșterii proprietăților absorbante ale suprafeței de prelucrat, greutatea în construcția instalației (capul de lucru, sistemul optic, masa în coordonate, sistemul de răcire, medii active, sistemul de alimentare) și deci costul ridicat al instalației.

#### **IV. Concluzii**

Laserul constituie o sursă exterioară concentrată de încălzire superficială, utilizată cu mult succes la tratarea termică superficială a suprafețelor metalice. Acest lucru se datorează caracteristicilor proprii a unde LASER și anume: fiind radiație electromagnetică are dublu caracter (ondulatoriu și corpuscular), este practic monocromatică, este coerentă în spațiu și timp, are capacitatea de a concentra o cantitate mare de energie într-un timp extrem de redus și pe suprafețe foarte mici.

#### **Bibliografie**

1. Popescu, N., și alții. Tratamente termice neconvenționale. Editura tehnică. București, 1990.
2. Mareș, Gh. Ingineria suprafețelor metalice; Prelucrări termomecanice, termochimice, chimice, și fizice ale stratului superficial. Editura Universității "Transilvania" din Brașov, 2004.

**Gheorghe Mareș\***, conf. univ. dr. ing., Universitatea Transilvania din Brașov, B-dl Eroilor, nr.9, Brașov.



## MODERN TECHNIQUES ON NOISES ANALYSIS. SOLVING SOME PROBLEMS OF EXPERIMENTAL DATA PROCESSING USING ADVANCED SOFTWARE.

Marin MARINESCU\*  
Longin IACOBESCU\*\*  
Ioan FILIP\*\*\*

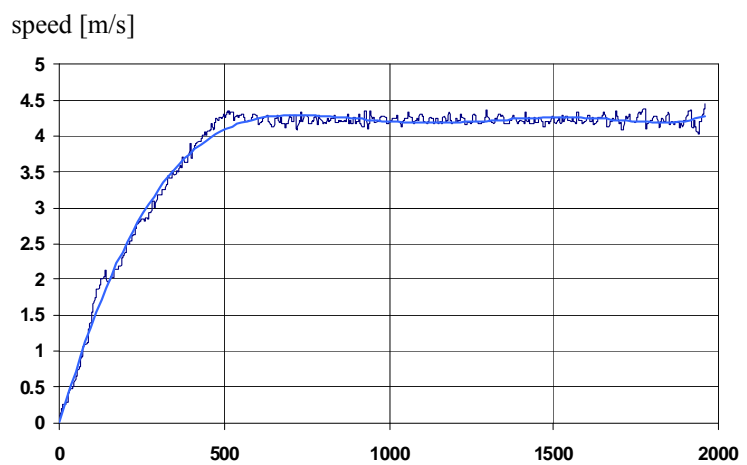
**Abstract.** *The paper presents one of the most commonly met problems in dealing with some experimental data: the noise and its bad effect on data acquirement procedure. A lot of methods in noise analysis has been developed and also will be further developed. The present analysis is nothing more than one of the most modern one, but it also has its own lacks. However, it represents one of the best ones and it will be applied with some examples to notice how it helps a researcher.*

### I. Elements concerning general data processing

To rapidly examine the values and the general configuration of a dynamic experimental serial, one can successfully use the well-known product EXCEL. As an example, fig. 1 depicts the absolute speed of a fire engine. On the chart, the light-blue curve gives the polynomial regression of 6<sup>th</sup> order of the signal.

On the other hand, the short signals might be easily approximated with this kind of polynomial regression while the long ones, with great variations of the measured amount can lead to important errors. In this respect, in fig. 2 one can notice a much longer series.

The number of values of this series is of 8192. We consider that this kind of serial needs a previous filtration and can't be accurately modeled with the previous method.



**Fig. 1. EXCEL generated polynomial regression**

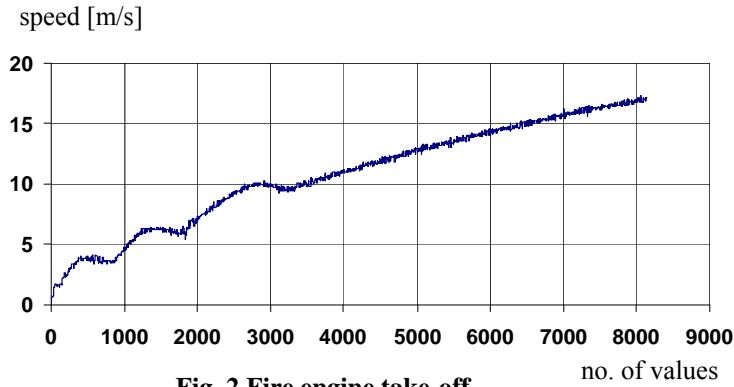


Fig. 2 Fire engine take-off

Starting with this consideration, more complex and better data processing can be obtained using the MATLAB programming environment. This product offers a lot facilities (usual known as toolboxes) that can provide a lot of analysis. Moreover, the graphic interface is very suggestive and user friendly. So, we will use this environment from now on.

A lot of aspects concerning the general data processing will finally lead to one or more dynamic serials. Among these aspects we can mention:

- The existence and the level of the noise that occur into the dynamic serials of an experimental data process;
- The need to exclude the rough measuring errors;
- Filtering the signal, if this thing hasn't been already realized during data acquisition;
- Self-correlation and inter-correlation of the signals;
- Linear and non-linear components of the signals and so on.

Analyzing these problems implies complex studies. Hence, this paper presents only the main elements and conclusions as results of developing the problem itself.

## II. Analyzing the noises within a dynamic serial

Based on the coherence function analysis, the useful signal  $S$  can be determined as well as the noise  $Z$ . The problem is quite relevant since every signal has different sources of noise that can't be completely drained out. Moreover, the strong hardware, noise-eliminating methods are very expensive. Thus, is much more comfortable to eliminate the noise using software methods.

The coherence function is defined for the  $x(t)$  and  $y(t)$  signals by:

$$\gamma_{xy}^2(\nu) = \frac{|G_{xy}(j\nu)|^2}{G_{xx}(\nu)G_{yy}(\nu)} \quad (1)$$

where  $G(\cdot)$  represents the unilateral power spectral densities, having asymmetrical limits:  $\nu \in [0, \infty)$ ; when bilateral spectral power densities are involved, the limits are symmetrical:  $\nu \in (-\infty, \infty)$ .

The coherence function between the two signals is a real amount, given by:

$$\gamma_{xy}(\nu) = \frac{|G_{xy}(\nu)|}{G_{xx}(\nu)G_{yy}(\nu)} = \frac{|S_{xy}(\nu)|}{S_{xx}(\nu)S_{yy}(\nu)} \quad (2)$$

where  $S(\cdot)$  represents the bilateral spectral density.

Since  $|G_{xy}(\nu)|^2 \leq G_{xx}(\nu)G_{yy}(\nu)$  and  $|S_{xy}(\nu)|^2 \leq S_{xx}(\nu)S_{yy}(\nu)$  then

$$0 \leq \gamma_{xy}^2(\nu) \leq 1 \quad (3)$$

Before computing  $\gamma_{xy}^2(\nu)$  we must eliminate the non-null averages from both signals, to avoid discontinuity in the self-origin of the Laplace transform [1, 5]. Moreover, we should check whether  $G_{xx}(\nu)$  and  $G_{yy}(\nu)$  have no zeros to avoid a division-by-zero error in (1).

The fundamental statistic equations for a linear SISO are taken into account:

$$S_{yy}(\nu) = |W(\nu)|^2 S_{xx}(\nu) \quad (4)$$

$$S_{xy}(\nu) = W(\nu) S_{xx}(\nu) \quad (5)$$

where  $W(\nu)$  is the system's transferring function. As a result, in the ideal case, (2) becomes:

$$\gamma_{xy}^2(\nu) = \frac{|W(\nu)G_{xx}(\nu)|^2}{G_{xx}(\nu)|W(\nu)|^2 G_{xx}(\nu)} = 1 \quad (6)$$

and, for a linear system, the coherence function equals 1 at all the  $\nu$  frequencies.

On the other hand, if the signals were not correlated, meaning  $G_{xy}(\nu) = 0$  for all the frequencies, then the coherence function is zero for all the frequencies. Hence, if the coherence function is non-null and lower than 1, then two possibilities will occur:

- the system is non-linear;
- there is a noise in the signal.

The first possibility can be revealed using, for instance, the bi-spectral frequency analysis. To separate the useful signal from noise in a  $y(t)$  serial, one can use:

$$\begin{cases} \frac{S}{Z} = \frac{\gamma^2}{1 - \gamma^2} \\ S + Z = y \end{cases} \quad (7)$$

that leads to the useful signal and noise separation:

$$S = \gamma^2 y ; Z = (1 - \gamma^2) y \quad (8)$$

A good example in using eq. (8) is the take-off situation of a fire engine. We considered  $x(t)$  as the fire engine's speed and  $y(t)$  the position of the throttle [4]. Applying the above-mentioned algorithm we could get the graphics in fig. 3. So, anybody can notice that the noise is really important in the signals.

Fig. 4 depicts the noise analysis for 18 non-filtered dynamic serials for different take-offs of the same fire engine. The conclusion is the same: the noises are too high and should be reduced.

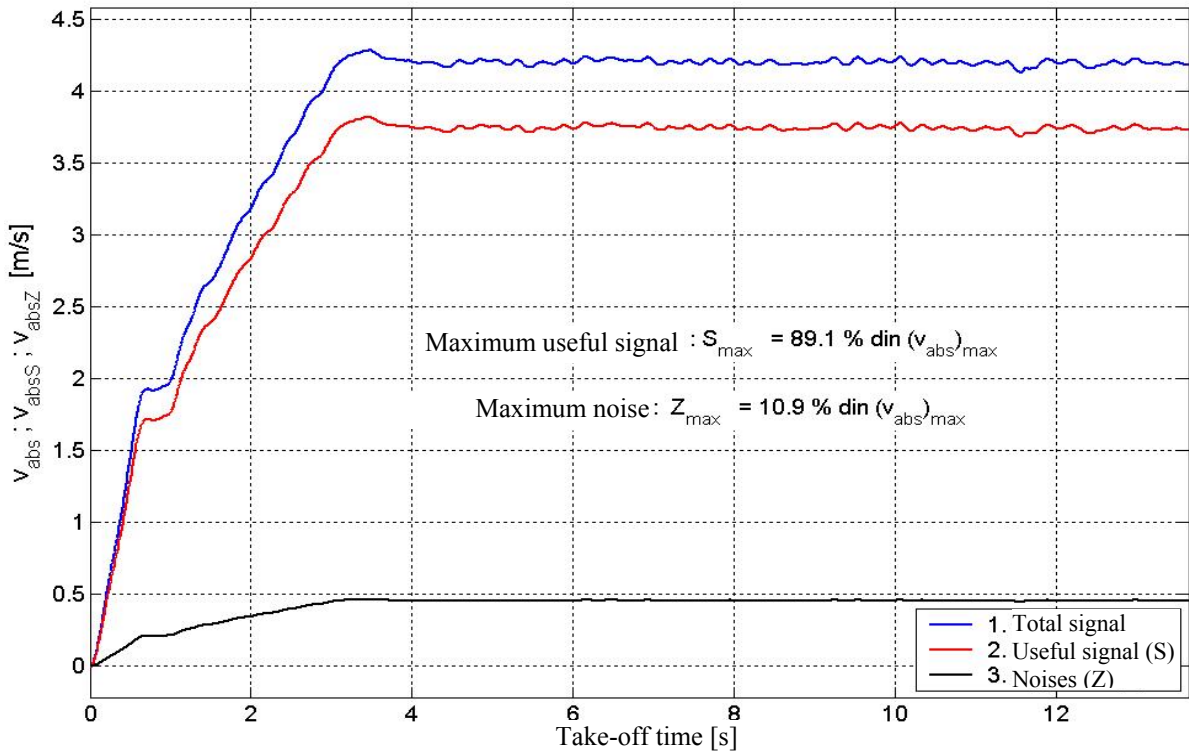


Fig. 3 Noise analysis within an experimental signal

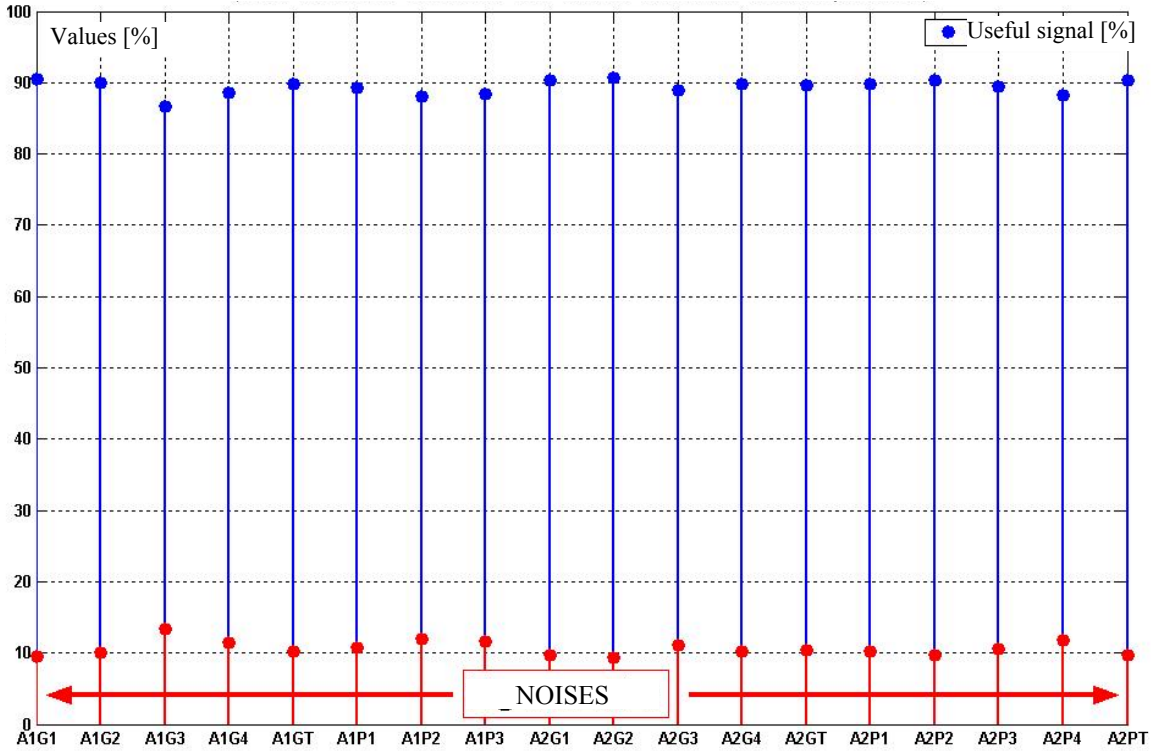


Fig. 4. Maximal percentage values of the useful signal and noise for a group of experimental tests (non-filtered signals of the fire engine's speed)

### III. Analyzing and eliminating the outliers (rough errors)

Most commonly met reasons to face outliers [3] are given by electromagnetic interference, transducer's malfunction, bad connections and so on.

The above mentioned software product helps us providing an example to locate and eliminate the outliers, using its "medoutlierfilt" toolbox (Nov. 2006).

According to the classical theory, the outliers are those values that exceed 3 times the interquartile interval. This interval is defined as  $IQR = q_3 - q_1$  where  $q_3$  is the superior quartile and  $q_1$  is the inferior one.

Fig. 6 depicts the result of a long (8192 events), non-filtered serial analysis in locating and eliminating the outliers. We can notice that  $IQR=8019$  gives no outliers.

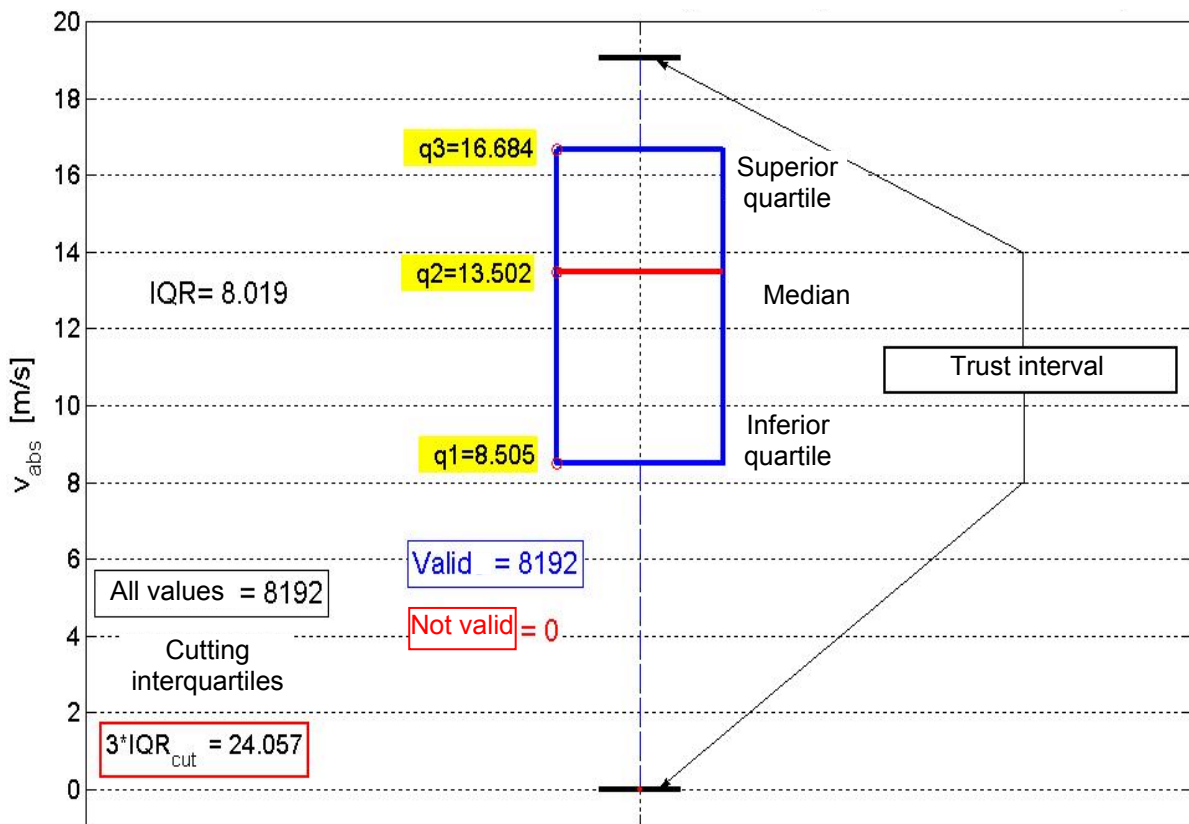


Fig. 5. Results in locating and eliminating outliers

As can be noticed in the picture above, since the chosen IQR was pretty big, it seems like there are no outliers. So, prior determining the outliers, a reasonable limit of IQR should be considered. The IQR's value is most commonly determined on the researcher's expertise in this respect.

To prove the previous statement, the same dynamic serial has been re-processed for a lower value of the IQR, that has been set to  $3 \cdot IQR = 2.75$  that is much closer to a more accurate analysis.

The result was remarkable. 51 values had to be rejected, which means about 2.5% of the total amount of data. But, on the other hand, the time developing of the serial has also been shrunk, from the real time of 13.6467 seconds to a final time of 13.4 seconds. Should be also noticed that the general shape of the curve was not changed. But this is not a common rule: if the rejection rate is too high, the shape of the resulting signal can be seriously altered.

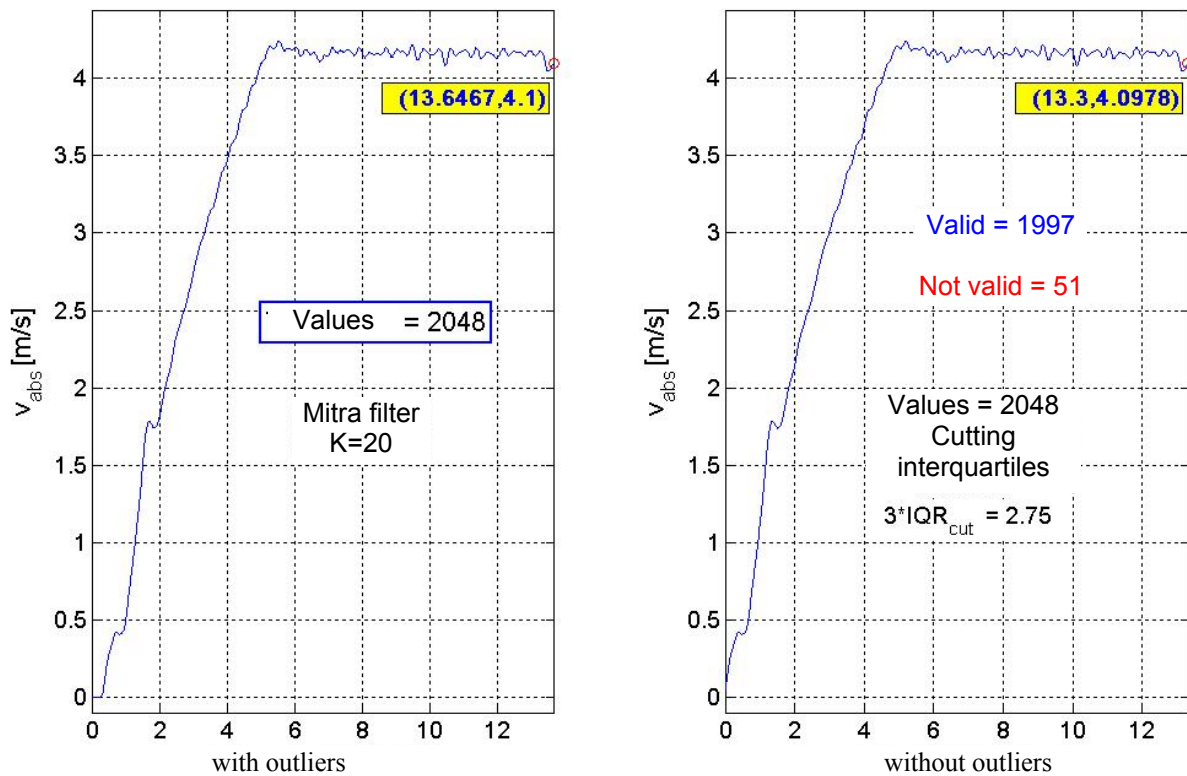


Fig. 6. Signal with and without outliers

#### IV. Conclusions

The new, powerful software allows the researcher to develop much more accurate analysis and filtering of the experimental data. Therefore, we consider that, along with the basic hardware filtering of the experimental signals, a software filtering should be performed.

Of course, this can't be stopped here and a much deeper research should be further considered. In this respect, filters represent a powerful tool.

#### References

- [1] Anderson, T.W. - *The statistical analysis of time series*, Wiley, New York, 2001
- [2] Copae, I. ș.a. - *Dinamica autovehiculelor*, Editura Ericom, București, 2006;
- [3] Elmqvist, H. ș.a. - *Realtime simulation of detailed physically based automotive*, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Modelica Conference, Linköping, 2003
- [4] Lăscăteu, E. - *Studii privind stabilirea strategiei de mentenanță a automobilelor din dotarea trupelor de pompieri*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 2006
- [5] Olson, B. - *Nonlinear dynamics of longitudinal ground vehicle traction*, MS Thesis, Michigan State University, 2001;

\* **Marin MARINESCU** - Assoc. Professor Eng., PhD, Military Technical Academy, Bd. George Cosbuc nr. 81-83, sector 5, Bucharest, Phone +402 335 4660 ext. 0314, 0150, e-mail: [marinescu@mta.ro](mailto:marinescu@mta.ro)

\*\* **Longin IACOBESCU** - Dipl. Eng., PhD Candidate, IMUT Moreni, Bd. 22 Decembrie 1989 nr. 60, Moreni, DB, Phone +40245 666 525, e-mail: [imut@minisat.ro](mailto:imut@minisat.ro), [imut\\_moreni@adslexpress.ro](mailto:imut_moreni@adslexpress.ro)

\*\*\* **Ioan Filip** - Professor Eng., PhD, Military Technical Academy, Bd. George Cosbuc nr. 81-83, sector 5, Bucharest, Phone +402 335 4660 ext. 0149

## UTILIZAREA MODELULUI CU ELEMENTE FINITE ÎN OBTINEREA UNOR STRUCTURI MULTISTRAT PRIN PROCEDEUL DE PLACARE PRIN EXPLOZIE

Ștefan – Mircea MUSTAȚĂ \*  
Mihai MIHĂILĂ – ANDRES \*\*

### **Abstract:**

*This subject, propose to treat some theoretical aspects in obtaining multi-layer metallic materials witch high properties and purposes for special industry, using the Finite Element Method.*

### **I. Introducere**

Având în vedere actuala orientare a ingineriei materialelor spre materiale de tip compozit, în lucrarea de față s-a urmărit prezentarea cu ajutorul Metodei Elementelor Finite a modului de obținere a unor noi tipuri de materiale cu structură stratificată destinate tehnicii speciale, capabile să atingă caracteristici optime de material comparativ cu cele clasice utilizate până în prezent, folosind procedeul de placare prin explozie.

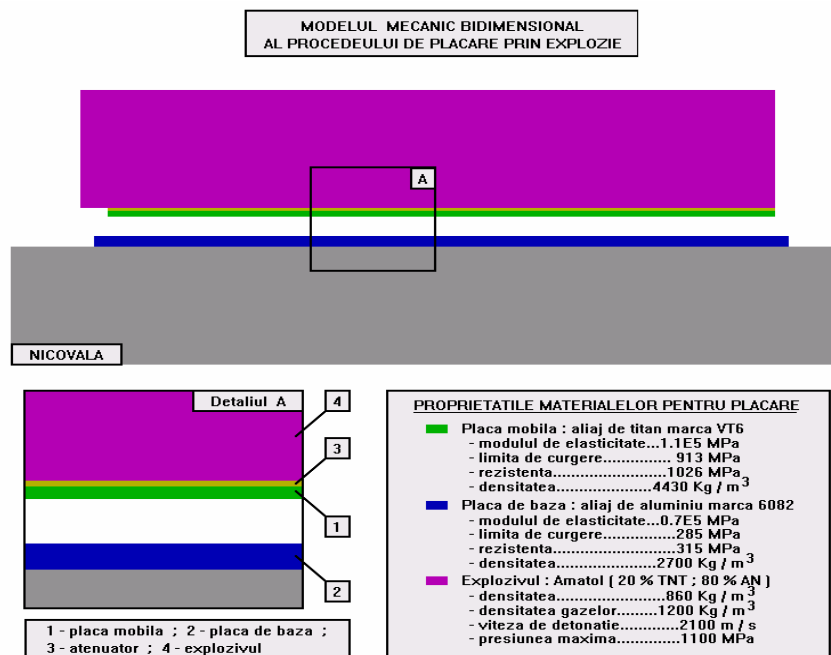
Utilizarea MEF a permis interpretarea fenomenului în funcție de variația unor parametri, ca de exemplu variația unghiului de coliziune  $\beta$  la diferite intervale de timp, pe parcursul realizării procesului de placare.

### **II. Modelul mecanic al procedurii de placare prin explozie**

Modelul mecanic al procedurii de placare prin explozie utilizat în această lucrare este conceput pe baza observațiilor de mai sus, într-un spațiu bidimensional (fig.1) și constă din următoarele elemente:

- 1- placa mobilă;
- 2- placa de bază;
- 3- atenuator;
- 4- exploziv.





**Fig.1** Modelul mecanic bidimensional al procedului de placare prin explozie

În acest model se presupune că detonația se inițiază pe marginea din stânga a explozivului, simultan cu toată grosimea.

S-a constatat că procedul de placare prin explozie se poate controla prin doi parametri importanți, și anume: viteza de impact și unghiul de coliziune.

Modelul mecanic adaptat pentru procedul de placare prin explozie, descris la începutul acestui paragraf, nu apelează la ipotezele simplificatoare enumerate, fapt ce îl face apt pentru o analiză mai exactă a mărimilor care intervin în procedeu.

Deoarece proprietățile explozivilor utilizați la placarea prin explozie sunt cunoscute, precum și legile care guvernează fenomenul de transformare a acestora în produse de detonație sub formă gazoasă cu conținut de plasmă și apoi de eliberare de energie prin destindere, din studiul termodinamic al problemei s-a reținut numai izentropia  $p - v$  a produșilor de detonație, exprimată prin “legea gamma” sub forma:

$$p = p_0 \left( \frac{v_0}{v} \right)^\gamma \quad (1)$$

în care  $p_0$  și  $v_0$  sunt mărimile de stare (presiunea și volumul specific) ale gazelor în momentul detonării, iar  $p$  și  $v$  sunt mărimile de stare la un moment dat. Pentru exponentul  $\gamma$  s-a adoptat o variație liniară care pornește de la valoarea indicelui adiabatic de 1,4 la presiunea mediului ambiant și ajunge la valoarea maximă pentru presiunea de detonație.

### III. Modelul cu elemente finite al procedurii de placare prin explozie

Pornind de la modelul mecanic al procedurii de placare prin explozie, se concepe un model cu elemente finite, dezvoltat în spațiul bidimensional, pe care urmează să se simuleze fenomenele care se produc la aplicarea acestui procedeu.

Elementele finite sunt interconectate în puncte care poartă denumirea de noduri. Fiecărui nod  $i$  se asociază o funcție de interpolare ale cărei proprietăți se pot sintetiza astfel:

- în nodul căruia îi este asociată are valoarea 1;
- are valoarea zero în celelalte noduri;
- este definită nulă pe toate elementele care nu sunt conectate în nodul considerat.

Considerând modulul de elasticitate și coeficientul de dilatare liniară ca funcții de temperatură (fig.2), se realizează un material ipotetic ai cărui parametri de stare urmăresc la destindere izentropa  $p - v$  cu exponent variabil din fig.3.

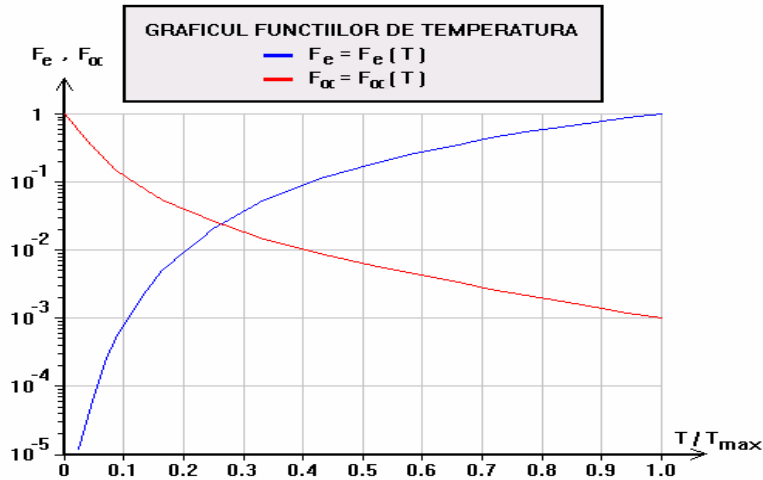


Fig.2 Graficul funcțiilor de temperatură

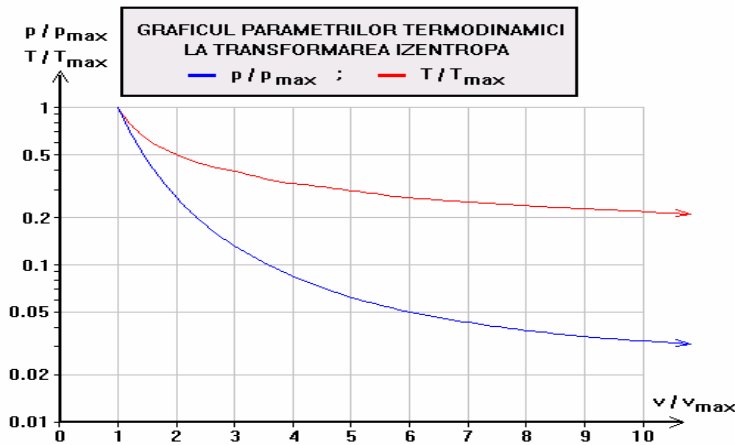
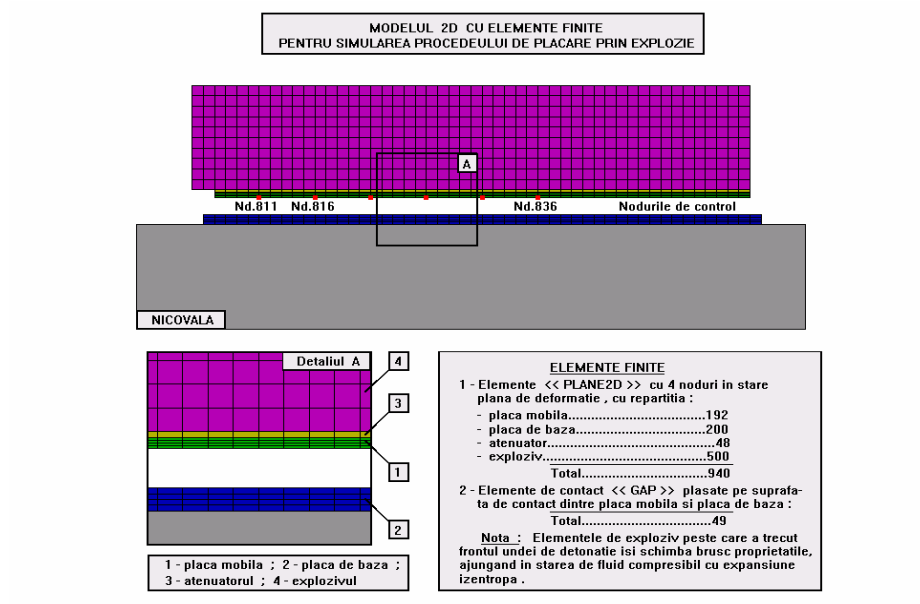


Fig.3 Graficul parametrilor termodinamici la transformarea izentropă

Simularea realizării îmbinării sudate s-a făcut prin introducerea la interfață a unor elemente speciale de captare, concepute de autor, care devin active în momentul în care un nod de pe suprafața inferioară a plăcii mobile ia contact cu un element de pe suprafața superioară a plăcii de bază și are viteza mai mare ca viteza minimă de sudare. În caz contrar, cu toate că se realizează contactul între cele două plăci, în punctul respectiv, nu se stabilește legătura între cele două materiale. Parcurgerea etapelor specificate mai sus a condus la realizarea modelului bidimensional cu elemente finite al procedurii de placare prin explozie, reprezentat în fig.4.



**Fig.4** Modelul 2D cu elemente finite pentru simularea procedurii de placare prin explozie

Calculul numeric concret a fost efectuat cu programul COSMOS/M, în modulul de analiză dinamică neliniară. Durata analizei a fost stabilită, din condiția ca frontul undei de detonație să se propage în toată masa explozivului iar placa mobilă să se deplaseze în întregime la contactul cu placa de bază, la o valoare de 100  $\mu$ s cu un increment de timp de 0,1  $\mu$ s. În consecință, rularea programului s-a făcut în 1000 de pași de integrare.

#### IV. Simularea numerică a procedurii de placare prin explozie

Parametrii de lucru principali ai procedurii de placare prin explozie, urmăriți în simularea numerică cu ajutorul metodei elementelor finite s-au limitat la:

- viteza plăcii mobile la impact;
- unghiul de coliziune;
- presiunea pe placa mobilă.

Din analiza câmpului vitezei în elementele asamblării (fig.5) se constată o deosebire importantă, comparativ cu modul simplificat care admite transferul instantaneu de impuls de la exploziv la placa mobilă și deplasarea cu viteză constantă, fără pierderi de energie cinetică, până la impact.



Fig.5 Câmpul vitezei în elementele asamblării

Câmpul vitezei, reprezentat în fig.5, reflectă mai realist fenomenul, în sensul că sunt evidențiate clar fazele prin care trece placa mobilă din momentul în care este acționată de produsele de detonație până la realizarea impactului cu placa de bază și chiar după acest moment.

Cea de-a doua condiție importantă pentru realizarea sudării este legată de unghiul de coliziune. Pentru combinația aleasă în această lucrare se apreciază prin comparație, că valoarea minimă a unghiului de coliziune este de  $7^{\circ}$ .

Din soluția numerică obținută prin simularea procedurii de placare prin explozie prin metoda elementelor finite se poate reține forma deformată a plăcii mobile (fig.6) pe care se determină pantele pe intervale.

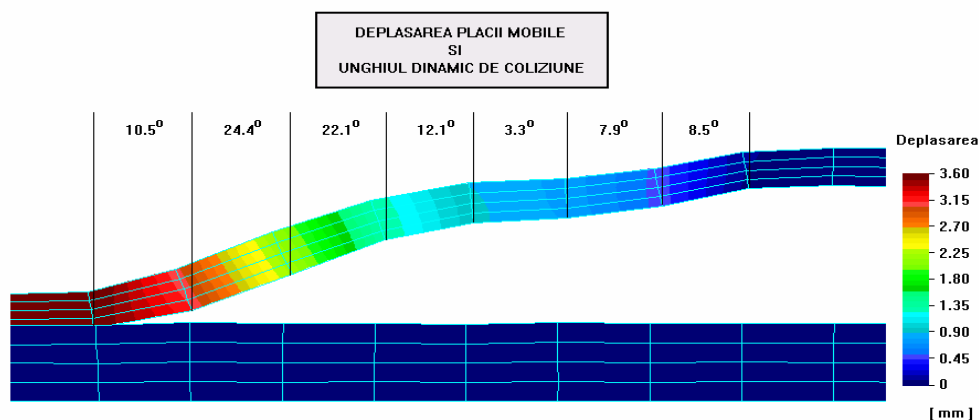


Fig.6 Deplasarea plăcii mobile și unghiul dinamic de coliziune

Având cele două mărimi determinate, viteza de impact cu valoarea de 600...700 m/s și unghiul de coliziune cu valoarea de  $17,5^{\circ}$  se poate aborda și condiția vitezei maxime de sudare, limitată la viteza sunetului.

Un alt parametru care influențează calitatea îmbinării este presiunea maximă și evoluția acesteia în timp la nivelul suprafeței plăcii mobile.

În fig.7 este reprezentat câmpul presiunii în produsele de detonație la un anumit moment după atingerea regimului staționar.

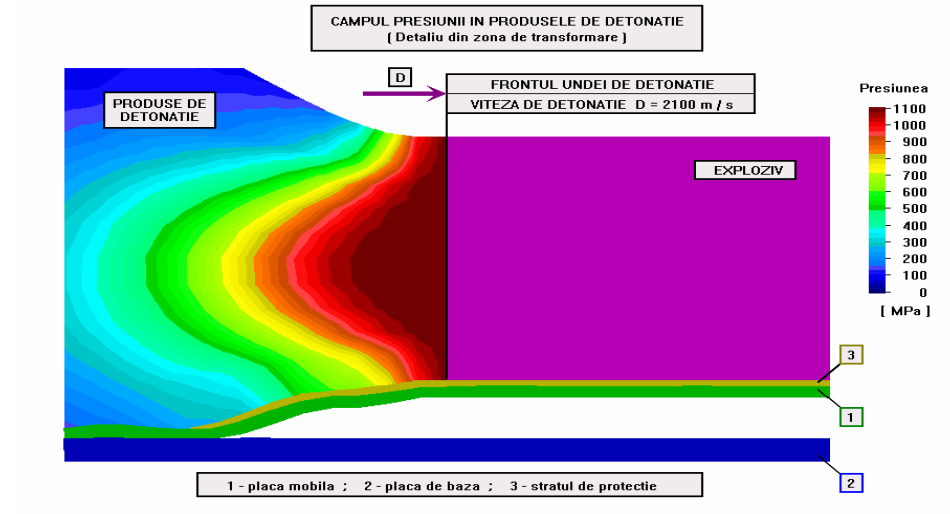


Fig.7 Câmpul presiunii în produsele de detonație

## V. Concluzii

Utilizarea MEF a permis și de această dată interpretarea fenomenului în funcție de variația unor parametri, la diferite intervale de timp, pe parcursul realizării procesului de placare. Din cele prezentate reiese importanța modelării cu ajutorul MEF a procesului menționat, permițând un studiu aprofundat asupra parametrilor caracteristici, studiarea acestora fiind mult mai dificilă în cazul în care se are în vedere numai partea experimentală.

## Bibliografie

- [1] NĂSTĂSESCU V., “Analiza neliniară a structurilor mecanice prin metoda elementelor finite”, Editura Academiei Tehnice Militare, București 2002
- [2] MUSTAȚĂ Șt. M., “Contribuții asupra obținerii unor materiale stratificate cu proprietăți și destinații speciale”, Teza de doctorat, București, 2003
- [3] FUIOREA I., “Metoda elementelor finite pentru structuri aeroelastice”, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1998
- [4] NĂSTĂSESCU V., “Metoda elementelor finite”, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1995

\* MUSTAȚĂ Ștefan – Mircea, doctor inginer, Academia Tehnică Militară – București e-mail: m\_stef\_2002@yahoo.fr

\*\* MIHĂILĂ – ANDRES Mihai, căpitan lector univ. doctor inginer, Academia Tehnică Militară – București, e-mail: mihailmi@rdslink.ro

## BLADES DESIGN ADAPTED TO THE CLIMATIC CONDITIONS FROM ROMANIA

Ionela NEGREA\*  
Georgiana DRAGUSIN\*

### Abstract

The main objective of the study is to find a small wind turbine below 1 KW, of low cost and with a very low cut in speed from 2-3 m/s. The blades proposed for this small wind turbine are from textile materials, have different forms and profiles and must resist at big wind, storms and degradation. This blades profile must be adapted to the climatic condition from Romania, especially Brasov area. Because of the low wind speed from Brasov is necessary to implement small wind turbines with a cut in speed from 1-2 m/s. The blades forms are designed and tested with the software CATIA V5 R15 and with the method of Finite Element Modeling. An optimize blade geometry is obtained.

### 1. Introduction

In designing wind blades is important the profile symbolization. The profiles have two important coefficients of symmetry and width, and are depending on the blades top and axis.

For our blades we used three blades profile which are depending on the symmetry and width coefficients. This coefficient are noted with:  $C_{Av}$ ,  $C_{Aa}$  and  $C_v$ ,  $C_a$ , differ with the blades profile and can have values of 1 and 0.

In the figures 2, 3 and 4 are presented the blades profiles choose for this design.

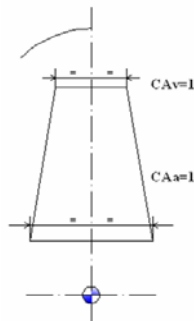


Fig. 2. Blade profile when  $C_{Av} = C_{Aa} = 1$

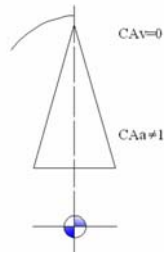


Fig.3. Blades profile for  $CA_v=0$  and  $CA_a=1$

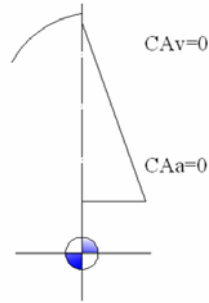


Fig. 4. Blades profile for  $CA_v = CA_a = 0$

## 2. Small wind turbine design

The design of the blades profile is made with the software CATIA V5 R15 (figure 5). Were designed three forms of small blades and were made tests for each of them to find the proper blade for the small wind turbine. The three blades profiles have the same dimensions, only the form is different.

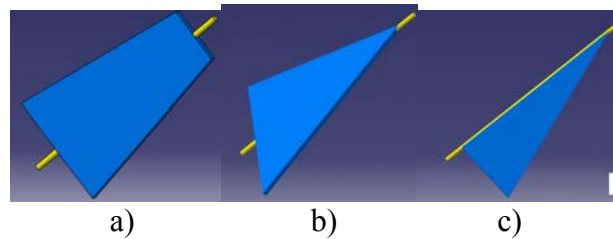


Fig.5. Blades profile

The analysis is made for all the blades from figure 5, with the software Catia V5 R15 and with the method of Finite Element Modeling. This analysis will be made at distortion and at stress.

This blades are assembled in a rim of small dimentions. The rim is a part of the small wind turbine how have the cut in speed from 1 – 2 m/s. This blades are assembled into the rim at an angle of 45° degree.

The small wind turbine is tested at different wind speeds to find the best wind blades that can work. The blades are made from textile materials and because of that the small wind turbine is tested at distortion ans stress.

The three type of bades assembled with the small wind turbine are presented in figure 6, figure 7 and figure 8.



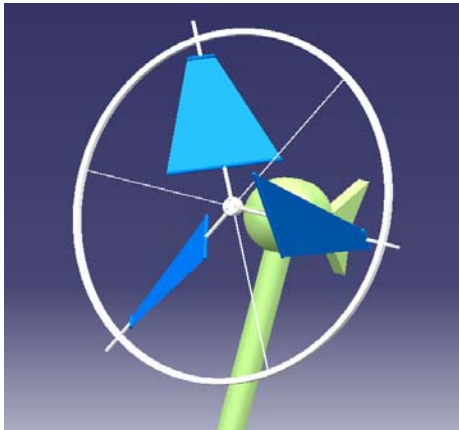


fig.2

Fig. 6. Small wind turbine with the blades profile from

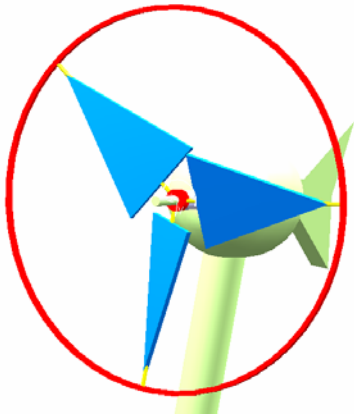


fig.3

Fig. 7. Small wind turbine with the blades profile from

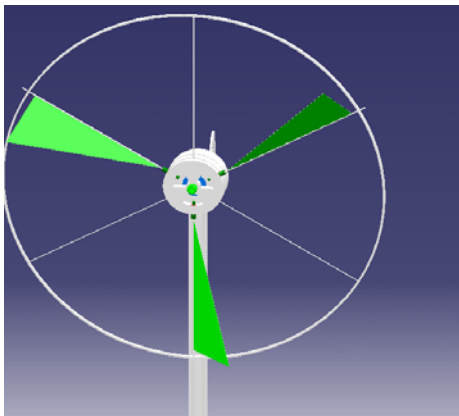


fig.4

Fig. 7. Small wind turbine with the blades profile from

### 3. Small wind turbine analysis

The blades are made from textile material and because of that we need the density, the elasticity module and the Poisson coefficient.

All this coefficients were considered with the same values for each blade:

- The Poisson coefficient:

$$\mu = 0,15;$$

- The Elasticity Module:

$$E = 400 \cdot 10^6 \text{ N} / \text{m}^2 ;$$

- The Density:

$$\rho = 140 \text{ kg} / \text{m}^3 .$$

In table 1 are presented the number of tests that are made for the blades at different wind speed.

Nr.crt	Wind speed [m/s]
1	2
2	5
3	8
4	11
5	14
6	17

The analysis results for stress and distortion are presented in the figures 8 and 9, for blades profile a).

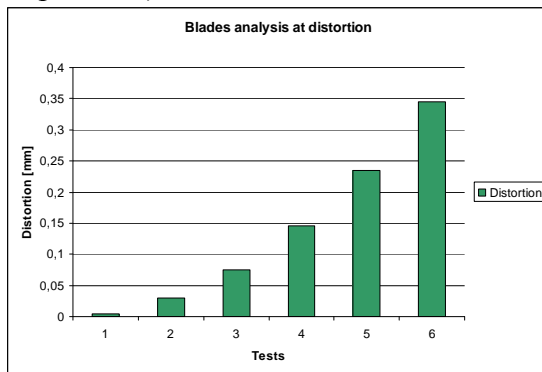


Fig. 8. Blades analysis at distortion

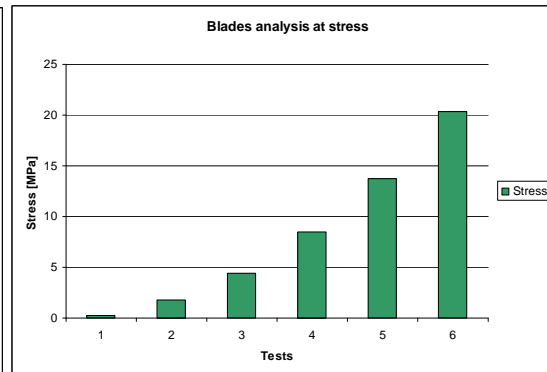


Fig. 9. Blades analysis at stress

The analysis results for stress and distortion are presented in the figures 10 and 11, for blades profile b).

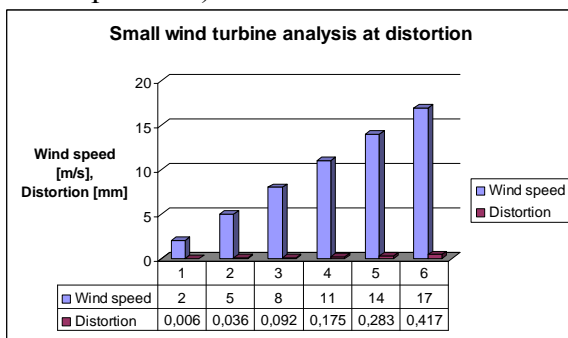


Fig. 10. Blades analysis at distortion

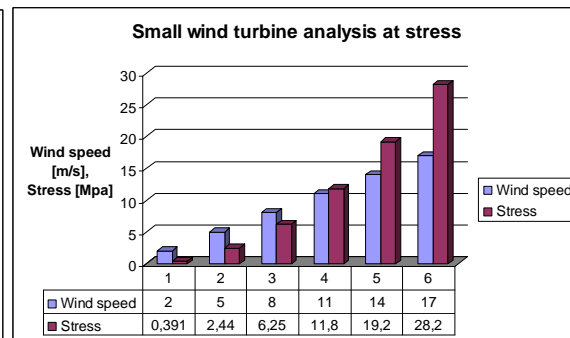


Fig. 11. Blades analysis at stress

The analysis results for stress and distortion are presented in the figures 12 and 13, for blades profile c).

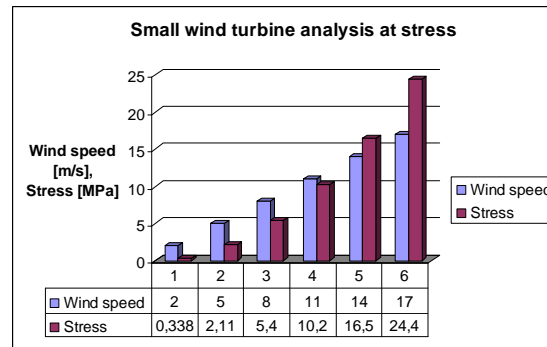
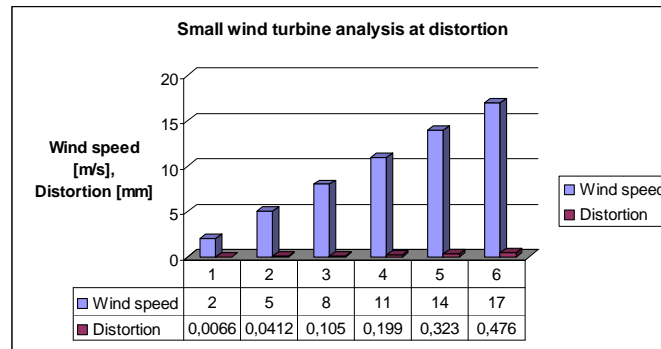


Fig. 12. Blades analysis at distortion

Fig. 13. Blades analysis at stress

It was found that from the three form of blades the best to be used for the small wind turbine is the blade with the profile a), (figure 5). This blade with profile a) at distortion and stress have lower values (figure 8 and figure 9) and this type of blades can be used for a small wind turbine.

#### 4. Conclusions

The paper presents different blades profile from which is choose only one. The blades are tested at different conditions and result small blades which resist at distortion and stress.

#### References

- [1] Godfrey Boyle , Renewable Energy.Power for a sustainabel future,ISBN 0-19-926178-4, Oxford University Press, Oxford 2004.
- [2] Bent Sorensen, Renewable Energy, Third edition, Edited by Elsevier inc., UK, 2004, ISBN 0-12 656153-2ef
- [3] P. Konor, Publisher: Universe, Renewable Energy Policy, 2004, ISBN: 0595312187
- [4] Visa, I., Duta, A., Renewable Energy Systems, Basics, Ed. Univ. Transilvania, 2005, ISBN 973-635-541-1, 351 pg.
- [5] Alexandru, P., Visa I., Talaba, D., Alexandru, C., Antonya , Cs., The static-dynamic modelation of the mechanisms of guiding for weheel of the cars. Ed. Lux Libris, Brasov, ISBN 9739458173, 2005.
- [6] Visa, I., Duta, A., Renewable Energy Systems, Applications, Ed. Univ. Transilvania, 2006, ISBN 973-635-657-4

\* Ph.D.Eng. IonelaNEGREA, Transilvania University of Brasov

\* Ph.D.Eng. Georgiana DRAGUSIN, Transilvania University of Brasov

## TENDINȚE ACTUALE ÎN CONSTRUCȚIA PUȘTILOR DE ASALT

Ioan-Liviu PITICARI \*  
Mădălin BARBU \*\*

### *Abstract:*

*The issue of this paper is the direction towards the construction of the assault rifle is heading to. Assault rifle is the most used fire weapon in worldwide armies. Since 1960's no other individual fire weapon touched the celebrity and importance of this particular type of weapon among militaries.*

*The changes occurred in all weapon's parts, implying ammunition, sights, disposal of mechanisms, dimensions, materials used, ballistics etc.*

*Assault rifles tended to be more reliable, more effective, more precise, easier to be used and easier to be beard. They also tend to adapt to actual conditions of warfare, like fighting in urban areas, in buildings and narrow spaces, in an asymmetrical war.*

### **Introducere**

Această lucrare abordează principalele realizări și tendințe în ceea ce privește construcția celei mai importante categorii de armament automat individual utilizat în cadrul forțelor armate de pe întreg globul – pușca de asalt. Aspectele abordate se întind pe un spectru larg, începând cu mecanismele armei și mergând până la aparatele de ochire și muniție.

O pușcă de asalt este o armă de foc automată cu țeava ghintuită, cu capacitate de foc selectiv, care trage gloanțe cu o energie inițială la gură intermediară între cea a pistoalelor și cea a puștilor de luptă (battle rifle, en.). Puștile de asalt sunt clasificate între mitralierele ușoare, destinate mai mult pentru susținerea focului automat cu rol de sprijin, și pistoalele mitralieră, care utilizează mai degrabă muniție de pistol decât muniția caracteristică unei puști ghintuite

#### **1. Tendința de reducere a lungimii totale a armei**

În ultimii ani s-a modificat radical ideea tactică prin care, în timpul operațiilor, orașele erau ori aruncate în aer, ori ocolite. Principiul operațiilor militare în teren urban a evoluat în mod continuu, atât din cauza declanșării „războiului contra terorismului”, cât și datorită concentrării tot mai mari a populației lumii în centre urbane. Acest lucru presupune ducerea luptei în spații înguste, la colțuri de stradă și în interiorul clădirilor. Pușca de asalt clasică nu este tocmai potrivită unor astfel de acțiuni, datorită lungimii ei relativ mari, care o face relativ greu manevrabilă în spații înguste și la distanțe mici de tragere.

De aceea, astăzi se înregistrează o tendință de reducere a lungimii totale a puștilor de asalt, lucru care s-a realizat pe două căi.

Prima este aducerea cutiei mecanismelor și a încărcătorului înapoia trăgaciului, în interiorul patului armei, lucru care duce la reducerea lungimii totale a armei, în condițiile menținerii lungimii țevii și deci a caracteristicilor balistice ale acesteia. Acest tip de construcție poartă denumirea de „bull pup”. Din această categorie s-au realizat deja numeroase puști de asalt, cum ar fi: Tavor (Israel), Type 95 (China), SAR-21 (Singapore), DAR-21 (Coreea de Sud), FN F 2000 (Belgia), toate cu camera de încărcare destinată cartușului cal 5,56x40 mm NATO, mai puțin Type 95 (5,8x42 mm).

A doua cale de reducere a lungimii totale este scurtarea țevii. Acest lucru a condus la recunoașterea unei subcategorii noi de armament automat, denumit carabină de asalt. Carabinele de asalt au anumite particularități (dezavantaje) date de lungimea redusă a țevii, și anume o viteză inițială a glonțului mai mică și o distanță eficientă de tragere mai mică. (M4 – S.U.A.).

În ciuda acestei tendințe, unele țări preferă în continuare varianta constructivă clasică a puștilor de asalt sau o variantă intermediară, cea mai bună dovadă fiind aceea că cel mai bine vândută armă de asalt din lume în prezent, G 36 a firmei Heckler & Koch (Germania), face parte din această categorie, ca și pușcada de asalt care va echipa probabil în viitor militarii armatei americane, XM8. Alte arme cunoscute de concepție recentă, cu design tradițional sunt AK5 (Suedia) și AN-94 (Rusia).

## **2. Utilizarea unor noi tipuri de materiale**

Materialele utilizate în construcția puștilor de asalt s-au schimbat de-a lungul timpului. Cele mai vizibile părți ale armei – patul și mânerul – erau construite din lemn, dar acum acesta a fost înlocuit aproape în totalitate cu materiale plastice. Un element mai subtil îl reprezintă competiția dintre fabricarea componentelor metalice prin strunjire și frezare din oțel solid (rezistent, dar greu și mai scump) sau ambutisarea lor din tablă metalică (ieftină și ușoară, dar și mai puțin rezistentă). La modele moderne, sunt folosite noi tehnologii pentru fabricarea componentelor metalice pentru realizarea solidității acestora cu costuri reduse, iar iar utilizarea materialelor compozite și a celor plastice a fost extinsă. Astăzi se fabrică din plastic și unele piese care înainte erau din metal, precum încărcătorul. Pușca de asalt austriacă Steyr AUG, de exemplu, are un încărcător din plastic transparent, care permite vizualizarea permanentă a numărului de cartușe rămase disponibile.

## **3. Construcția modulară**

Majoritatea puștilor de asalt au fost construite în mod specific misiunii pentru care au fost destinate, dar astăzi a devenit un lucru normal ca ele să fie proiectate modular, lucru care permite ca mai multe tipuri de armament să fie asamblate din elemente comune. Inițiatorul acestui concept a fost probabil dizainerul american Eugene Stoner, creatorul sistemelor de armă modulare Stoner 62 și Stoner 63, la începutul anilor '60. Arme dintr-o gamă relativ largă, începând cu pistolul-mitralieră și terminând cu mitraliera de uz general alimentată din bandă erau toate bazate pe componente comune. Acest lucru s-a dovedit a fi totuși exagerat, rezultând anumite versiuni de armament prea grele sau prea complexe, dar în zilele noastre a devenit un standard pentru armele noi să fie disponibile în variante diferite ca lungime a țevii și ca formă și dimensiuni ale patului, în anumite cazuri incluzând și o versiune cu țeava grea susținută de un bipod (crăcană), pentru rolul de mitralieră ușoară. Steyr AUG, Heckler & Koch G36 și derivatele XM8 – toate oferă aceste variante constructive.

Armele moderne facilitează și montarea unor accesorii și sunt prevăzute în general cu dispozitivul de proveniență americană „Picatinny Rail”, montat la partea superioară a armei, care permite instalarea unei game de aparate de ochire și interschimbarea acestora într-un timp foarte scurt. Ultimele modele de puști de asalt merg chiar mai departe, permițând nu doar

montarea unei game largi de aparate de ochire, dar și a unor alte tipuri de accesorii, cum ar fi aruncătorul de grenade, la partea inferioară a armei (FN F2000).

Armele hibrid dintre o pușcă și un aruncător de grenade cu autoîncărcare (cum sunt XM 29 și PAPOP) produc însă numeroase probleme la asamblarea componentelor, inclusiv a sistemului complicat de ochire.

#### **4. Cadența și selecția tragerii**

Provenind din arme neautomate, carabinele de asalt se disting prin posibilitatea selectării modului de tragere: în regim semiautomat (foc cu foc sau un singur cartuș tras la o apăsare a trăgaciului) sau complet automat (tragere continuă până în momentul eliberării trăgaciului).

Avându-se în vedere că, în cazul executării unui foc continuu, doar primele gloanțe se duc spre țintă, datorită reculului care modifică poziția armei, tendința este de adoptare a unui mecanism ce limitează tragerea la o serie scurtă, de doar două sau trei cartușe, efectul fiind optimizarea consumului de muniție și contracacarea irosirii nejustificate a acesteia.

#### **5. Posibilitatea utilizării ambidextre**

O altă tendință înregistrată în construcția de armament automat în general și în cea a puștilor de asalt în particular este aceea de proiectare a armamentului astfel încât el să poată fi utilizat în același mod și cu aceeași ușurință atât de trăgătorii dreptaci cât și de cei stângaci. Acest lucru presupune, în primul rând, posibilitatea selectării prin intermediul unei comenzi mecanice a părții spre care se face evacuarea tubului cartuș, spre stânga sau spre dreapta.

Există deja unii producători de puști de asalt care au adoptat acest principiu în construcția lor.

Ceea ce este interesant de menționat este faptul că realizarea acestui deziderat este mult mai dificilă în cazul puștilor de asalt cu construcție de tip „bull pup” decât în cazul celor clasice, ridicând o serie de probleme mai greu de rezolvat pentru proiectant.

#### **6. Îmbunătățirea performanțelor balistice**

Proiectarea unui tip de muniție pentru o pușcă de asalt prezintă un set de probleme dificil de rezolvat: realizarea unui recul suficient de redus astfel încât să permită controlul armei în timpul executării focului automat; reducerea dimensiunilor și greutateii muniției pe cât de mult posibil pentru ca infanteristul să poată transporta un număr cât mai mare de cartușe.

Un ideal în construcția armamentului automat, deci și în aceea a puștilor de asalt, îl reprezintă optimizarea raportului dintre performanțele balistice ale glonțului și forța de recul a armei.

Este cunoscut faptul că efectul omorător al glonțului de 5,56 mm se bazează pe fragmentarea acestuia la impact, dacă viteza rămasă este suficient de mare. La armamentul clasic care utilizează această muniție, cu o lungime a țevii de 51 cm, distanța care asigură acest efect este de 150-200 m. În cazul carabinelor de asalt însă, care au o țevă mai scurtă, efectul de fragmentație se produce la maxim 50-100 m. Tendința de adoptare a carabinei automate M4 pe scară largă în armata americană a redeschis controversa asupra eficienței muniției de cal. 5,56x45 mm NATO.

Expertul britanic în armament și muniții Anthony G. Williams trage două concluzii din această dispută în articolul său [1]. Prima ar fi că ar putea exista multe beneficii financiare și logistice prin adoptarea unui singur tip de muniție, atât pentru puștile de asalt, cât și pentru mitralierele utilizate în cadrul NATO. A doua este că ar fi utilă adoptarea unei muniții cu o putere mai mare la țintă decât cea a cartușelor cal. 5,56x45 mm. Ambele concluzii duc către aceeași direcție, și anume către un cartuș intermediar ca putere între cele două calibre standard NATO, 5,56x45 mm și 7,62x51 mm. Un astfel de cartuș ideal ar trebui să asigure o eficacitate la țintă comparabilă cu cea a muniției de 7,62 mm, combinată cu o forță de recul suficient de redusă pentru a permite controlul armei la executarea focului

automat. Întrebarea pe care și-o pune autorul este dacă acest lucru este posibil, iar concluziile pozitive pe care le trage se bazează pe câteva experiențe reușite observate de-a lungul timpului și pe calcule energetice.

Britanicii au avut rezultate foarte bune acum peste 50 de ani cu un cartuș de calibrul 7x43 mm. Aceasta pare să fie limita superioară. Limita inferioară pentru un astfel de cartuș o putem fixa la 6 mm, ceva mai mic de atât neputând avea performanțe superioare actualului cartuș de 5,56 mm. Un element important în balistica glonțului îl reprezintă raportul dintre calibrul și greutatea proiectilului. În calculele de balistică românești se utilizează coeficientul de greutate, exprimat ca raport dintre greutatea proiectilului  $q$  și pătratul calibrului acestuia:

$$c_q = \frac{q}{d^2} \quad (1)$$

Autorul britanic utilizează ca element de comparație densitatea secțională (SDR – sectional density ratio), definită ca raport între calibrul  $d$ , exprimat în inch și masa  $m$ :

$$SDR = \frac{d}{m} \quad (2)$$

Cu cât densitatea secțională este mai mare, cu atât caracteristicile aerodinamice și efectul la țintă ale glonțului sunt mai bune. O densitate secțională de 0.230 ar asigura unui glonț o viteză mai bună decât a unuia cu calibrul de 7,62 mm (care la o masă 9,33 grame un SDR de 0.217), și deci rezultatele la țintă dorite la distanțe mari. Glonțul clasic de 5,56 mm are un SDR de 0.174, iar varianta recent introdusă, Mk262, are un SDR de 0.220 la o masă de 5 g. Este de asemenea necesară o energie la gură de maxim 2500 J, astfel încât forța de recul generată să nu fie peste limitele acceptabile pentru o pușcă de asalt.

În această arie a munițiilor căutată de autor se găsesc câteva variante constructive deja existente:

- glonțul de calibrul 7 mm, cu o masă de 8,4 g și o viteză inițială de 770 m/s, generând o energie la gura țevii de 2500 J;
- glonțul de 6,85 mm, cu masa de 7,9 g, viteza inițială de 784 m/s și energia la gură de 2430 J;
- glonțul de 6,5 mm, cu masa de 6,9 g, viteza inițială de 820 m/s și energia la gură de 2330 J;
- glonțul de 6,35 mm, cu masa de 6,5 g, viteza inițială de 834 m/s și energia la gură de 2260 J;
- glonțul de 6 mm, cu masa de 5,9 g, viteza inițială de 854 m/s și energia la gură de 2150 J.

Câteva cartușe care îndeplinesc criteriile de mai sus au fost introduse nu de multă vreme și în serviciul militar, dând dovada că în viitor aceasta ar putea fi soluția care va fi adoptată.

Unul dintre ele este Remington SPC (Special Purpose Cartridge) de cal. 6,8x43 mm, care trage un glonț de 7,45 g cu o viteză inițială de 808 m/s și o energie la gură de 2430 J, dintr-o țevă cu lungimea de 16.5 inch. Acest glonț dezvoltă o energie la gură cu 55% mai mare decât cea a glonțului de 5,56 mm, la o distanță de 550 m, energia lui fiind cu 84% mai mare datorită coeficientului balistic superior (SDR=0.214). Traectoria lui este aproape identică cu aceea a glonțului de 7,62 mm până la distanța de 500 m. Acest cartuș este utilizat de forțele speciale americane.

Un altul este glonțul de 6,5 mm Grendel (6,5x38 mm), încapsulat într-un cartuș asemănător celui folosit de armele AKM (7,62x39 mm). Cu o greutate de 8 g și o viteză inițială de 770 m/s, acesta generează o energie la gură de 2370 J, având o comportare aerodinamică cu mult superioară gloanțelor de cal. 5,56 Mk 262 sau 6,8 mm (SDR=0.252). Utilizate cu o țevă de pușcă de asalt ceva mai lungă sau cu o mitralieră, aceste gloanțe au caracteristici mult mai bune decât cele de 7,62 mm calibrul NATO.



Până la o posibilă introducere a unui astfel de cartuș pe scară largă în armata S.U.A., lucru care necesită și o înlocuire a armamentului de asalt utilizat cu altul corespunzător, a fost deja introdus noul cartuș de 5,56x45 mm Mk 262 (deși tot pe arii restrânse, cum sunt unele trupe speciale), acesta îmbunătățind semnificativ eficacitatea la țintă a armelor cu țeava mai scurtă.

### 7. Utilizarea unor noi tipuri și combinații de muniții

O tendință evidentă în ultimi ani este realizarea unor noi tipuri de muniții și combinării puștii de asalt clasice cu alte tipuri de armament sau realizarea posibilității ca o pușcă de asalt să tragă cu muniție adaptată, care inițial nu era destinată tragerilor cu o pușcă.

S.U.A. derulează un program de dezvoltare a tehnologiilor pentru arme mici și ușoare, cu scopul de a înjumătăți greutatea actuală a pistolului mitralieră de calibru 5,56 mm M249 (FN Minimi) și a muniției acestuia. Două tipuri diferite de cartușe sunt testate (așa cum se pot ele vedea în fotografia de mai jos, în comparație cu actualul cartuș 5,56x45 mm). În mijloc se află o muniție telescopică încapsulată într-un tub din material polimeric, produsă de firma ARES, iar sub aceasta – o lovitură fără cartuș produsă de ATK, bazată pe tehnologia dezvoltată în anii '80 de firma germană Heckler & Koch pentru arma de asalt G11. Loviturile încapsulate în cartuș polimeric au generat o reducere a greutății de 33 %, iar cele fără tub cartuș – de 51 %. Munițiile au fost produse astfel încât performanțele lor balistice să fie aceleași cu ale muniției cal. 5,56x45 mm clasice.

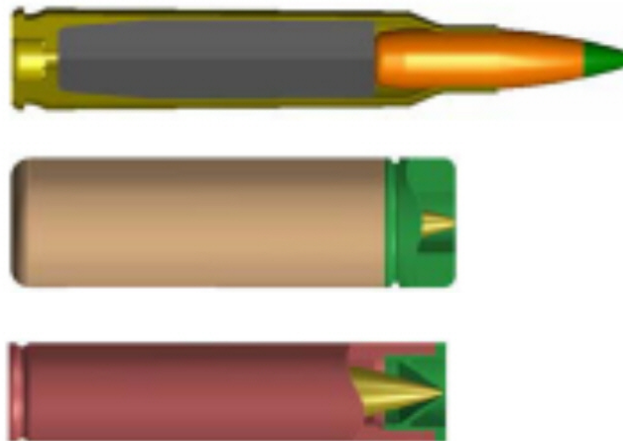


Fig. 1: Muniție de calibru 5,56 mm pentru arma M249 FN Minimi

Armata S.U.A. a dezvoltat OICW (Arma obiectivă de luptă a infanteriei), cunoscută și ca SABR (Pușca de luptă de asalt selectabilă) și XM 29. Acestea combină o pușcă de 5,56 mm cu țeava scurtă cu un aruncător de proiectile de viteză redusă autoîncărcabil (inițial cu cal. de 20 mm). Inima armei o reprezintă un telemetru laser cuplat la un calculator de control al focului, legat de aparate de vedere optoelectronice și de un sistem electronic de setare a focoselor. Acest S.C.F. complex și foarte costisitor face ca militarul să poată trage un proiectil exploziv (HE) care detonează direct deasupra țintei, avînd efect pe o rază de până la 1000 m.

Datorită greutății mari pe care această armă o atinge, proiectul american s-a împărțit în două, ducând la dezvoltarea separată a puștii de asalt de cal. 5,56 mm XM8 și a aruncătorului de proiectile XM25 (cu un calibru mărit la 25 mm), cele două putînd fi combinate mai târziu într-o singură armă, dacă reducerea masei totale va permite acest lucru (de la 8,2 kg, cât cântărește acum XM 29, la o valoare țintă de 6,8 kg).

Proiecte asemănătoare sunt dezvoltate și de Franța (PAPOP) – cal. 35 mm, și Australia (tehnologia „Metal Storm”), la amîndouă proiectilele grenadă fiind încorporate în țeavă.

Astfel de sisteme sunt cu siguranță impresionante, dar în ce măsură electronica lor complexă va rezista atunci când va avea câțiva ani vechime, mai ales după utilizarea intensivă într-o zonă de luptă, timp de câteva săptămâni, pe toate tipurile de vreme, rămâne încă de văzut.

„Pe termen lung, pare probabil ca actuala tehnologie a cartușelor să fie înlocuită de ceva cu totul diferit, deși nu este încă clar ce anume. Loviturile de tip săgeată au fost încercate și respinse, cel puțin pentru moment; muniția fără tub cartuș a fost de asemenea încercată și respinsă pentru moment. Am putea să vedem ceva mai radical, poate o armă de calibru mare, derivată din actualele proiecte de aruncătoare de grenade, care să fie capabile să tragă un mănunchi de proiectile săgeată, un proiectil exploziv (HE) sau o gamă de alte muniții de natură letală sau neletală. Privind mai departe în viitor, poate că cineva va reuși să depășească problema alimentării cu energie și va obține o armă electromagnetică capabilă să transmită viteze inițiale foarte mari proiectilelor, la dimensiuni și greutate acceptabile. Totuși, se pare că pușca de asalt convențională și muniția ei intermediară vor fi utilizate pe scară largă pentru o lungă perioadă de timp și de acum înainte.” [2]

### 8. Tragerile după colț

Militarii aflați în operațiuni urbane, care trebuie să efectueze trageri de după colțurile clădirilor, peste ziduri sau pe ferestre, sunt victimele unui număr ridicat de răni la cap și în partea superioară a toracelui. Câteva soluții în scopul rezolvării acestei probleme au fost dezvoltate pentru uz militar și polițienesc.

Compania americano-israeliană Corner Shot a realizat o gamă extinsă de armament individual. Corner Shot APR încorporează o pușcă de asalt de cal. 5,56 mm, permițând trăgătorului să angajeze ținte până la o distanță de 250 m. Folosește încărcătoare standard pentru armele americane M16 / M4 sau încărcătoare speciale de capacitate redusă și poate trage cu toate tipurile de muniție de cal. 5,56 mm. Țeava cu mecanismele armei, având montată deasupra o mică cameră video, sunt rabatabile stânga-dreapta față de patul armei cu trăgaciul, pe această a doua componentă a sistemului fiind dispus un ecran care redă imaginea obținută de camera video.

În anul 2004, Organizația Australiană de Știință și Tehnologie pentru Apărare (DSTO) a realizat dispozitivul de vedere cu axă modificată – Oavd (Off-Axis Viewing Device) pentru a reduce vulnerabilitatea trupelor australiene în operațiunile urbane din Irak. Dezvoltate în colaborare de către DSTO și BAE Systems Australia, primele 300 de unități au fost date spre folosire trupelor din Irak în martie 2005, la doar patru luni după lansarea proiectului. Din septembrie 2005, dispozitivul a fost utilizat și de către Forțele Speciale Australiene din Afganistan, iar armata acestei țări este astăzi foarte aproape de a face din Oavd un accesoriu standard pentru toate armele mici din dotare.



Fig. 2: Dispozitivul de vedere cu axă modificată Oavd (Australia)

Oavd cântărește aproximativ 500 g și măsoară 150 mm lungime, putând fi atașat aparatului optic de ochire al puștii de asalt F88 Steyr cal. 5,56 mm, dar și altor tipuri de armament automat. Două oglinzi ovale din interiorul dispozitivului Oavd reflectă imaginea de

la ocularul aparatului de ochire al armei către ochiul trăgătorului, acesta putând căuta țintele și efectua trageri asupra lor, timp în care capul și zona superioară a toracelui sunt menținute în spatele unei obstacol. Atunci când nu este nevoie de el, dispozitivul Oavd poate fi rotit în afara axului lunetei standard a armei.

### **9. Aparatele de ochire**

Probabil cea mai mare influență asupra preciziei tragerii, în afara antrenamentului trăgătorului, o au aparatele de ochire, iar acesta este un domeniu care a înregistrat schimbări considerabile în ultimii ani.

Inițial, armele de asalt aveau un sistem mecanic de ochire, format din înălțător și cătare. În ultimii ani, aparatele de ochire optice au devenit mai uzuale. Prima pușcă de asalt concepută pentru a putea folosi în mod standard un aparat optic de ochire a fost EM-2. Acesta era un aparat optic care nu mărea imaginea, sistemul de lentile având doar rolul de a suprapune reticulul cu imaginea ținte. Pentru a diminua minusul pe care îl reprezintă poziționarea aparatului de ochire deasupra țevii, firma producătoare l-a combinat cu un mâner pentru transport.

Prima armă care a intrat în serviciu cu un aparat de ochire optic standard a fost pușca de asalt austriacă Steyr AUG, urmată de arma britanică Enfield SA 80, cele două aparate având mărirea unghiulară de 1,5x, respectiv 4x.

Se știe că, cu cât mărirea unghiulară este mai mare, cu atât precizia tragerilor la distanțe mari este mai bună, dar scade câmpul vizual al aparatului, făcând mai dificilă prinderea unei ținte în obiectivul aparatului. Astfel a apărut un element alternativ la aparatele optice de ochire, și anume dispozitivele de marcarea a ținte cu „punct roșu”. Acestea utilizează ca sursă de energie o baterie ce permitea folosirea lor atât pe timp de zi cât și pe timp de noapte. Avantajul lor îl reprezintă faptul că trăgătorul poate ținti cu ambii ochi deschiși, menținând în același timp posibilitatea de a percepe întregul câmp vizual. Ele sunt foarte ușor de utilizat, dar nu sunt eficiente la distanțe mari.

Pușca de asalt germană HK G36 oferă posibilitatea montării atât a unui aparat de ochire telescopic, cât și a unui cu marcarea ținte, unul deasupra celuilalt.

De asemenea, aparatele optice pot fi suplimentate cu marcatoare laser, care proiectează și ele un fascicul concentrat de lumină asupra ținte.

În zilele noastre se utilizează și o serie de aparate de ochire pe timp de noapte, atât cu intensificator de imagine, cât și cu imagine termală, însă ele sunt în general destinate utilizării pentru scopuri speciale.

Toate indiciile duc către ideea că viitorul va aparține aparatului de ochire video. O cameră video montată pe pușca de asalt va transmite o imagine a ținte pe un display atașat căștii trăgătorului (suprapus cu viziera). Acest lucru va avea avantajul de a permite utilizatorului să tragă cu precizie din locuri acoperite, expunând focului advers numai arma și camera video montată pe aceasta; de asemenea, va avea posibilitatea de a regla mărirea imaginii în funcție de situația dată și capacitatea de vedere pe timp de noapte.

### **10. Sporirea fiabilității**

Fiabilitatea este unul dintre cele mai importante elemente ale unei puști militare și s-a dovedit, de-a lungul timpului, surprinzător de greu de atins. Condițiile de antrenament – efectuarea tragerilor de la o distanță prestabilită, cu timp suficient la dispoziție pentru curățarea ulterioară a armei – nu se întâlnesc de cele mai multe ori și în lupta reală, iar experiențele recente ale acțiunilor militare în deșert (mai ales în zonele cu un nisip foarte fin) au arătat cât de repede poate o armă să devină inoperativă dacă nu este îngrijită cu atenție. Posibile cauze ale fiabilității scăzute, cum ar fi muniția care dă rateu sau încărcătoarele defecte, nu sunt dependente de arma în sine, dar altele da.

Caracteristicile unei arme care să asigure o fiabilitate cât mai ridicată sunt: un mecanism motor de putere mare, care să poată asigura funcționarea chiar și atunci când este

influențat negativ de praf și mizerie; un închizător greu cu inerție mare, care ajută de asemenea la învingerea frecării; toleranțe mari între componentele dinamice ale mecanismelor, pentru ca mizeria depusă între ele să nu mărească peste limite forțele de frecare; un dizain care să prevină pătrunderea prafului și a altor impurități în mecanismele armei, pe cât de mult posibil, dar să faciliteze îndepărtarea acestuia, dacă totuși se depune; o construcție solidă/rigidă care să permită acțiuni mecanice dure fără afectarea funcționării armei.

Aceste caracteristici sunt deținute în mare măsură de pușca de asalt Kalașnikov AK-47 și de derivatele ei, lucru care a dus la o reputație legendară pentru menținerea capabilității de funcționare aproape indiferent de gradul de neglijență sau abuz al utilizatorului. Dezavantajul este o greutate mai mare a armei și o precizie ceva mai redusă decât aproape toate puștile vestice de calibru 5,56 mm. Trebuie avut însă în vedere că și o armă care ar putea fi, teoretic, mai puțin precisă și mai grea, este mai bună decât o armă care nu funcționează deloc.

Atingerea unei fiabilități ridicate rămâne un deziderat pentru toți constructorii de armament moderni.

### 11. Standardizarea

Cel puțin în cadrul N.A.T.O., standardizarea reprezintă un țel, începând cu concepția luptei și terminând cu sprijinul logistic.

Sistemele armă-muniție utilizate nu puteau face excepție. Domeniile de standardizare în cazul acestora sunt în primul rând muniția (calibru, tipul pulberii, greutatea, caracteristicile balistice), dimensiunile camerei de încărcare, aparatele de ochire, încărcătoarele, suportul de prindere a unor dispozitive auxiliare.

Problemele nu sunt încă definitivate în acest domeniu, existând mai multe grupuri de lucru N.A.T.O., în cadrul cărora experții încearcă să găsească răspunsurile optime la întrebările pe care standardizarea le ridică.

### Concluzii

Evoluția puștii de asalt s-a înregistrat de-a lungul timpului pe foarte multe direcții, generând multe soluții constructive pe întreaga planetă. Există o permanentă încercare de armonizare a inovațiilor cu costurile, a performanțelor cu fiabilitatea. Cu toate noutățile aduse de la muniții la materiale constructive, de la aparatura de ochire la construcția modulară, principalele caracteristici ale unei arme de asalt performante rămân simplitatea constructivă, fiabilitatea cât mai ridicată cu putință și, nu în ultimul rând, performanțele balistice. Dacă viitorul ne va rezerva încă pentru multă vreme arme bazate pe soluțiile constructive de astăzi sau vom avea parte de o schimbare radicală, asemănătoare filmelor SF, rămâne de văzut.

### Bibliografie

- [1] Anthony G. Williams, „Assault Rifles and Their Ammunition: History and Prospects”
- [2] Maxim Popenker & Anthony G. Williams, „Assault Rifle: The Development of The Modern Military Rifle and its Ammunition”
- [3] „Urban Warfare” în Complete Guide by Armada, nr. 4/2006
- [4] [www.quarry.nildram.co.uk/AssaultRifle.htm](http://www.quarry.nildram.co.uk/AssaultRifle.htm)
- [5] world.guns.ru
- [6] en.wikipedia.org

---

\* Lt. ing. drd. Piticari Ioan-Liviu, Academia Forțelor Terestre „Nicolae Bălcescu” Sibiu, e-mail: pitymika@gmail.com

\*\* Cpt. ing. drd. Barbu Mădălin, Centrul 183 Mentenanță Tehnică Specială, Sibiu, e-mail: madalinbarbu@yahoo.com

## MODELE CAVE PENTRU CONFEȚIONAREA FORMELOR DE TURNARE

Mihai Alin POP \*

*Abstract: Modelele actuale pentru formare sunt de regulă masive, grele și cu un consum mare de material și pot prezenta defecte de turnare (retasuri, suprafețe deplasate și imprecizie dimensională ș.a).*

*Dezavantajele și modul de obținere a modelelor din „ plastic „ masive cu o tehnologie de confecționare greoaie și cu un consum mare de materiale, necesită unele dispozitive ajutătoare, fiind posibilă confecționare doar în ateliere specializate – modelării adaptate variantei.*

*Se propune obținerea unor modele din rășini sintetice armate, tip coajă, cu grosimi adecvate mărimii piesei și a presiunilor de lucru la formare, modele ușoare, comod de obținut chiar în condiții artisanale.*

### 1. Materiale uzuale utilizate la confecționarea modelelor

Pentru realizarea pieselor turnate, aliajul lichid este introdus într-o cavitate care reproduce forma și cu anumite condiții dimensiunile pieselor ce trebuie obținute.

Suprafața exterioară a cavității formei se realizează cu un element tehnologic numit modelul piesei. Deși cu ajutorul modelului se obține configurația și dimensiunile piesei turnate, aceste modele au totuși dimensiunile și uneori forme diferite față de viitoarea piesă turnată.

#### 1.1 Materiale utilizate la confecționarea modelelor:

- **Modele din lemn**

Folosirea pe scară largă a lemnului ca material pentru modele se datorează faptului că: se procură ușor, este ieftin, are densitate mică și se prelucrează ușor manual sau mecanic.

- **Modele din ipsos și ciment**

Ca material ipsosul și cimentul se întâlnesc mai rar în turnătorie, fiind folosite în special pentru turnarea modelelor sau cutiilor de miez din aliaje metalice sau rășini sintetice.

Modelele din ciment ca și cele din ipsos sunt mai groase, mai grele și mai puțin rezistente în comparație cu modelele realizate din alte materiale și de aceea utilizarea lor este limitată numai la producția de serie mică.

- **Modele metalice**

Garniturile de model metalice sunt utilizate frecvent în cazul producțiilor de serie mare și de masă, când formarea este în mare parte mecanizată sau automatizată.

În acest caz complexitatea elementelor de bază cât și a celor auxiliare ale garniturii de model este mult mai mare. Sunt utilizate : oțelul, fonta, aliajele de cupru și mai ales aliajele din aluminiu.

Avantajul principal este că au o rezistență la uzură mare dar ca și dezavantaj faptul că sunt scumpe.

- **Modele din mase plastice (rășini sintetice) simple sau armate**

Pot înlocui aluminiul și alte metale care se prelucurează greu

Prezintă rezistență la uzură în anumite condiții mai mare decât modelele metalice

Modelele au o greutate redusă în comparație cu cele metalice

- **Modele pierdute**

- **Modele din polistiren (gazeificabile)**

Modelul din polistiren (volatil) reprezintă o copie aproape fidelă a piesei, care are în plus adaosuri de prelucrare și rețeaua de turnare. Turnarea se face fără extragerea modelului din formă (în formă plină), acestea se volatilizează pe măsură ce aliajul umple forma;

- **Modele din materiale ușor fuzibile**

Materiale utilizate pentru confecționarea modelelor ușor fuzibile sunt : stearină, parafină, colofoniu, ceară de turbă, polietilenă, cerezină, smoală dură, mercur ș.a

Aceste modele reproduc cu precizie viitoarea piesă turnată

## **2. Materiala moderne utilizate la confecționarea modelelor**

### **2.1 Rășini utilizabile**

Actual în turnătorii a avutși are loc o invazie a materialelor plastice cât și a rășinilor atât pentru confecționarea amestecurilor de formare performante cât și pentru obținerea unor modele de formare sau cutii de miez.

- **Rășini uzuale pentru amestecuri de formare clasice**

Lianții clasici nu satisfac totdeauna necesitățile de a obține piese cu pereți subțiri, cu suprafață curată și precizie dimensională mare. Astfel s-au fost folosit pe scară largă lianții organici-rășinile sintetice.

Rășinile asigură proprietăți mecanice superioare lianților clasici, asigură o precizie dimensională mare, aspect comercial mult superior comparativ cu lianții clasici fie ei anorganici sau organici iar dezbaterea se face cu un consum redus de lucru mecanic.

Deși aceste rășini sunt scumpe se folosesc în cantități mari în turnătorii deoarece per ansamblu se obțin piese turnate calitativ superioare, cu un procent de rebut foarte mic, deci la un cost mai mic.

Cele mai uzuale rășini sunt cele: fenol-formaldehidice, termoplastice, carbamidice, furanice poliuretanic, etc.



- **Rășini uzuale pentru confecționarea modelelor**

Din gama mare de materiale plastice pe care le produce industria chimică în construcția de modele se utilizează unele semifabricate laminate cât și rășini sintetice în stare lichidă sau sub formă de granule. Dintre aceste materiale se poate aminti policlorura de vinil (vinidur), diverse rășini epoxidice, rășini fotosensibile (lichide sau pulbere), etc.

*De ce nu modele cave?cu grosime mică dar rezistențe mecanice bune.*

Deoarece rezistența rășinii nu este suficientă pentru mărirea rezistenței se impun adăugarea de anumite inserții (materiale complementare).

Prin testările făcute s-a obținut un model cav (fig. 2.1 a, b) din rășina Norsodyne (rășină poliester ortoftalică preaccelerată) aplicată în 4 straturi și inserția din fibră de sticlă sub formă de țesătură cu o greutate de 500 g/m<sup>2</sup> într-un număr de 3 straturi.



Fig. 2.1 a : fotografie de sus



Fig. 2.1 b : fotografie din lateral

## 2.2 Posibilități de montare și utilizare ale acestor modele

- **Montajul modelului în canal practicat în placa portmodel figura 2.2**

Constă în practicarea unui canal în placa portmodel în care se vor fixa aripioarele de prindere a modelului „ tip bavură „, este o metodă greoaie, cu aplicații particulare

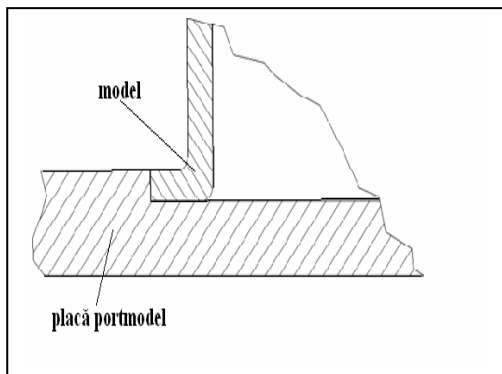


Fig. 2,2 : Canal practicat în placa portmodel

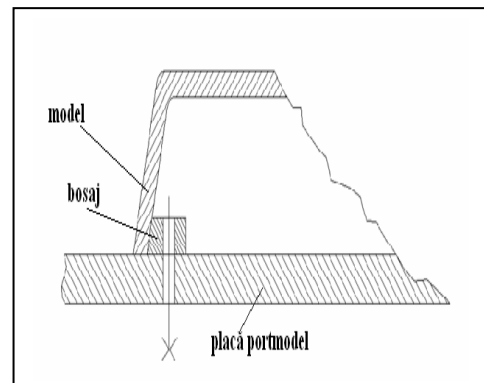
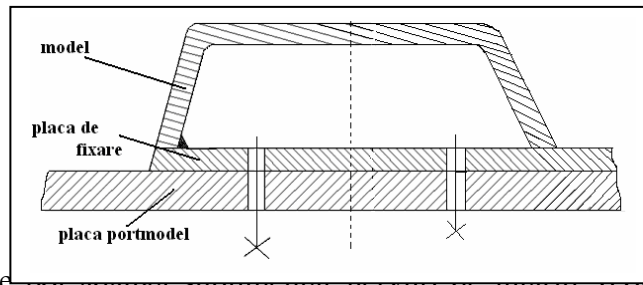


Fig. 2.3 : Bosaje lipite în interior

- **Fixarea modelului prin intermediul unor bosaje lipite în interior figura 2.3**
- **Lipirea modelului pe o placă din aceleași material (sau altul ce permite lipirea) figura 2.4**





În cazul modelelor mari se pot adăuga suplimentar nervuri de întărire (confeționate din același material ca și modelul) Fig. 2.4 a întărirea modelului pe placa portmodel de mod semnificativ figura 2.5

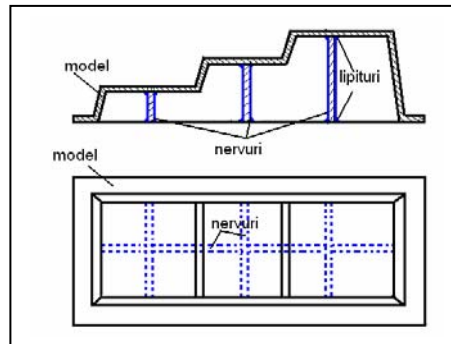


Fig. 2.5 : Întărirea modelelor cu ajutorul nervurilor

*Prin utilizarea modelelor coajă (tip coajă) în producția curentă de piese turnate se preconizează o reducere substanțială a timpilor de pregătire a fabricației, tocmai prin reducerea masivă a duratei de confeționare a modelelor. Se obțin totodată reduceri semnificative ale cantităților de materiale necesare confeționării modelelor.*

*Menționez din nou că tehnologia de obținere a modelelor de formare cave (tip coajă) este simplă, aplicabilă artizanal, fără utilaje specializate.*

## Bibliografie

- [1] Gh. Simionescu, C-tin Cernat, M. Pană : Ingineria Proceselor de Formare  
Editura Elvarom Bucuresti, 2000
- [2] Ștefănescu Florin, ș.a : Materiale compozite  
Editura Didactică și Pedagogică București – 1996
- [3] Aurel Iacobescu : Materiale si tehnologii moderne folosite in constructia structurii de rezistenta a motoarelor racheta cu combustibil solid  
<http://www.actrus.ro>
- [4] Pop M. A. : Metode noi de proiectare și execuție a garniturilor de model.  
Materiale noi utilizabile. Contribuții originale  
Universitatea "Transilvania" Brașov

\* Pop, Mihai Alin, drd. ing, Facultatea: Știința și Ingineria Materialelor - Universitatea "Transilvania" Brașov, [alinpma@yahoo.com](mailto:alinpma@yahoo.com)

## CARACTERISTICI FIZICO-TEHNICE ALE MATERIALELOR COMPOZITE UTILIZATE LA CONFEȚIONAREA MODELELOR CAVE

Mihai Alin POP \*

*Abstract: Obținerea de noi tehnologii și materiale a reprezentat din totdeauna o necesitate determinantă de evoluția dinamică pentru producția de bunuri materiale.*

*Printre materialele noi cu răspândire din ce în ce mai largă în multe domenii de activitate sunt și materialele compozite. Acestea sunt amestecuri de două sau mai multe componente ale căror proprietăți se completează reciproc rezultând un material cu proprietăți superioare față de cele inițial folosite.*

*Materialele compozite pot fi folosite printre altele și pentru obținerea unor modele cave (tip coajă) necesare pentru confecționarea formelor de turnare.*

### 1. Materiale compozite utilizate la confecționarea modelelor cave

Pentru obținerea materialelor compozite necesare confecționării modelelor cave de formare, pot fi utilizate printre altele următoarele materiale:

#### **a) rășini sintetice**

- rășină Norsodyne - este o rășină poliester ortoftalică standard de uz general; are o transparență bună și are proprietăți de autoîntărire cu sau fără întăritor.
- rășină Sirca - este o rășină izoftalică de uz general are proprietăți de autoîntărire cu sau fără întăritor.

#### **b) inserții (materiale complementare)**

- fibră de sticlă tip țesătură - greutate 500 g/m<sup>2</sup>
- fibră de sticlă tip stratimat - greutate 300 g/m<sup>2</sup>
- fibră de sticlă tip plasă - greutate 125 g/m<sup>2</sup>

#### **c) întăritor - octoat de cobalt 1%**

#### **d) demulant - ceară Finish Kare 333MR - ceară de extracție de uz general**

#### **e) materiale diverse**

- diluant nitro D 209
- pensule, hârtie abrazivă și alte ustensile.

Nu s-au putut obține toate caracteristicile materialelor, acestea nefiind puse la dispoziție de fabricant constituind secrete de serviciu, care dă numai unele indicații generale.

Pentru rășinile poliesterice (narmate) caracteristicile principale sunt date în tabelul 1.1

Tabelul 1.1

Proprietatea	U.M.	Tipul rășinii	
		Rigidă	Flexibilă
Proprietăți mecanice: - greutate specifică - rezistență la compresiune - alungire - rezistență la tracțiune - rezistență la șoc - indice de refracție	MPa % MPa J/m	1,10 - 1,46 90 - 200 < 5 40 - 90 16 - 32 1,523 - 1,57	1,01 - 1,2 - 40-310 3,4 - 21 > 370 1,537 - 1,55
Proprietăți electrice: - rezistivitate volumică - constantă dielectrică la: - 60 Hz - 103 Hz - 106 Hz	$\Omega\text{cm}$	$10^{15}$ 3,0 - 4,36 2,8 - 5,2 2,8 - 4,1	4,4 - 8,1 4,5 - 7,1 4,1 - 5,9
Caracteristici de rezistență: - rezistență termică - absorbția de apă (în 24 h ) la o grosime de 3,1 mm - efectul luminii solare	$^{\circ}\text{C}$ %	121 0,15 - 0,6 îngălbenire	121 0,5 - 2,5 îngălbenire

S-au făcut încercări prin variația numărului de straturi de armatură și rășină astfel :  
- rășină Norsodyne cu armatură tip Stratimat (3, 5, 7 straturi de armatură) figura 1.1  
- rășină Sirca cu armatură tip Țesătură (3, 5, 7 straturi de armatură) figura 1.2

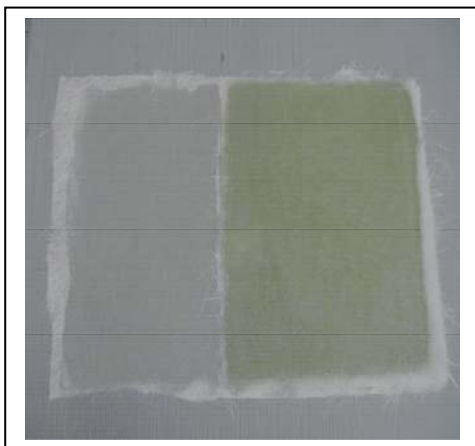


Fig. 1.1: Placă cu 3 straturi (stânga) și 7 straturi (dreapta)



Fig. 1.2 : Placă cu 3 straturi (stânga) și 7 straturi (dreapta)

- rășină Sirca cu armătură tip Plasă (3, 5, 7 straturi de armătură)

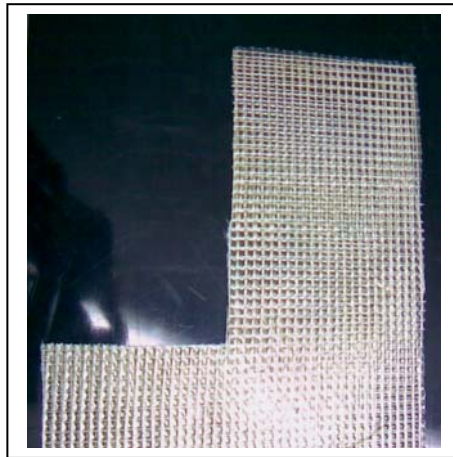


Fig. 1.3 : Placă cu 7 straturi

La fiecare variantă după o analiză macroscopică au fost determinate : rezistența la tracțiune, rezistența la încovoiere, rezistența la șoc și încercarea de duritate.

Rezultatele cele mai bune au fost obținute pentru materialul compozit alcătuit din componentele: - rășină Sirca, armătură tip Țesătură într-un număr de 5 straturi

Rezultatele pentru această variantă de material compozit sunt prezentate în tabelul 1.2 și graficul din figura 1.4

Tabelul 1.2

Caracteristici / Nr. de straturi	UM	3	5	7
Rezistența la tracțiune	N/mm <sup>2</sup>	238	293	215
Rezistența la încovoiere	N/mm <sup>2</sup>	157	163	159
Rezistența la șoc	KCU	17/2	18/2	17/2
Duritate	HB	41	45	44

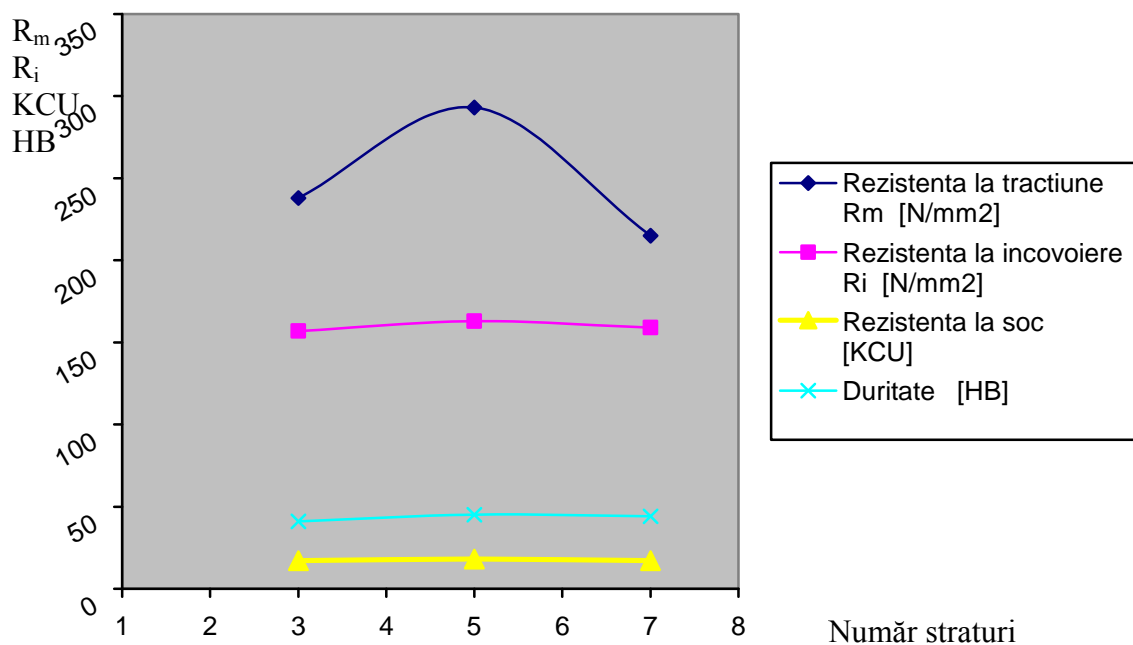


Fig. 1.4 : Rezultatele pentru varianta optimă de model cav

Aceste probe fizico-tehnice au fost efectuate pentru toate tipurile de composite realizate. Toate încercările s-au făcut pe epruvete conform STAS-urilor aflate în vigoare. Din acest material compozit s-au confecționat 2 (două) modele cave care corespund cerințelor formării.

## **Bibliografie**

- [1] Gh. Simionescu, C-tin Cernat, M. Pană : Ingineria Proceselor de Formare  
Editura Elvarom Bucuresti, 2000
- [2] Ștefănescu Florin, ș.a : Materiale compozite  
Editura Didactică și Pedagogică București – 1996
- [3] Aurel Iacobescu : Materiale si tehnologii moderne folosite in constructia structurii de rezistenta a motoarelor racheta cu combustibil solid  
<http://www.actrus.ro>
- [4] Pop M. A. : Metode noi de proiectare și execuție a garniturilor de model.  
Materiale noi utilizabile. Contribuții originale  
Universitatea "Transilvania" Brașov

---

\* Pop, Mihai Alin, drd. ing, Facultatea: Știința și Ingineria Materialelor - Universitatea "Transilvania" Brașov, [alinpma@yahoo.com](mailto:alinpma@yahoo.com)

## METODE DE CALCUL UTILIZATE IN SIMULARE CU AJUTORUL PROGRAMULUI SIMULINK

Luminița I. POPA<sup>1</sup>

### ABSTRACT

*Modelul elementului finit pentru mașinile electrice este realizat prin combinarea ecuațiilor câmpului magnetic cu ecuațiile de tensiune ale bobinelor și este cuplat cu ecuațiile circuitului extern utilizând fiecare cuplarea indirectă non-iterativă sau cuplarea directă.*

*În modelul mașinii electrice, câmpul magnetic în miezul de fier, înfășurări și în întrefier este rezolvat prin metoda elementului finit bidimensional și cuplat cu ecuațiile de tensiune ale înfășurărilor rotorului și statorului. Ecuațiile rezultate sunt rezolvate printr-o abordare eșalonată în timp, în timp ce iterația Newton-Raphson este utilizată pentru lucrul cu non-linearități.*

### 1. Modelul elementului finit pentru mașinile electrice

#### 1.1 Ecuațiile înfășurărilor și câmpului magnetic

##### Câmpul magnetic cvasi-static bidimensional.

Câmpul magnetic într-o mașină electrică este dirijat de ecuațiile lui Maxwell.

$$\nabla_{\mathbf{x}} H = J \quad (1)$$

$$\nabla_{\mathbf{x}} E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$$

unde:

H este intensitatea câmpului magnetic

J este densitatea curentului

E este intensitatea câmpului electric

B densitatea fluxului magnetic

Se presupune că polarizarea și deplasarea curenților sunt neglijabile din cauza frecvențelor joase folosite în mașinile electrice. De aceea aceste componente sunt omise din ecuația 1 și analiza se referă la un regim cvasi-static. Folosind reluctanța specifică  $\nu$ , avem ecuațiile materialului:

$$H = \nu B \quad (3)$$

unde  $\nu$  este dependent de material, fiind o posibilă funcție non-lineară a câmpului magnetic.

Dacă materialul nu este izotrop,  $\nu$  trebuie înlocuit de către un tensor luând în considerație efectul magnetizării directe. Vectorul potențial magnetic A definește densitatea fluxului magnetic astfel:

$$B = \nabla_{\mathbf{x}} \mathbf{A} \quad (4)$$

și substituția ecuației (4) și (3) în (1) ne dă ecuația fundamentală a calculului vectorului potențial pentru câmpul magnetic

$$\nabla_{\mathbf{x}}(\nabla_{\mathbf{x}}A) = J \quad (5)$$

Modelul bidimensional este bazat pe presupunerea că vectorul potențial magnetic și densitatea de curent au numai componente pe axa z și valoarea lor este determinată în planul xy.

$$A = A(x, y)e_z \quad (6)$$

$$J = J(x, y)e_z \quad (7)$$

unde  $e_z$  semnifică vectorul unitate pe direcția axei z. În consecință (2.5) devine

$$-\nabla \cdot (\nabla A) = J \quad (8)$$

### 1.2 Generatorul de câmp

Cu toate că este utilizată analiza bidimensională, să luăm în considerare un caz general. Densitatea de curent membrul drept al ecuației (5) poate fi determinat din ecuația materialului:

$$J = \sigma E \quad (9)$$

unde  $\sigma$  este conductivitatea. Combinând (2.2) cu (2.4) se obține:

$$\nabla_{\mathbf{x}}E = -\frac{\partial}{\partial t}\nabla_{\mathbf{x}}A \quad (10)$$

care este satisfăcută prin definirea densității de curent astfel:

$$J = -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \sigma \nabla \phi \quad (11)$$

unde  $\phi$  este potențialul scalar electric.

Pentru conductori solizi pe direcția axială, de exemplu blocul rotor din carcasa mașinii de inducție sau a mașinii sincrone, gradientul potențialului scalar electric în (11) poate fi definit ca

$$\nabla \phi = \frac{\partial u_b}{\partial z} e_z = -\frac{u_b}{l_b} e_z \quad (12)$$

Unde  $u_b$  semnifică tensiunea de-a lungul secțiunii rotorului și  $l_b$  este lungimea totală a blocului rotor. Conform acesteia, densitatea curentului în blocul rotor este:

$$J_b = -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \sigma \frac{u_b}{l_b} \quad (13)$$

Pentru înfășurările de fază cu câteva bobine în serie, abordarea de tip curent turbionar (11) ne-ar putea conduce spre modele extrem de inconveniente din cauza numărului mare de conductori subțiri din fiecare fantă. În astfel de cazuri efectul de peliculă este exclus și densitatea de curent este:

$$J_w = \frac{N_w i_w}{S_w} \quad (14)$$

unde  $N_w$  este numărul de spire în bobină,  $i_w$  este curentul în bobină și  $S_w$  este secțiunea transversală a suprafeței bobinei.

### 1.2 Proprietățile materialului



Proprietățile magnetice ale miezului de fier laminat sunt modelate de reluctanța ,  $\nu$  care este o funcție nonlineară cu o singură valoare a densității de flux  $B$ , ceea ce determină excluderea histerezisului magnetic din analiză. Întrucât curenții turbionari sunt reduși foarte mult de structura laminată, conductivitatea este stabilită la zero în miezul de fier laminat.

Axul și polii în formă de pantof (shaft and pole shoes), care de obicei sunt făcute aliaj de oțel, sunt modelate ca o bucată de fier conductibil cu o curbă de magnetizare nonlineară. Pentru a modela curenții învârtitori, densitatea de curent este dată de (2.11) unde gradientul potențialului scalar electric este zero. Ca o consecință a analizei anterioare, câmpul magnetic în diferite materiale poate fi prezentat în forma următoare

$$-\nabla \cdot (\nu \nabla A) = \begin{cases} 0 & \text{în aer și în fierul laminat} \\ \frac{N_w i_w}{S_w} & \text{în înfășurările fazate} \\ -\sigma \frac{\partial}{\partial t} A + \sigma \frac{u_b}{l_b} & \text{în barele rotorice} \\ -\sigma \frac{\partial}{\partial t} A & \text{în fier} \end{cases} \quad (15)$$

### 1.3 Înfășurările rotorice și statorice

Modelul de calcul al mașinii electrice poate fi îmbunătățit foarte mult prin cuplarea ecuațiilor de circuit ale înfășurărilor rotorice și statorice cu ecuațiile câmpului bidimensional (15). În ecuațiile circuitului, dependența dintre curent și tensiune este rezolvată și mărimile specifice ale circuitului sunt cuplate cu câmpul magnetic prin intermediul legăturilor de flux. De asemenea, bobinele care se găsesc în afara zonei miezului sunt modelate prin includerea unei inductanțe în modelul circuitului. În carcasa rotorului, fiecare secțiune are propria ecuație. Integrarea densității într-o secțiune a rotorului (13) peste propria secțiune transversală  $S_b$  produce

$$i_b = -\int_{S_b} \sigma \frac{\partial A}{\partial t} dS + \int_{S_b} \sigma \frac{u_b}{l_b} dS \quad (16)$$

Când conductivitatea constantă  $\sigma$  și aria secțiunii uniform transversale  $S_b$  sunt considerate că există în secțiune și inductanța secțiunii terminale  $L_{be}$  este inclusă, ecuația de mai sus poate fi prezentată astfel:

$$u_b = l_b \int_{S_b} \frac{\partial A}{\partial t} dS + R_b i_b + L_{be} \frac{di_b}{dt} \quad (17)$$

unde  $R_b$  semnifică rezistența secțiunii incluse în zona terminală. Toate secțiunile rotorului sunt conectate printr-un inel în scurt circuit legat la ambele capete ale miezului rotoric. Aceasta este luată în considerare prin definirea rezistenței la inelul de capăt  $R_{sc}$  și a inductanței la inelul de capăt  $L_{sc}$ .

$$u_{sc} = R_{sc} i_{sc} + L_{sc} \frac{di_{sc}}{dt} \quad (18)$$

Unde  $u_{sc}$  and  $i_{sc}$  sunt vectori de tensiune și curent în inelului de capăt care conectează secțiunile (barele) una cu alta.

Înfășurările de fază din rotor sau stator constau din mai multe bobine conectate în serie și distribuite în câteva fante în miezul rotorului sau statorului. Când numărul părților bobinelor orientate pozitiv este  $N_{\text{poz}}$  și numărul părților bobinelor orientate negativ este  $N_{\text{neg}}$ , integrarea densității de curent prin toate porțiunile bobinei într-o înfășurare de fază generează o ecuație de tensiune:

$$u_w = l_w \left[ \sum_{n=1}^{N_{\text{poz}}} \frac{N_{wn}}{S_{wn}} \int_{S_{wn}} \frac{\partial A}{\partial t} dS - \sum_{n=1}^{N_{\text{neg}}} \frac{N_{wn}}{S_{wn}} \int_{S_{wn}} \frac{\partial A}{\partial t} dS \right] + R_w i_w + L_{we} \frac{di_w}{dt} \quad (19)$$

Unde  $l_w$  este lungimea bobinei în zona miezului,  $N_{wn}$  este numărul de spire într-o porțiune a bobinei  $n$  și  $S_{wn}$  este zona secțiunii transversale a unei părți a bobinei  $n$ . Tensiune  $u_w$  se aplică la întreaga înfășurare și curentul  $i_w$  trece prin toate bobinele care aparțin înfășurărilor de fază.

Rezistența  $R_w$  include toate bobinele și zonele terminale din afara miezului de fier.  $L_{we}$  este inductanța din afara zonei miezului.

#### 1.4 Metoda elementului finit

Pentru a găsi o soluție numerică a ecuațiilor câmpului magnetic (15), se pot utiliza mai multe metode diferite precum: rețelele de reluctanță, metoda elementului de margine, metoda diferenței finite sau metoda elementului finit. În acest referat analiza numerică este bazată pe metoda elementului finit (MEF). Reprezentare geometrică bidimensională este acoperită de către o suprafață a elementului finit (*finite element mesh*, care este compusă din elemente triunghiulare de ordinul unu și de ordinul doi. Dacă este posibil, secțiune transversală a mașinii electrice este divizată în  $\gamma$  sectoare de simetrie, din care numai unul este modelat de MEF și constrângerile de simetrie sunt setate printr-o margine periodică. În metoda elementului finit, aproximarea vectorului potențial este:

$$A = \sum_{j=1}^{N_n} \lambda_j a_j \quad (20)$$

Unde  $N_n$  este numărul total de noduri libere în suprafața elementului finit,  $\lambda_j$  este funcția de reprezentare a formei (shape function) asociată cu nodul  $j$  și  $a_j$  este vectorul potențial magnetic în nodul  $j$ . Pentru nodurile localizate pe suprafața exterioară a statorului, valoarea vectorului potențial este fixată la zero. De aceea aceste noduri nu sunt incluse în calcule.

Funcția de reprezentare a formei (shape function)  $\lambda_j$  are valoarea 1 în nodul  $j$  și zero în toate celelalte noduri. Între nodurile dispuse în elementele înconjurătoare, funcția de reprezentare a formei este ajustată de către polinoamele de ordinul unu sau doi, depinzând de ordinea elementelor.

În afara elementelor asociate, valoarea unei singure funcții de reprezentare a formei este zero. Ecuația câmpului numeric este derivată de către metoda lui Galerkin, unde (15) este multiplicat de către funcția de reprezentare a formei și integrat în toate suprafețele elementului finit. Pentru nodul  $i$ , obținem:

$$\int_{\Omega} \left[ \sum_{j=1}^{N_n} \left( \nabla \lambda_i \cdot \nabla \lambda_j a_j + \sigma \lambda_i \lambda_j \frac{\partial a_j}{\partial t} \right) - \sigma \lambda_i u_b - \lambda_i \frac{N_w i_w}{S_w} \right] d\Omega = 0 \quad (21)$$

Unde  $\Omega$  reprezintă întreaga arie a suprafeței elementului finit. Trebuie observat că, oricum, ultimii trei termeni ai formulei (21) sunt prezenți numai în zonele unde  $\sigma$ ,  $u_b$  sau  $i_w$  este definit și are valori diferite de zero.

Această aproximare (20) este aplicată ecuațiilor înfășurării (19) și (20). Ecuațiile rezultate sunt:

$$u_b = l_b \int_{\Omega} \left[ \sum_{j=1}^{N_n} \lambda_j \frac{\partial a_j}{\partial t} dS + R_b i_b + L_{be} \frac{di_b}{dt} \right] \quad (22)$$

$$u_w = l_w \sum_{j=1}^{N_n} \left( \sum_{n=1}^{N_{pos}} \frac{N_{wn}}{S_{wn}} \int_{S_{wn}} \frac{\partial a_j}{\partial t} dS - \sum_{n=1}^{N_{neg}} \frac{N_{wn}}{S_{wn}} \int_{S_{wn}} \frac{\partial a_j}{\partial t} dS \right) + R_w i_w + L_{we} \frac{di_w}{dt} \quad (23)$$

unde  $\gamma$  este numărul sectoarelor de simetrie în suprafața elementului finit.

## 2 Simularea eșalonată în timp tranzitorie

### 2.1 Integrarea numerică

Ecuțiile înfășurării și câmpului sunt cuplate direct și rezolvate în domeniul timp utilizând intervale constante de timp reprezentate de  $\Delta t$ .

Derivatele de timp sunt modelate prin aproximare trapezoidală în care derivata este determinată ca o valoare medie începând cu doi trepte succesive. Când  $x^k$  reprezintă orice variabilă și  $x^{k-1}$  este aceeași variabilă ca la treapta anterioară, derivatele sunt approximate de:

$$\frac{dx^k}{dt} + \frac{dx^{k-1}}{dt} \approx \frac{2}{\Delta t} (x^k - x^{k-1}) \quad (24)$$

Ecuțiile simulării eșalonate în timp sunt derivate prin adăugarea de ecuații de la două trepte succesive luate împreună și prin înlocuirea derivatelor cu expresia (24). Metoda în sine este foarte simplă, și nu este necesar să utilizăm metode mai sofisticate atâta timp cât nu au avut loc probleme de precizie sau convergență.

Folosind acest mod de lucru ecuațiile de câmp (21) sunt formulate pentru fiecare nod din suprafața elementului finit, ecuațiile blocului rotor (22) sunt formulate pentru fiecare bloc rotor în sectorul alocat soluțiilor și ecuațiile înfășurărilor de fază sunt formulate pentru fiecare înfășurare de fază în stator sau rotor.

$$r_f = S a^k + F_b^T u_b^k + F_{ws}^T K_{ws}^T i_{ws}^k + F_{wr}^T K_{wr}^T i_{wr}^k + S_0 a^{k-1} + F_b^T u_b^{k-1} + F_{ws}^T K_{ws}^T i_{ws}^{k-1} + F_{wr}^T K_{wr}^T i_{wr}^{k-1} = 0 \quad (25)$$

$$r_b = F_b a^k + B u_b^k - F_b a^{k-1} + B u_b^{k-1} + Q_{b0} i_b^{k-1} = 0 \quad (26)$$

$$r_{ws} = K_{ws} F_{ws} a^k + K_{ws} W_s K_{ws}^T i_{ws}^k + Q_{ws} v_{ws}^k - K_{ws} F_{ws} a^{k-1} + K_{ws} W_{s0} K_{ws}^T i_{ws}^{k-1} + Q_{ws} v_{ws}^{k-1} = 0 \quad (27)$$

$$r_{wr} = K_{wr} F_{wr} a^k + K_{wr} W_r K_{wr}^T i_{wr}^k + Q_{wr} v_{wr}^k - K_{wr} F_{wr} a^{k-1} + K_{wr} W_{r0} K_{wr}^T i_{wr}^{k-1} + Q_{wr} v_{wr}^{k-1} = 0 \quad (28)$$

Unde  $a$  este un vector conținând valorile nodale ale vectorului potențial magnetic,  $u_b$  un vector al tensiunilor electrice din blocul rotor,  $i_{wr}$  un vector al curenților de fază statorici și  $i_{ws}$  un vector al curenților de fază rotorici. În general, indicele 'f' se referă la câmpul magnetic, 'b' la blocul rotor, 'ws' la înfășurările de fază statorice și 'wr' la înfășurările de fază rotorice. Exponenții  $k$  și  $k-1$  se refer la curent și respective la treptele anterioare de timp. Matricele coeficienților  $S$  și  $S_0$  sunt funcții nonlineare ale vectorului potențial, definite astfel:

$$S_{ij} = \int_{\Omega} \left[ v(a^k) \nabla \lambda_i \cdot \nabla \lambda_j + \frac{2\sigma}{\Delta t} \lambda_i \lambda_j \right] d\Omega \quad (29)$$

$$S_{0ij} = \int_{\Omega} \left[ v(a^{k-1}) \nabla \lambda_i \cdot \nabla \lambda_j - \frac{2\sigma}{\Delta t} \lambda_i \lambda_j \right] d\Omega \quad (30)$$

unde reluctanța  $v(\mathbf{a})$  este determinată de vectorul potential separat pentru fiecare element, depinzând de material și de densitatea fluxului. Conductivitatea  $\sigma$  are valoarea diferită de zero numai în blocul rotor și în ax. Dimensiunile lui  $\mathbf{S}$  și  $\mathbf{S}_0$  sunt  $N_n \times N_n$ , unde  $N_n$  este numărul noduri libere în analiza elementului finit. Pentru blocul rotor, matricea  $\mathbf{F}_b$  este definită ca:

$$F_{b,ij} = -\frac{1}{l_b} \int_{\Omega} \sigma \lambda_i d\Omega \quad (31)$$

Unde nodul  $j$  aparține blocului rotor  $i$ . Altfel, intrările  $\mathbf{F}_b$  sunt zero. Dimensiunea lui  $\mathbf{F}_b$

este  $n_b \times N_n$ , unde  $n_b$  este numărul de bare rotorice în sectorul soluțiilor. Matricele  $\mathbf{B}$  și  $\mathbf{Q}_{b0}$  sunt:

$$B = \frac{\Delta t}{2l_b R_b} \left\{ 1 + \frac{R_b}{2} \left[ R_{SC} + 2 \frac{L_{SC}}{\Delta t} 1 + \left( R_{be} + 2 \frac{L_{be}}{\Delta t} M_b \right) M_b \right]^{-1} + M_b \right\} \quad (32)$$

$$Q_{b0} = \frac{\Delta t}{2l_b} 1 - \frac{\Delta t}{2l_b} \left[ \left( R_{SC} + 2 \frac{L_{SC}}{\Delta t} \right) 1 + \left( R_{be} + 2 \frac{L_{be}}{\Delta t} M_b \right) \right]^{-1} \cdot \left[ \left( R_{SC} - 2 \frac{L_{SC}}{\Delta t} \right) 1 + \left( R_{be} - 2 \frac{L_{be}}{\Delta t} M_b \right) \right] \quad (33)$$

unde  $R_{sc}$  și  $L_{sc}$  sunt rezistența și inductanța între barele rotorice adiacente din inelul în scurtcircuit și, respectiv,  $R_{be}$  și  $L_{be}$  sunt rezistența și inductanța capătului de bară care se găsește la exteriorul miezului de fier. Matricea unitate este reprezentată de  $\mathbf{1}$  matricea de conexiune  $\mathbf{M}_b$  este:

$$M_b = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \dots & 0 & \pm 1 \\ -1 & -1 & -1 \dots & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \dots & 2 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \dots & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (34)$$

cu dimensiunea  $n_b \times n_b$ . Intrările în colțul din dreapta sus și colțul din stânga jos sunt 1 pentru constrângerile de simetrie negative și -1 pentru constrângerile de simetrie pozitive în suprafața elementului finit. Curentul barei rotorice  $i_b^k$  este determinat după soluția câmpului din:

$$i_b^k = - \left[ \left( R_{SC} + 2 \frac{L_{SC}}{\Delta t} \right) 1 + \left( R_{be} + 2 \frac{L_{be}}{\Delta t} M_b \right) \right]^{-1} \cdot \left\{ \frac{1}{2} M_b (u_b^k + u_b^{k-1}) + \left[ \left( R_{SC} - 2 \frac{L_{SC}}{\Delta t} \right) 1 + \left( R_{be} + 2 \frac{L_{be}}{\Delta t} M_b \right) \right] i_b^{k-1} \right\} \quad (35)$$

Pentru înfășurările de fază în stator sau rotor  $\mathbf{F}_w$  este definit ca:

$$F_{w,ij} = - \int_{\Omega} \lambda_j d\Omega \quad (36)$$

Unde nodul  $j$  aparține înfășurărilor de fază contrare  $i$  și zero.

Dimensiunea lui  $\mathbf{F}_w$  este  $n_w \times N_n$ , unde  $n_w$  este numărul de faze. În conexiunea în stea, matricea de conexiune  $\mathbf{K}_w$  este:

$$K_w = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \dots 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \dots 0 & -1 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \dots \mathbf{0} & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \dots \mathbf{1} & -1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

și  $M_w$  este:

$$K_w = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \dots 1 & \mathbf{0} \\ 0 & 1 & 1 \dots 1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \dots \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \dots \mathbf{1} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (38)$$

cu dimensiunea  $n_w - 1 \times n_w$  pentru amândouă. În conexiunea delta, ambele  $K_w$  și  $M_w$  sunt matrice unitate cu dimensiunea  $n_w \times n_w$ .

Matricile  $W$ ,  $W_0$  și  $Q_w$  sunt:

$$W_{ii} = -\frac{R_{w,i} \Delta t + 2L_{we,i}}{2\gamma_w} \quad (39)$$

$$W_{0,ii} = -\frac{R_{w,i} \Delta t - 2L_{we,i}}{2\gamma_w} \quad (40)$$

$$Q_w = \frac{\Delta t}{2\gamma_w} M_w \quad (41)$$

$W$  și  $W_0$  sunt matricile diagonale cu dimensiunile  $n_w \times n_w$ .

Vectorul legăturilor fluxului magnetic  $\psi_k$  în înfășurările de fază poate fi determinat din soluțiile de câmp prin:

$$\psi_w^k = \gamma_w F_w a^k \quad (42)$$

Trebuie notat că determinarea curenților depinde de conexiune. În conexiunea tip stea, vectorul curenți  $i_w$  conține  $n_w - 1$  curenți de linie independenți și ultimul component este determinat din legile lui Kirchhoff, deoarece suma curenților trebuie să fie zero. În conexiunea tip delta, elementele lui  $i_w$  sunt curenții în înfășurările de fază, care sunt diferite de curenții de linie. Elementele vectorului de tensiune electrică  $v_w$  sunt întotdeauna tensiuni electrice de tip linie -linie.

## 2.2 Soluții iterative nonliniare

Datorită caracteristicilor miezului de fier, ecuațiile (25)–(28) formează un sistem nonlinear de ecuații care este rezolvat prin abordarea iterativă Newton–Raphson. Soluția este bazată pe Jacobian și pe reziduuri, care sunt determinate de fiecare pas al iterației și folosite pentru rezolvarea schimbărilor incrementale în variabile. Iterația este încheiată când creșterile în variabilele simulate la fiecare pas al iterației încep să scadă sub limita de convergență.

Rezultând din etapele descrise anterior, sistemul final de ecuații pentru simularea nonlineară eșalonată în timp a mașinii electrice este:

$$\begin{bmatrix} J(a^{k,n}) & F_b^T & F_{ws}^T K_{ws}^T & F_{wr}^T K_{wr}^T \\ F_b & B & 0 & 0 \\ K_{ws} F_{ws} & 0 & K_{ws} W_s K_{ws}^T & 0 \\ K_{wr} F_{wr} & 0 & 0 & K_{wr} W_r K_{wr}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a^{k,n} \\ \Delta u_b^{k,n} \\ \Delta i_{ws}^{k,n} \\ \Delta i_{wr}^{k,n} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} r_f^n \\ r_b^n \\ r_{ws}^n \\ r_{wr}^n \end{bmatrix} \quad (43)$$

unde exponentul  $n$  exprimă pasul iterației. Jacobianul  $J(a)$  este definit la fiecare pas al iterației prin:

$$J_{ij} = S_{ij} + \int_{\Omega} \sum_{k=1}^{N_n} \left( \frac{\partial v(a^{k,n})}{\partial a_j} \nabla \lambda_i \cdot \nabla \lambda_k \right) d\Omega \quad (44)$$

și funcțiile reziduale sunt determinate de (26)–(28) folosind valorile de la pasul nr.  $N$  al iterației.

### 2.3 Mișcarea și cuplul electromagnetic

În afară de cazul când presupunem că avem o viteză constantă, mișcarea rotorului în decursul perioadelor de timp este rezolvată din ecuațiile de mișcare:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_e - T_L \quad (45)$$

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \quad (46)$$

unde  $J$  este momentul de inerție,  $\omega_m$  este viteza unghiulară și  $\theta_m$  este poziția unghiulară a rotorului,  $T_e$  este cuplul electromagnetic și  $T_L$  este cuplul de sarcină.

Noua poziție a rotorului este determinată de începutul fiecărei perioade de timp și suprafața nouă este creată în golul de aer. (air gap).

Cuplul electromagnetic este determinat de principiul lucrului virtual:

$$T_e = \frac{\partial}{\partial \theta_m} \int_{\Omega} \left( \int_0^H B \cdot dH \right) d\Omega \quad (47)$$

unde zona de integrare  $\Omega$  acoperă golul de aer. Implementarea analizei elementului finit decurge din abordarea lui Coulomb (1983), în care mișcarea virtuală este determinată cu ajutorul unei matrice de transformare a coordonatelor fără modificarea suprafeței golului de aer.

### 2.4 Starea inițială

Câmpul magnetic inițial pentru simularea distribuită în timp este determinat de o analiză în timp armonică complexă. Sursele și variabilele simulării sunt determinate de componentele armonice sinusoidale, în timp ce pentru variabile se folosește o notație complexă cu amplitudine și fază. Soluția rezultată a câmpului de curent alternativ este transformată în câmp de curent continuu prin luarea valorilor reale ale variabilelor și înlocuirea reluctanței efective cu reluctanța absolută. Cu toate acestea, soluția câmpului

obținut nu corespunde exact cu câmpul real inițial, dar o situație constantă poate fi atinsă în mod uzual după simularea câtorva perioade al frecvenței sursei.

Toate informațiile despre suprafața elementului finit, materialele și câmpul magnetic sunt stocate într-un fișier text. Fișierul conține coordonatele nodurilor, asocierea dintre noduri și elemente, caracteristicile materialului, valorile vectorului potențial și densitatea de curent, dimensiunile și parametrii mașinilor electrice și alți parametri ceruți de calculația MEF.

## 2.5 Concluzii

În această lucrare au fost prezentate metodele de calcul pentru modelarea și simularea mașinilor electrice și a circuitelor externe. Câmpul magnetic în mașina electrică este modelat cu ajutorul MEF bidimensionale și rezolvate împreună cu ecuațiile de circuit ale înfășurărilor. Modelul circuitului extern este cuplat cu modelul mașinii electrice fie direct, când toate ecuațiile sunt rezolvate simultan într-un sistem comun de ecuații, fie indirect în SIMULINK, folosind abordarea “ieșirii de curent” sau abordarea ”parametrului circuitului”.

În abordarea “ieșirii de curent”, curenții de fază ai mașinii electrice sunt rezolvați împreună cu câmpul magnetic, când sursa de tensiune este dată de intrări. În abordarea ”parametrului circuitului”, mașina electrică este caracterizată de forța electromotoare, inductanța dinamică, și rezistență, care sunt rezolvate de MEF la fiecare interval de timp pentru o sursă de tensiune dată. Ambele abordări sunt implementate ca funcții-S reprezentând blocuri funcționale în SIMULINK.

În următoarele capitole, metodele sunt aplicate la diferite studii de caz referitoare la mașinile electrice, circuite și sisteme de control. Rezultatele simulării obținute prin diferite metode sunt comparate unele cu altele pentru a trage concluziile referitoare la precizia și aplicabilitatea lor în diferite cazuri.

## BIBLIOGRAFIE

1. Abe, N.M. and Cardoso, J.R. 1998: “Coupling Electric Circuit and 2D-FEM Model With Dommel’s Approach for Transient Analysis”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 5, September 1998, pp. 3487–3490.
2. Ahn, S.C., Lee, J.H., and Hyun, D.S. 2000: “Dynamic Characteristic Analysis of LIM Using Coupled FEM and Control Algorithm”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000, pp. 1876–1880.
3. Albanese, R. and Rubinacci, G. 1992: “Numerical Procedures for the Solution of Nonlinear Electromagnetic Problems”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 28, No. 2, March 1992,
4. Ansoft 2005: <http://www.ansoft.com/> (5.2.2005).
5. Ansys 2005: <http://www.ansys.com/> (5.2.2005).
6. Arkkio, A. 1987: “Analysis of Induction Motors Based on the Numerical Solution of the Magnetic Field and circuit Equations”, Electrical Engineering Series, No. 59, Acta Polytechnica Scandinavica, Helsinki, 97 p., available: <http://lib.hut.fi/Diss/198X/isbn951226076X/> (5.2.2005).
7. Arkkio, A. 1990: “Finite Element Analysis of Cage Induction Motors Fed by Static Frequency Converters”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 26, No. 2, March 1990, pp. 551–554.
8. Bedrosian, G. 1993: “A New Method for Coupling Finite Element Field Solutions with External



- Circuits and Kinematics”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 29, No. 2, March 1993, pp. 1664–1668.
9. Cervera, M., Codina, R., and Galindo, M. 1996: “On the Computational Efficiency and Implementation of Block-Iterative Algorithms for Nonlinear Coupled Problems”, Engineering Computations, Vol. 13, No. 6, June 1996, pp. 4–30.
10. Charpentier, J.F., Lefèvre, Y., and Piquet, H. 1998: “An Original and Natural Method of Coupling Electromagnetic Field Equations with Circuit Equations Put in a State Form”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 5, September 1998, pp. 2489–2492.
11. Comsol 2005: <http://www.comsol.com/> (5.2.2005).
- Costa, M.C., Nabeta, S.I., and Cardoso, J.R. 2000: “Modified Nodal Analysis Applied to Electric Circuits Coupled with FEM in the Simulation of a Universal Motor”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000, pp. 1431–1434.
12. Coulomb, J.L. 1983: “A Methodology for the Determination of Global Electromechanical Quantities from a Finite Element Analysis and Its Application to the Evaluation of Magnetic Forces, Torques and Stiffness”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-19, No. 6, November 1983, pp. 2514–2519.
13. De Gersem, H., Mertens, R., Lahaye, D., Vandewalle, S., and Hameyer, K. 2000: “Solution Strategies for Transient, Field-Circuit Coupled Systems”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000, pp. 1531–1534.
14. Demenko, A. 1994: “Time-Stepping FE Analysis of Electric Motor Drives with Semiconductor Converters”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 30, No. 5, September 1994, pp. 3264–3267.
- Demerdash, N. and Nehl, T. 1999: “Electric Machinery Parameters and Torques by Current and Energy Perturbations from Field Computations – Part I: Theory and Formulation”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, December 1999, pp. 1507–1513.
15. Depenbrock, M. 1988: “Direct Self-Control (DSC) of Inverter-Fed Induction Machine”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 3, No. 4, October 1988, pp. 420–429.
16. Fujiwara, K., Nakata, T., Okamoto, N., and Muramatsu, K. 1993: “Method for Determining Relaxation Factor for Modified Newton-Raphson Method”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 29, No. 2, March 1993, pp. 1962–1965.
17. Gear, C.W. 1971: “Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
18. Kanerva, S. 2001: “Implementation of Two-Dimensional Finite Element Method in System Simulator”, Report 67, Helsinki University of Technology, Laboratory of Electromechanics,
19. Williamson, S., Lim, L.H., and Robinson, M.J. 1990: “Finite-Element Models for Cage Induction Motor Analysis”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 26, No. 6, November/December 1990, pp. 1007–1017.

---

<sup>i</sup> Lector universitar Ing. drd. Luminița I. POPA, Universitatea "Transilvania" Brașov, [luminita2001@yahoo.com](mailto:luminita2001@yahoo.com)

## CREAREA MODELULUI BOBINEI ÎN SPAȚIUL 3-D CU AJUTORUL PROGRAMULUI ANSYS

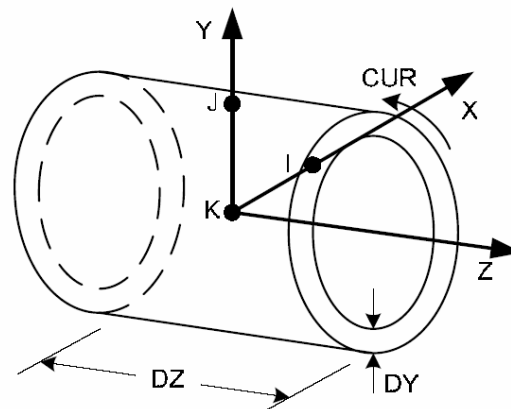
Luminița I. POPA<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Modelul de construcție a bobinei este creat folosind elementul finit *SOURC36*<sup>1</sup>. În analiza scalarului potențial, sursele de curent nu sunt modelate ca o parte integrală a geometriei bobinei. În schimb "elementul finit tont" (dummy finite element), *SOURC36*, este utilizat să reprezinte forma și locația surselor de curent. Este posibil să se definească bobine, bare, sau arce la orice locație în model.

### 1. Crearea modelului bobinei

Cantitatea de curent și alte date privind sursa de curent sunt specificate ca constante reale ale elementului. Întreaga sursă de curent trebuie modelată chiar dacă restul modelului folosește simetria la jumătate sau la sfert. Elementele de bobină și arc nu pot avea un zero în interiorul razei. Pentru că elementele *SOURC36* (figura 1) nu sunt elemente finite adevărate, puteți utiliza numai generarea directă (nu modelarea solidelor) pentru a le defini.



**Figura 1. Elementul sursă de curent *SOURC36* (tipul 1 sau 4 – bobină)**

<sup>1</sup> ANSYS Element Reference: <http://www.ansys.com/>

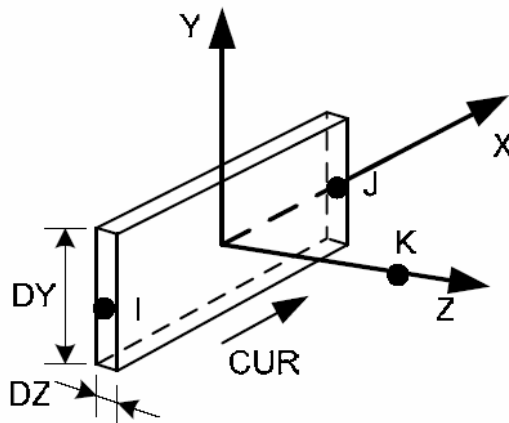


Figura 2. Elementul sursă de curent *SOURC36* (tipul 2 – bară)

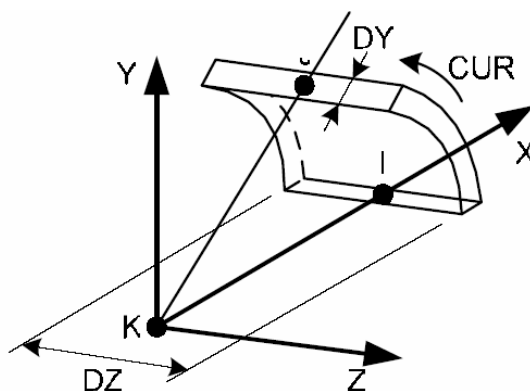


Figura 3. Elementul sursă de curent *SOURC36* (tipul 3 sau 5 – bară)

*SOURC36* este o primitivă (compusă din elemente geometrice predefinite) folosită ca bază de date pentru sursele de alimentare cu curent continuu în cazul problemelor cu câmpuri magnetice. Curenții sunt utilizați pentru a calcula intensitatea câmpului magnetic al unei surse folosind o tehnică de integrare numerică care implică legea **Biot-Savart**. Termenul *intensitatea câmpului magnetic* este folosit în formulare ca o încărcătură magnetică a modelului.

*RACE* invocă un macro<sup>1</sup> care definește o sursă de curent de tip *circuit de curse* ("racetrack") în sistemul de coordonate al planului de lucru:

***RACE***, *XC*, *YC*, *RAD*, *TCUR*, *DY*, *DZ*, , , *Cname*

Unde:

*XC* – locația grosimii medii a piciorului vertical de alungul planului de lucru cu axa-*x*.

*YC* – locația grosimii medii a piciorului orizontal de alungul planului de lucru cu axa-*y*.

*RAD* – raza de curbură a grosimii medii în sursa de curent de tip *circuit de curse*;

*TCUR* – curentul total, curentul prin spirală, curgerea în sursă;

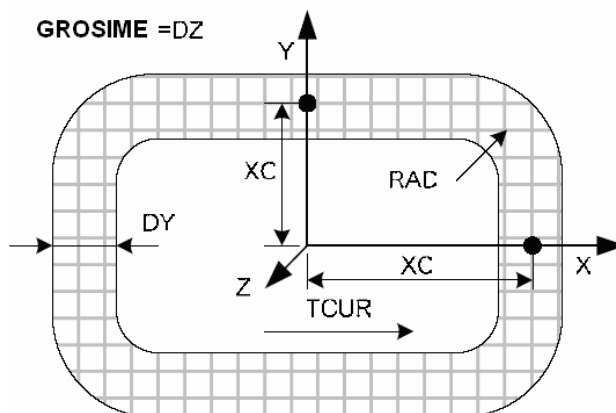
*DY* – grosimea în plan a sursei de curent de tip *circuit de curse*

*DZ* – grosimea (adâncimea) în afara planului a sursei de curent de tip *circuit de curse*

*DZ* - out-of-plane thickness (depth) of the racetrack source;

*Cname* – un nume atașat ca un nume component al grupului de elemente *SOURC36* creat de comanda *macro*.

<sup>1</sup> *ANSYS Commands Reference*: <http://www.ansys.com/>



**Figura 4. Sursă de curent de tip circuit de curse**

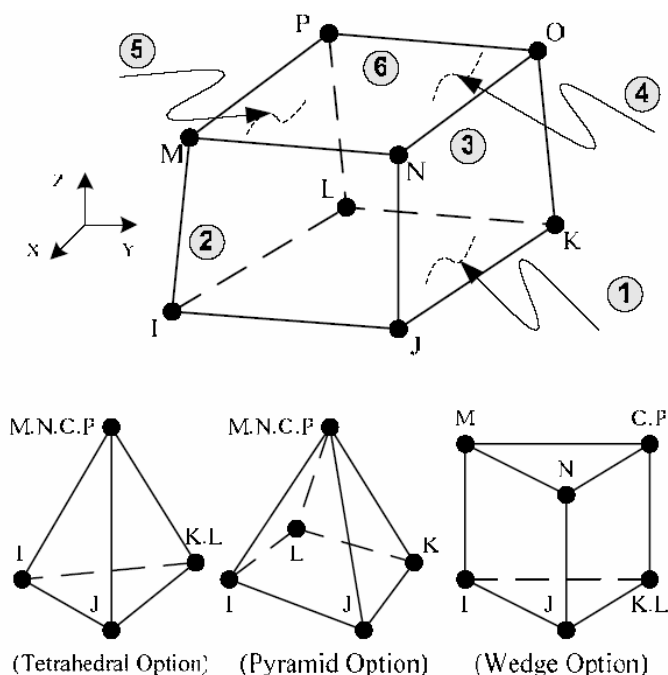
Macro-ul este valid pentru folosirea în analiza 3-D a câmpului magnetic folosind calculul potențial scalar. Fluxul de curent este în sens invers acelor de ceasornic respectând planul de lucru.

## 2. Crearea suprafeței elementului finit

Suprafața este creată în toate regiunile modelului în afara bobinei folosind comanda elementului finit *SOLID96*. Elementul finit solid scalar tridimensional *SOLID96* are capacitatea de modelare tridimensională a câmpurilor magnetice.

Calculul potențialului scalar este disponibil pentru modelarea câmpurilor magnetice în analiză statică. Elementele geometrice, locația nodurilor, și sistemul de coordonate pentru acest element sunt arătate în figura 5. Elementul este definit de opt noduri și de proprietățile materialului.

Un element tetraedric poate fi format definind aceleași numere de noduri pentru nodurile *M, N, O, P* și nodurile *K, L*. Un element sub formă de pană și un element sub formă de piramidă se pot forma ca în figura 6.



**Figura 5. Elementul finit solid scalar tridimensional *SOLID96***

Funcția de formă pentru *SOLID96* este:

$$\varphi = \frac{1}{8} \left( \varphi_1(1-s)(1-t)(1-r) + \varphi_J(1+s)(1-t)(1-r) + \varphi_K(1+s)(1+t)(1-r) + \varphi_L(1-s)(1+t)(1-r) + \right. \\ \left. \varphi_M(1-s)(1-t)(1+r) + \varphi_N(1+s)(1-t)(1+r) + \varphi_O(1+s)(1+t)(1+r) + \varphi_P(1-s)(1+t)(1+r) \right) \quad (1)$$

Formulele de integrare tridimensională standard care sunt utilizate în biblioteca de elemente sunt de forma:

$$\int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 f(x, y, z) dx dy dz = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^l H_k H_j H_i f(x_i, y_j, z_k) \quad (2)$$

Unde:

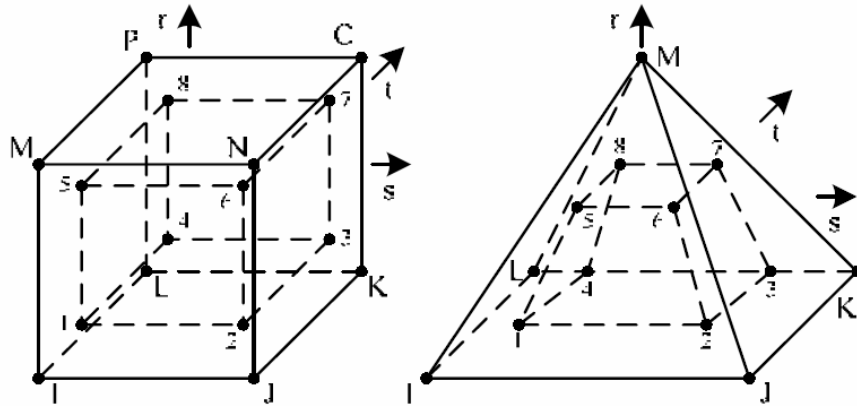
$f(x, y, z)$  – funcția ce trebuie integrată;

$H_k, H_j, H_i$  – factor de greutate;

$x_i, y_j, z_k$  – locații pentru evaluarea funcției (aceste locații sunt în mod uzual coordonatele  $s, t, r$ );

$n, m, l$  – numerele punctelor de integrare (Fig. 6).

Ecuțiile matricei elementului finit pot fi derivate prin principii variaționale. Aceste ecuații există pentru comportamente materiale liniare și nonliniare precum și pentru răspunsul tranzitoriu și static. Bazându-ne pe prezența materialelor nonliniare și liniare, programul alege cea mai potrivită metodă Newton- Raphson. Calculația potențialului scalar este restrictivă pentru analiza câmpului static cu permeabilitate ortotropă parțială.



**Figura 6. Locația punctelor de integrare pentru paralelipede și piramide.**

Gradele de libertate, matricele element, și vectorii de încărcare sunt prezentați aici în următoarea formă:

$$[K^M] = [K^L] [K^N]; \quad (3)$$

$$[K^L] = \int_{vol} (\nabla \bar{N}^T)^T [\mu] (\nabla \bar{N}^T) d(vol); \quad (4)$$

$$[K^N] = \int_{vol} \frac{\partial \mu_h}{\partial |H|} (\bar{H}^T \nabla \bar{N}^T)^T (\bar{H}^T \nabla \bar{N}^T) \frac{d(vol)}{|H|}; \quad (5)$$

$$[J_i] = \int_{vol} \left( \nabla \vec{N}^T \right)^T [\mu] (|H_g| + |H_c|) d(vol); \quad (6)$$

Unde

$\vec{N}$  – funcțiile de formă ale elementului;

$\varphi = \left( \vec{N}^T \vec{\varphi}_e \right)$  – potențialele scalare magnetice din nodurile elementului;

$\nabla T$  – operatorul gradient,

$vol$  – volumul elementului;

$\nabla T$  – preliminarul câmpului magnetic “presupus;

$\vec{H}_c$  – vectorul forță coercitiv,

$[\mu]$  – matricea permeabilității,

$d\mu_h / d|H|$  – derivata permeabilității legată de magnitudinea intensității câmpului magnetic.

### 3. Modelarea câmpului magnetic

Rezultatele câmpului electromagnetic de bază includ: intensitatea câmpului magnetic, densitatea fluxului magnetic, forțele magnetice și densitățile de curent.

Prima derivată are ca rezultat intensitatea câmpului magnetic care se divide în două părți: un câmp generalizat  $\vec{H}_g$  și gradientul potențialului generalizat  $-\nabla \varphi_g$ .

Primul rezultat derivat (în cazul nostru  $\vec{H}_\varphi$ ) este evaluat la punctele de integrare (Fig. 6) folosind funcția de formă ale elementului astfel:

$$\vec{H}_\varphi = -\nabla \vec{N}^T \vec{\varphi}_g; \quad (7)$$

Unde:

$\nabla T$  – operatorul gradient ;

$\vec{N}$  – funcțiile de formă ale elementului;

$\vec{\varphi}_g$  – Vectorul nodal potențial generalizat.

Intensitatea câmpului magnetic este apoi:

$$\vec{H} = \vec{H}_g + \vec{H}_\varphi \quad (8)$$

Valorile nodale ale intensității câmpului și densității fluxului sunt calculate din valoarea punctelor integrate.

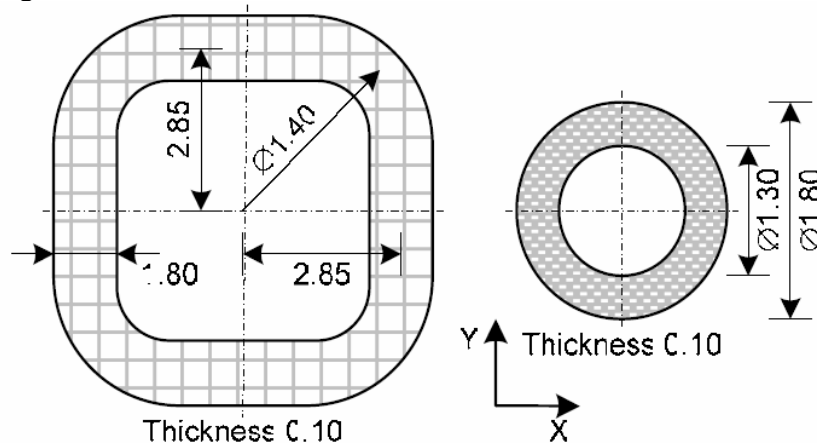
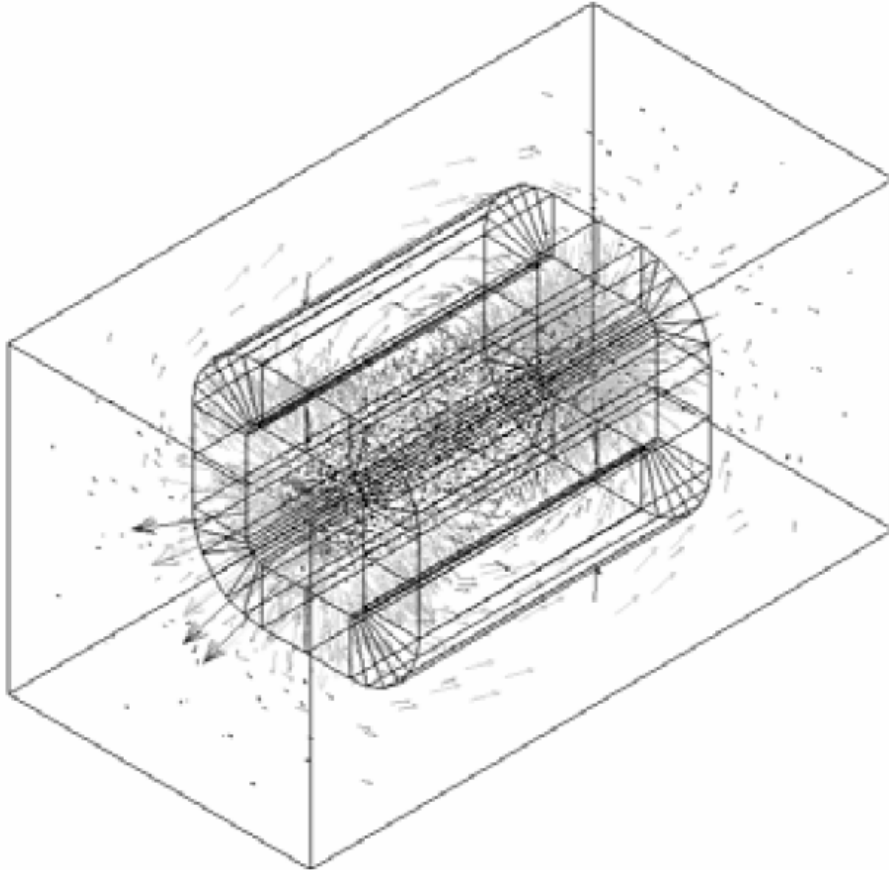


Figura 7. Parametrii bobinei și miezului



**Figura 8. Distribuția câmpului magnetic**

Se pot prezenta mai multe exemple de câmp magnetic creat în bobină cu miez. Modelul constructiv este format folosind un algoritm creat și fișiere de comandă deja create. (pre-made command files) .

Parametrii de construcție a modelului sunt arătați în figura 7.

Numărul de spire al bobinei  $n=500$ , curentul prin spirală  $i=6$ .

Valorile și distribuția intensității câmpului magnetic calculat sunt arătate în figura 8.

#### **4. Concluzii**

Etapele de modelare individuale (crearea modelului constructiv, crearea suprafeței elementului finit, etc.) sunt separate în acest algoritm folosind fișierele de tipul: „All 1 file COMB“

Așa este posibil să se repete calcularea câmpului magnetic, începând cu orice etapă, de exemplu, este posibil să selectăm diferite valori ale intensității curentului electric și să calculăm intensitatea câmpului magnetic de mai multe ori folosind fișierul de tipul: „All 1 file COMB“ creat după calculația suprafeței.

Fișierele de comandă create (pentru crearea modelului general, crearea suprafeței elementului finit, crearea condițiilor de frontieră, calculația câmpului magnetic)

#### **Bibliografie**



1. **Tarvydas P.** Ritės sukuriamo magnetinio lauko modeliavimas baigtinių elementų metodu// Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2001. – Nr. 1(30). – P.33-36.
2. **Theory** Reference: <http://www.ansys.com/>
3. **Electromagnetic** Field Analysis Guide:<http://www.ansys.com/>
4. **ANSYS** Element Reference: <http://www.ansys.com/>
5. **ANSYS** Commands Reference: <http://www.ansys.com/>

---

<sup>i</sup> *Lector universitar* **Ing. drd. Luminița I. POPA** *Universitatea "Transilvania" Brașov ,  
mluminita2001@yahoo.com*

## EXHAUST EMISSIONS AND CONTROL FOR NAVAL ENGINES

Marian RISTEA \*  
 Ionel POPA \*\*  
 Adrian POPA \*\*\*

### Abstract

*The global approach to NO<sub>x</sub> emission controls was taken by the IMO whose Annex VI (Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships) to Marpol 73/78 was adopted at a diplomatic conference in 1997. Ships burning marine diesel oil and heavy fuel oil at that time were reportedly responsible for around 7 per cent of global NO<sub>x</sub> emissions, around 4 per cent of global sulphur dioxide emissions and 2 per cent of global carbon dioxide emissions*

## I. INTRODUCTION

Marine engine designers in recent years have had to address the challenge of tightening controls on noxious exhaust gas emissions imposed by regional, national and international authorities responding to concern over atmospheric pollution. Exhaust gas emissions from marine diesel engines largely comprise nitrogen, oxygen, carbon dioxide and water vapour, with smaller quantities of carbon monoxide, oxides of sulphur and nitrogen, partially reacted and non-combusted hydrocarbons and particulate material (Figures 1 and 2).

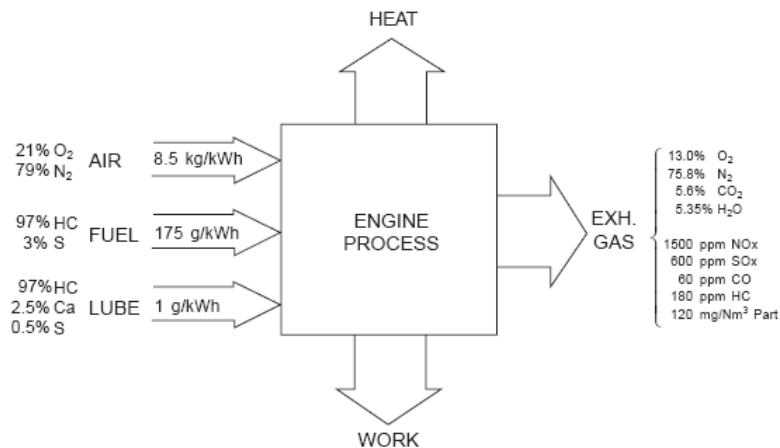


Figure 1 Typical exhaust emissions from a modern low speed diesel engine



Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>)—generated thermally from nitrogen and oxygen at high combustion temperatures in the cylinder—are of special concern since they are believed to be carcinogenic and contribute to photochemical smog formation over cities and acid rain (and hence excess acidification of the soil). Internal combustion engines primarily generate nitrogen oxide but less than 10 per cent of that oxidizes to nitrogen dioxide the moment it escapes as exhaust gas.

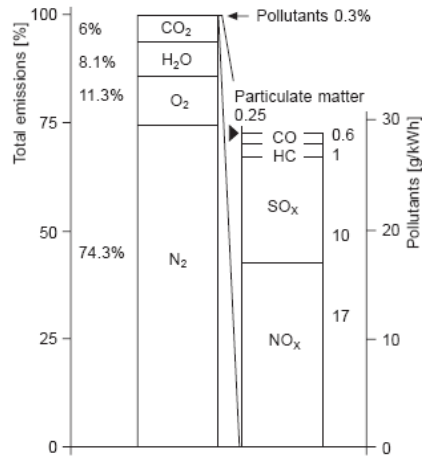


Figure 2 Typical composition of the exhaust gas products of a medium speed diesel engine burning fuel with an average 3 per cent sulphur content. Some 6 per cent of the total emission is carbon dioxide, with the ‘real’ pollutants representing only a 0.3 per cent share (MAN B&W Diesel)

Sulphur oxides (SO<sub>x</sub>)—produced by oxidation of the sulphur in the fuel—have an unpleasant odour, irritate the mucus membrane and are a major source of acid rain (reacting with water to form sulphurous acid). Acid deposition is a trans-boundary pollution problem: once emitted, SO<sub>x</sub> can be carried over hundreds of miles in the atmosphere before being deposited in lakes and streams, reducing their alkalinity.

Sulphur deposition can also lead to increased sulphate levels in soils, fostering the formation of insoluble aluminium phosphates which can cause a phosphorous deficiency. Groundwater acidification has been observed in many areas of Europe; this can lead to corrosion of drinking water supply systems and health hazards due to dissolved metals in those systems. Forest soils can also become contaminated with higher than normal levels of toxic metals, and historic buildings and monuments damaged. Hydrocarbons (HC)—created by the incomplete combustion of fuel and lube oil, and the evaporation of fuel—have an unpleasant odour, are partially carcinogenic, smog forming and irritate the mucus membrane (emissions, however, are typically low for modern diesel engines.) Carbon monoxide (CO)—resulting from incomplete combustion due to a local shortage of air and the dissociation of carbon dioxide - is highly toxic but only in high concentrations. Particulate matter (PM) is a complex mixture of inorganic and organic compounds resulting from incomplete combustion, partly unburned lube oil, thermal splitting of HC from the fuel and lube oil, ash in the fuel and lube oil, sulphates and water. More than half of the total particulate mass is soot (inorganic carbonaceous particles), whose visible evidence is smoke. Soot particles (unburned elemental carbon) are not themselves toxic but they can cause the build-up of aqueous hydrocarbons, and some of them are believed to be carcinogens. Particulates constitute no more than around 0.003 per cent of the engine exhaust gases. Noxious emissions amount to 0.25-0.4 per cent by volume of the exhaust gas, depending on the amount of sulphur in the fuel and its lower heat

value, and the engine type, speed and efficiency. Some idea of the actual pollutants generated is provided by MAN B&W Diesel, which cites an 18 V 48/60 medium speed engine in NO<sub>x</sub>-optimized form running at full load on a typical heavy fuel oil with 4 per cent sulphur content. A total of approximately 460 kg of harmful compounds are emitted per hour out of around 136 tonnes of exhaust gas mass per hour. Of the 0.35 per cent of the exhaust gas formed by pollutants, NO<sub>x</sub> contributes 0.17 per cent, sulphur dioxide 0.15 per cent, hydrocarbons 0.02 per cent, carbon monoxide 0.007 per cent and soot/ash 0.003 per cent. Carbon dioxide: some 6 per cent of the exhaust gas emissions from this engine is carbon dioxide. Although not itself toxic, carbon dioxide contributes to the greenhouse effect (global warming) and hence to changes in the Earth's atmosphere. The gas is an inevitable product of combustion of all fossil fuels, but emissions from diesel engines—thanks to their thermal efficiency—are the lowest of all heat engines. A lower fuel consumption translates to reduced carbon dioxide emissions since the amount produced is directly proportional to the volume of fuel used, and therefore to the engine or plant efficiency. As a rough guide, burning one tonne of diesel fuel produces approximately three tonnes of carbon dioxide. International concern over the atmospheric effect of carbon dioxide has stimulated measures and plans to curb the growth of such emissions, and the marine industry must be prepared for future legislation. (A switch from other transport modes—air, road and rail—to shipping would nevertheless yield a substantial overall reduction in emissions of the greenhouse gas because of the higher efficiency of diesel engines.)

The scope for improvement by raising the already high efficiency level of modern diesel engines is limited and other routes have to be pursued: operating the engines at a fuel-saving service point; using marine diesel oil or gas oil instead of low sulphur heavy fuel oil; adopting diesel-electric propulsion (the engines can be run continuously at the highest efficiency); or exploiting a diesel combined cycle incorporating a steam turbine. The steam-injected diesel engine is also promising.

SO<sub>x</sub> emissions in diesel engine exhaust gas—which mostly comprise sulphur dioxide with a small amount of sulphur trioxide - are a function of the amount of sulphur in the fuel and cannot be controlled by the combustion process. If the fuel contains 3 per cent sulphur, for example, the volume of SO<sub>x</sub> generated is around 64 kg per tonne of fuel burned; if fuel with a 1 per cent sulphur content is used SO<sub>x</sub> emissions amount to around 21 kg per tonne of fuel burned. Chemical and washing/scrubbing desulphurization processes can remove SO<sub>x</sub> from the exhaust gases but are complex, bulky and expensive for shipboard applications, and increase overall maintenance costs. The most economical and simplest approach is thus to burn bunkers with a low sulphur content. (If a selective catalytic reduction system is installed to achieve the lowest NO<sub>x</sub> emission levels - see section below - then low sulphur fuels are dictated anyway to avoid premature fouling of the system's catalyst package.) A global heavy fuel oil sulphur content cap of 4.5 per cent and a 1.5 per cent fuel sulphur limit in certain designated Sulphur Emissions Control Areas (SECAs)—such as the Baltic Sea, North Sea and English Channel—is sought by the International Maritime Organisation (IMO) to reduce SO<sub>x</sub> pollution at sea and in port. The European Union strategy for controlling air pollution calls for all ships in EU ports to burn fuel with a maximum sulphur content of 0.2 per cent, which would force uni-fuel ships to carry low sulphur fuel specifically for this purpose.

## II. CONTROLLING NO<sub>x</sub> EMISSIONS

The global approach to NO<sub>x</sub> emission controls was taken by the IMO whose Annex VI (Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships) to Marpol 73/78 was adopted at a diplomatic conference in 1997. Ships burning marine diesel oil and heavy fuel oil at that time were reportedly responsible for around 7 per cent of global NO<sub>x</sub> emissions, around 4 per cent of global sulphur dioxide emissions and 2 per cent of global carbon dioxide emissions.

Annex VI will entered into force 12 months after the date on which not less than 15 states, together constituting not less than 50 per cent of the gross tonnage of the world's merchant fleet, have ratified it. Ships constructed after 1 January 2000 (date of keel laying) were nevertheless required to comply. The annex addresses engines with a power output of more than 130 kW installed in new ships constructed from that date and engines in existing ships that undergo a major modification.

Engines have to fulfil the NO<sub>x</sub> emission limits set by the IMO curve, which is related to engine speed. To show compliance, an engine has to be certified according to the NO<sub>x</sub> Technical Code and delivered with an EIAPP (Engine International Air Pollution Prevention) letter of compliance. The certification process includes NO<sub>x</sub> measurement for the engine type concerned, stamping of components that affect NO<sub>x</sub> formation and a Technical File that is delivered with the engine. IMO's current maximum allowable NO<sub>x</sub> emission levels depend on the speed category of the engine and range from 17 g/kWh for engines of speed <130 rev/min to 9.84 g/kWh for engines of speed >2000 rev/min (Figure 3). Much tougher curbs on NO<sub>x</sub> and other emissions are set by regional authorities such as California's Air Resources Board; and Sweden has introduced a system of differentiated port and fairway dues making ships with higher NO<sub>x</sub> emissions pay higher fees than more environment-friendly tonnage of a similar size.

With stricter controls planned by the IMO, the reduction of NO<sub>x</sub> emissions remains a priority for engine designers whose concern is to secure environmental acceptability without compromising the impressive gains in engine fuel economy and reliability achieved in recent years. (Advances in thermal efficiency have, ironically, directly contributed to a rise in NO<sub>x</sub> emissions.) Considerable progress has been made and is projected (Figure 4).

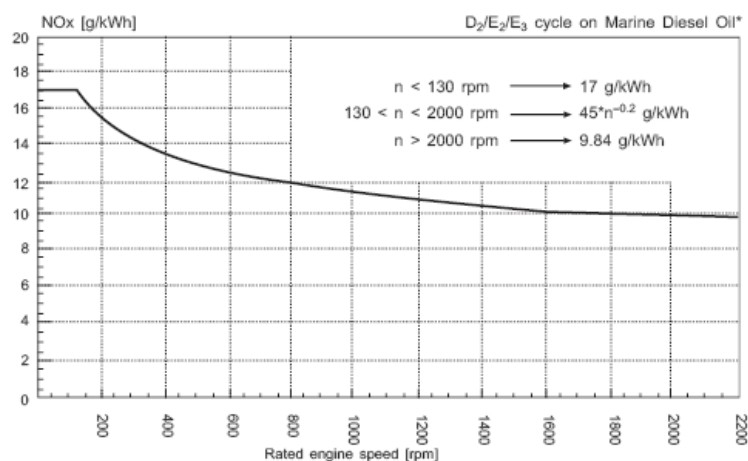


Figure 3 Maximum allowable NO<sub>x</sub> emissions for marine diesel engines (IMO)

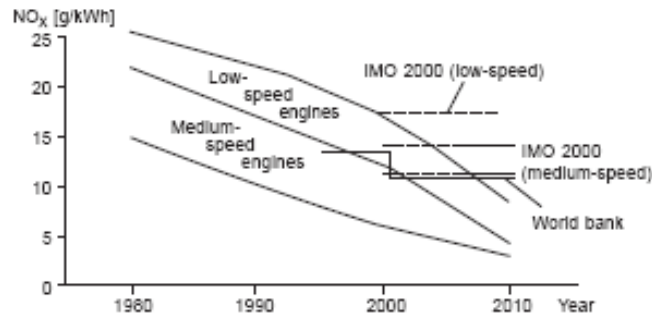


Figure 4 NOx emission trends for typical two-stroke and four-stroke diesel engines compared with IMO requirements (Wärtsilä)

Dominating influences in the formation of NOx are temperature and oxygen concentration: the higher the temperature and the higher the residence time at high temperature in the cylinder, the greater the amount of thermal NOx that will be created. A longer combustion timespan means that low speed two-stroke engines therefore generate higher NOx emissions than medium and high speed four-stroke engines of equivalent output. Apart from the use of alternative fuels, such as methanol, two main approaches can be pursued in reducing NOx emission levels:

Primary (in-engine) measures aimed at reducing the amount of NOx formed during combustion by optimizing engine parameters with respect to emissions (valve timing, fuel injection and turbocharging). Emission levels can be reduced by 30–60 per cent. Secondary measures designed to remove NOx from the exhaust gas by downstream cleaning techniques. Emission reductions of over 95 per cent can be achieved.

De-NOx technology options are summarized in Figure 5.

The primary NOx reduction measures can be categorised as follows: Water addition: either by direct injection into the cylinder or by emulsified fuel. Altered fuel injection: retarded injection; rate-modulated injection; and a NOx-optimized fuel spray pattern. Combustion air treatment: Miller supercharging; turbocooling; intake air humidification; exhaust gas recirculation; and selective non-catalytic reduction. Change of engine process: compression ratio; and boost pressure. The basic aim of most of these measures is to lower the maximum temperature in the cylinder since this result is inherently combined with a lower NOx emission.



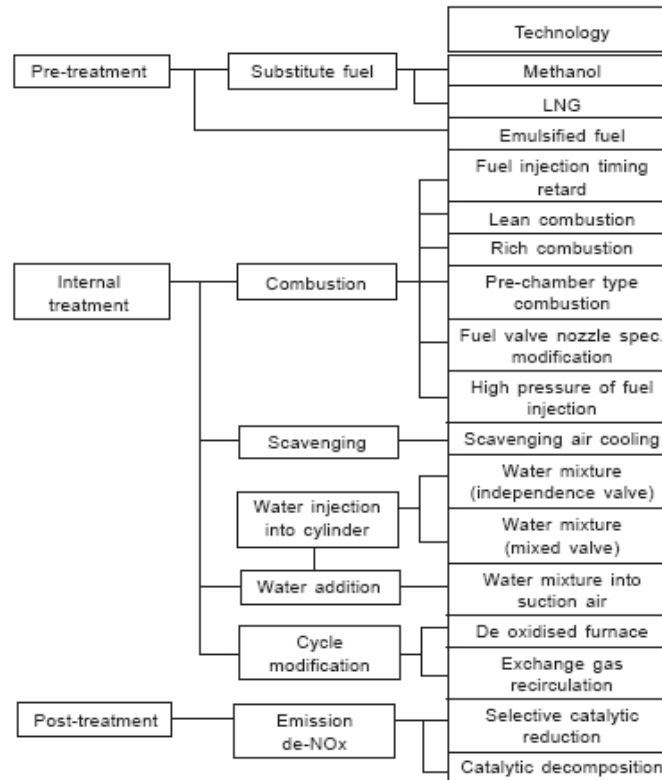


Figure 5 Methods of reducing NOx emissions from marine diesel engines (Mitsubishi Heavy Industries)

New generations of medium speed engines with longer strokes, higher compression ratios and increased firing pressures addressed the NOx emission challenge (Figure 6). The low NOx combustion system exploited by Wärtsilä throughout its medium speed engine programme, for example, is based on an optimized combination of compression ratio, injection timing and injection rate. The engine parameters affecting the combustion process are manipulated to secure a higher cylinder pressure by increasing the compression ratio. The fuel injection equipment is optimized for late injection with a short and distinct injection period. NOx reductions of up to 50 per cent are reported without compromising thermal efficiency, achieving an NOx rate of 5–8 g/kWh compared with the 15 g/kWh of a typical conventional engine with virtually no effect on fuel consumption.

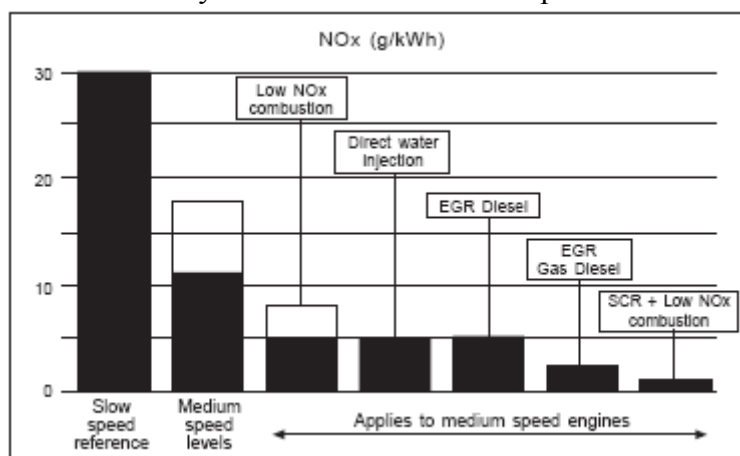


Figure 6 Emission control measures and their potentials in reducing NOx output. EGR = exhaust gas recirculation; SCR = selective catalytic reduction (Wärtsilä Diesel)

Low NO<sub>x</sub> combustion is based on:

- A higher combustion air temperature at the start of injection, which significantly reduces the ignition delay.
- A late start of injection and shorter injection duration to place combustion at the optimum point of the cycle with respect to efficiency.
- Improved fuel atomization and matching of combustion space with fuel sprays to facilitate air and fuel mixing.

Some Wärtsilä Vasa 32 engines were equipped with a 'California button' to meet the US regional authority's strict NO<sub>x</sub> control. A planetary gear device allows the necessary small injection timing retard to be effected temporarily while the engine is running when the ship enters the Californian waters.

### III. WATER-BASED TECHNIQUES

Water–fuel emulsions injected via the fuel valve achieve a significant reduction in NO<sub>x</sub> production. The influence varies with the engine type but generally 1 per cent of water reduces NO<sub>x</sub> emissions by 1 per cent. Water can also be added to the combustion space through separate nozzles or by the stratified segregated injection of water and fuel from the same nozzle.

Direct Water Injection (DWI) is effective in reducing NO<sub>x</sub> by adding mass and stealing heat from the combustion process when the water is evaporated. Wärtsilä developed DWI for its medium speed engines after initially investigating the merits of injecting ammonia into the cylinder during the expansion stroke. It was found that injecting water into the combustion chamber during the compression stroke could achieve the same degree of NO<sub>x</sub> reduction as ammonia.

Wärtsilä medium speed engines with DWI systems feature a combined injection valve and nozzle for injecting water and fuel oil into the cylinder (Figure 7). The nozzle has two separate needles that are also controlled separately, such that neither mode (water on/water off) will affect operation of the engine. The engine can be transferred to non-water operational mode at any load, the transfer in alarm situations being automatic and instantaneous. Water injection takes place before fuel injection, resulting in a cooler combustion space and hence lower NO<sub>x</sub> generation; water injection stops before fuel oil is injected into the cylinder so that the ignition and combustion process is not disturbed.

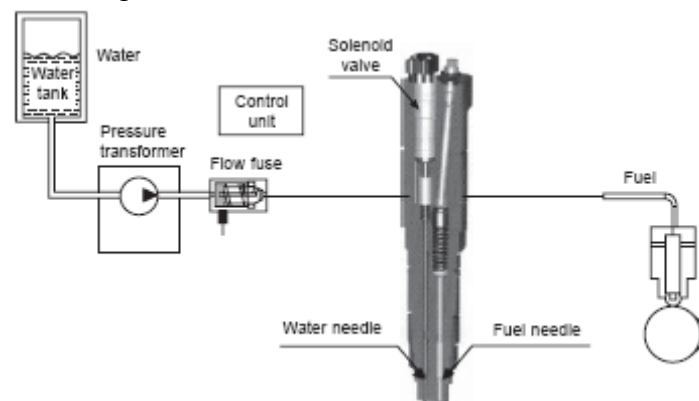


Figure 7 Wärtsilä's Direct Water Injection system features a combined injection valve and nozzle for water and fuel oil

Clean water is fed to the cylinder at a pressure of 210–400 bar (depending on the engine type) by a common rail system, the pressure generated in a high pressure pump module; a low pressure pump is also necessary to ensure a sufficiently stable water flow to the high pressure pump. The water is filtered before the low pressure pump to remove all solid particles; the pumps and filters are built into modules to ease installation.

A flow fuse installed on the cylinder head side acts as a safety device, shutting off the water flow into the cylinder if the water needle gets stuck; immediate water shut-off is initiated in the event of excessive water flow or leakage. Water injection timing and duration are electronically controlled by the control unit, which receives its input from the engine output; timing and duration can be optimized conveniently via a keyboard for different applications. Space requirements for the equipment are minimal, facilitating retrofit applications.

Water and fuel are injected in a typical water-to-fuel ratio of 0.4–0.7:1, reducing NOx emissions by 50–60 per cent without adversely affecting power output or engine components. NOx emissions are typically 4–6 g/kWh when the engine is running on marine diesel oil, and 5–7 g/kWh when heavy fuel oil is being burned. NOx reduction is most efficient from 40 per cent load and higher of nominal engine output.

Numerous applications of the above DWI system have benefited Wärtsilä 32 and 46 engines powering diverse ship types. Some W46 ‘EnviroEngines’ (see section below) combine electronically-controlled common rail fuel injection with DWI, the water then injected into the combustion chamber separately from the side of the cylinder head through a dedicated valve.

Mitsubishi Heavy Industries developed a stratified fuel-water injection (SFWI) system using a common valve to inject ‘slugs’ of fuel/water/fuel sequentially into the combustion chamber. The system reportedly worked in a stable condition throughout extensive trials on a ship powered by a Mitsubishi UEC 52/105D low speed engine, Nox emission reduction being proportional to the amount of water injected.

#### **IV. REFERENCES**

1. Marian Ristea - Evoluția parametrilor geometrici și funcționali ai motoarelor cu ardere internă în domeniul naval – Raport de cercetare științifică susținut în cadrul programului de studii doctorale la Academia Tehnică Militară, Februarie 2008
2. \*\*\* - MAN B&W documentation
3. \*\*\* - DEUTX documentation
4. \*\*\* - PIELSTIK documentation
5. \*\*\* - Sulzer documentation

---

\* Ristea Marian, prep. univ. drd. ing, Academia Navala “Mircea cel Batran”, Constanta, Fulgerului, nr.1, e-mail: ristea\_k\_marian@yahoo.com

\*\* Popa Ionel, sef lucr. univ. dr. ing, drd. ing, Academia Navala “Mircea cel Batran”, Constanta, Fulgerului, nr.1, e-mail: popaionelac@yahoo.com

\*\*\* Popa Adrian, asist. univ. drd. ing drd. ing, Academia Navala “Mircea cel Batran”, Constanta, Fulgerului, nr.1,

## PROPRIETĂȚI ALE ALIAJELOR NEFEROASE UTILIZATE ÎN CONSTRUCȚIILE AERONAUTICE

Mihaela SMEADĂ \*

Ion DINESCU \*\*

*Abstract: The problem of the optimal valuing of metals and their alloys, strongly connected to the optimal choice of the them accordingly to the aimed purpose determines the necessity of knowing the scientific relation between the structure and the properties, of the physical and chemical nature and so on such a basis the determination of the properties that can influence the structure and the features of the metallic materials for the insurance of some physical, chemical and mechanical features. The present paper aims to present the main features of the non/ferrous alloys (light alloys, heavy alloys and antifriction alloys) that are used in the aeronautical industry.*

### I. Aliaje ușoare

#### I.1. Aliaje de aluminiu

Cele mai răspândite aliaje de aluminiu sunt: Al-Cu, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si și Al-Zn-Mg-Cu. În stare de echilibru, aceste aliaje au structura formată dintr-o soluție solidă slab aliată și faze intermetalice  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ,  $\text{Al}_6\text{CuMg}_4$ ,  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{Zn}_3$  etc.

Aliajele pe bază de aluminiu se împart în:

- a) aliaje deformabile;
- b) aliaje pentru turnătorie;
- c) aliaje obținute prin tehnologiile de procesare a pulberilor.

Limita de separare dintre aliajele din primele două grupe o constituie solubilitatea maximă la temperatura eutecticului a elementului de aliere. Aliajele deformabile se împart la rândul lor în nedurificabile prin tratament termic și durificabile prin tratament termic.

#### I.2. Aliaje de magneziu

Aliajele pe bază de magneziu au o utilizare din ce în ce mai mare în industria aeronautică, în construcția de autovehicule, radiofonie etc. datorită greutateii specifice mai mici decât a aliajelor pe bază de aluminiu, a modulului de elasticitate mic, a bunei rezistențe la șoc și a bunei prelucrabilități prin așchiere. Inconveniente principale constau în rezistența

mică la coroziune, proprietăți de turnare relativ slabe, se oxidează ușor și se autoaprind la temperatura de 600°C.

Principalele aliaje pe bază de magneziu sunt: Mg – Al; Mg – Zn; Mg – Mn. Al și Zn până la 5...7% ridică proprietățile de rezistență și cele de plasticitate ale aliajului. Manganul îmbunătățește rezistența la coroziune a magneziului și favorizează obținerea unor grăunți mici. Zirconiu contribuie la finisarea grăunților, măbind totodată rezistența și plasticitatea. Pământurile rare, toriu și calciul, măresc refractaritatea aliajelor de magneziu. Beriliul adăugat în proporții mici (0,01...0,03%) formează o peliculă de oxid pe suprafața magneziului topit, protejându-l de ardere la turnare. [3, 5]

Aliajele pe bază de magneziu se împart în:

- a) aliaje deformabile
- b) aliaje de turnare

După proprietățile mecanice, aliajele deformabile se pot împărți în aliaje cu rezistență mică, aliaje cu rezistență medie, aliaje de înaltă rezistență și aliaje refractare. Cele mai multe dintre aliajele de magneziu pot fi durificate prin tratament termic (călire sau îmbătrânire). Aliajele magneziului cu aluminiu, zinc, mangan și zirconiu sunt cunoscute sub denumirea de aliaje de tip electron, au rezistență mare la temperaturi înalte și o limită de oboseală ridicată, și se utilizează în principal în construcții aeronautice și automobile de mare viteză. Aceste aliaje, ultraușoare, asigură reducerea greutateii cu 20...35%, în raport cu cele mai bune aliaje de aluminiu, ceea ce le face de interes pentru confecționarea pieselor în mișcare neuniformă cu viteză mare, ca de exemplu la mașinile textile. Se folosesc, de asemenea, în industria optică, de mecanică fină, la construcția aparatelor fotografice și cinematografice.

### I.3. Aliaje de titan

Aliajele pe bază de titan care prezintă interes tehnic conțin elemente care stabilizează forma  $\alpha$  (Al, Sn, C, O, N) și elemente care stabilizează forma  $\beta$  (V, Mo, Mn, Cr, Fe, H). Așadar, în funcție de compoziție, aliajele de Ti pot fi cu structura  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  sau  $\beta$  (tabelul 1), cele mai utilizate fiind primele două tipuri – cel mai frecvent ternare- beneficiind de influența, în general, cumulativă a elementelor de aliere. [3, 6]

Tabelul 1. Clasificarea aliajelor pe bază de titan

Nr. crt.	Aliaje $\alpha$	Aliaje $\alpha+\beta$	Aliaje $\beta$
1	TiAl <sub>5</sub>	TiAl <sub>6</sub> V <sub>4</sub>	TiV <sub>13</sub> Cr <sub>11</sub> Al <sub>4</sub>
2	TiAl <sub>5</sub> Sn <sub>2,5</sub>	TiAl <sub>4</sub> Mn <sub>4</sub>	TiV <sub>8</sub> Fe <sub>5</sub> Al
3	TiSn <sub>13</sub> Al <sub>3</sub>	TiAl <sub>5</sub> Cr <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub>	TiMo <sub>30</sub>
4	TiZr <sub>12</sub> Al <sub>4</sub>	TiAl <sub>6,5</sub> Mo <sub>3,5</sub>	TiAl <sub>3</sub> V <sub>13</sub> Cr <sub>11</sub>
5	TiAl <sub>8</sub> Mo <sub>1</sub> V <sub>1</sub>	TiAl <sub>8</sub> Co <sub>4</sub>	
6	TiAl <sub>8</sub> Zr <sub>8</sub> (Nb, Ta) <sub>1</sub>	TiAl <sub>15</sub> Cr <sub>2</sub> Fe <sub>1</sub>	

Aliajele cu structura  $\alpha$  au rezistență mecanică bună până la 600...650°C, iar la coroziune în atmosferă obișnuită până la 1100°C. Se pot forja la temperaturi mai înalte, nu prezintă fragilitate la tratament termic, se sudează bine, dar plasticitatea este mai redusă decât a celorlalte aliaje de Ti. Aliajele cu structură  $\alpha+\beta$  au rezistență mecanică (dublă față de cea a Ti) bună până la 450°C, plasticitate (prin forjare, laminare, matrițare) bună, în orice caz superioară aliajelor  $\alpha$  sau  $\beta$ . Sunt sensibile la tratament, prezentând tendință spre fragilizare și, comparativ cu aliajele  $\alpha$ , au sudabilitate inferioară. Între acestea, TiAl<sub>4</sub>Mn<sub>4</sub> este un aliaj pentru forjare, TiMn<sub>8</sub> pentru laminare (table), iar TiAl<sub>6</sub>V<sub>4</sub> pentru multiple scopuri. Aliajele cu structură  $\beta$  au rezistență mecanică suficient de înaltă până la 450°C și nu necesită tratament

termic pentru îmbunătățirea rezistenței mecanice. Ele au o plasticitate foarte bună la orice tip de deformare. [2, 5]

În funcție de compoziție și destinație, aliajele titanului pot fi supuse diferitelor tratamente termice și termochimice: recoaceri, căliri îmbătrâniri, cementări, nitrurări.

Utilizarea aliajelor de Ti este avantajoasă îndeosebi la temperaturile de 400...600°C, la care aliajele de Al și Mg nu pot fi întrebunțate datorită rezistenței lor scăzute la fluaj, iar oțelurile aliate nu sunt indicate datorită greutateii lor specifice mari. La utilizarea titanului și a aliajelor pe bază de titan trebuie să se țină seama și de unele inconveniente: prelucrabilitatea prin așchiere scăzută, situată între prelucrabilitatea oțelurilor pentru scule și aceea a superaliajelor de nichel sau cobalt, tendința de deteriorare a pieselor supuse la frecare prin alunecare (oboseală sau frecare), datorită coeficientului de frecare ridicat și conductivității termice scăzute.

Se folosesc în *construcțiile aeronautice* (învelișul avioanelor, discurile, paletele și bridele compresoarelor etc.), în *tehnica rachetelor* (corpurile motoarelor pentru a doua și a treia treaptă, butelii pentru gaze lichefiate și comprimate etc.), în *industria chimică* (echipament pentru lucru în clor umed, în soluții apoase și acide de clor, schimbătoare de căldură care lucrează în acid sulfuric etc.), în *construcții navale* (elice propulsoare, înveliș pentru nave maritime, submarine și torpile), *construcții energetice*, fabricarea *echipamentului* pentru tratamentul combustibilului nuclear etc. [6, 7] De asemenea, fiind foarte plastice la temperaturi scăzute, sunt utilizate în tehnica frigului.

Titanul și aliajele pe bază de titan constituie materiale ale viitorului, deoarece prezintă bune proprietăți de turnare, bune proprietăți plastice, bună rezistență chimică și bune proprietăți mecanice.

## II. Aliaje grele

### II.1. Aliaje cupru – zinc (alame)

Alamele sunt aliaje ale cuprului cu Zn și conțin cel puțin 55% Cu. Ele pot fi obișnuite, adică simple aliaje binare cupru – zinc, conținând alte elemente numai sub formă de impurități sau aliaje complexe, numite alame aliate care, alături de cupru și zinc, conțin și alte elemente: Al, Sn, Mn, Fe, Ni, Pb etc.

Alamele cu un conținut până la 39% Zn, la răcire lentă sau în stare recoaptă prezintă structură poliedrică, iar dacă răcirea este rapidă, după turnare, structura este dendritică. Alamele monofazice sunt plastice, putând fi deformate la rece. *Dacă procentul de Cu depășește 80% se numesc tombac*; sunt foarte maleabile, însă se prelucrează mai greu prin așchiere. Alamele cu un conținut mai mare de 39% Zn sunt dure și fragile și sunt prelucrabile prin deformare plastică doar la cald.

În funcție de prelucrările la care sunt supuse, atât alamele obișnuite, cât și cele aliate se împart în: deformabile și pentru turnătorie.

### II.2. Aliaje cupru – staniu (bronzuri cu staniu)

Aliajele cuprului cu staniul se numesc bronzuri cu staniu sau bronzuri obișnuite. Dacă în loc de Sn sau împreună cu Sn mai participă și alte elemente (Al, Pb, Zn, Be, P, Ni), atunci se formează bronzuri speciale sau aliate, care poartă denumirea după elementul de aliere (bronz cu aluminiu, bronz cu plumb etc.).

Bronzurile cu Sn (binare și aliate), după modul de prelucrare se împart în deformabile și de turnătorie. [4, 7]

### II.3. Aliaje cupru – aluminiu (bronzuri cu aluminiu)

Aliajele Cu-Al care conțin până la cca 15% Al se numesc bronzuri cu aluminiu. Bronzurile monofazice au o foarte bună plasticitate, prezentând și o fluiditate mare; bronzurile bifazice pot fi călite și revenite, în urma călirii obținându-se o structură similară martensitei din oțeluri. În afară de bronzurile cu aluminiu binare, în practică sunt utilizate și bronzuri Cu-Al complexe, care, pe lângă cupru și aluminiu, conțin și alte elemente, ca Fe, Ni, Mn, Pb în proporții de până la 4 ... 5%, îmbunătățind rezistența la rupere, la coroziune, refractaritatea și prelucrabilitatea. [3, 4]

Bronzurile cu aluminiu au rezistență mecanică bună, sunt rezistente la uzare, iar la coroziune au o rezistență de nouă ori mai mare decât a celor cu Sn; au însă calități antifricțiune slabe. După modul de prelucrare, bronzurile cu aluminiu binare sau complexe se împart în: deformabile și de turnătorie.

### II.4. Aliaje cupru – plumb (bronzuri cu plumb)

Aceste aliaje pot fi binare Cu – Pb sau aliaje Cu – Pb, care conțin și alte elemente destinate să le mărească rezistența, ca de exemplu Sn, Ni, Zn.

Sunt utilizate în construcția de mașini pentru lagăre de alunecare, datorită proprietăților lor antifricțiune ridicate. Aliajele tipice sunt cele cu 25...30% Pb, a căror structură este formată din grăunți de cupru în care sunt dispersate particule de plumb. Aliajul binar Cu – 25% Pb este folosit pentru cuzineții de alunecare puternic solicitați și pentru cuzineții de bielă la motoarele cu ardere internă. Cuzineții bimetalici se execută, de obicei, prin turnarea aliajului Cu – Pb în carcase din oțel moale. Aliajele Cu - Pb - Sn au rezistență mecanică mai mare și o bună rezistență la coroziune. [2, 3]

### II.5. Aliaje cupru – beriliu (bronzuri cu beriliu)

Aliajele Cu – Be, denumite bronzuri cu beriliu, conțin cca 2,5% Be. O caracteristică deosebit de importantă a acestor aliaje este aceea că solubilitatea Be în Cu în stare solidă variază cu temperatura și pot fi durificate prin dispersie. Prin călire, pentru punere în soluție la  $t=780...820^{\circ}\text{C}$ , urmată de îmbătrânire artificială la  $t=300...350^{\circ}\text{C}$  se provoacă o durificare structurală, ca urmare a precipitărilor fine de compus CuBe în soluție solidă  $\alpha$ . În stare călită, aceste bronzuri sunt plastice și se prelucrează ușor prin deformare plastică, au o foarte bună rezistență la coroziune, elasticitate mare, sudabilitate și așchiabilitate bună; nu produc scântei la lovire, sunt însă foarte scumpe. Se utilizează pentru lagăre speciale, pentru piese supuse la uzură, pentru piese de ceasornicărie nemagnetice, pentru arcuri, diafragme și în special pentru scule care nu produc scântei la lovire, în industria chimică, petrochimică și lucrări miniere.

## III. Aliaje antifricțiune

Aliajele antifricțiune sunt aliaje susceptibile de a rezista la frecare și se folosesc în construcția cuzinetelor. Având în vedere rolul lor funcțional, ele trebuie să aibă un coeficient de frecare cât mai mic, să se muleze ușor pe arbore, copiindu-i configurația și preluându-i săgeata formată în timpul rotației, să posede o bună conductibilitate termică și o mare rezistență la coroziune și să aibă un punct de topire scăzut ( $230...450^{\circ}\text{C}$ ), pentru că la o creștere exagerată a temperaturii în exploatare să se topească mai întâi cuzinetul, evitându-se deteriorarea arborelui. Pentru a satisface aceste cerințe, ele trebuie să aibă o microstructură eterogenă, alcătuită din compuși duri, înglobați într-o matrice plastică și moale. Constituenții duri și fragili au rol de puncte de sprijin pentru arbore, iar matricea metalică, plastică și moale



contribuie la reducerea coeficientului de frecare, asigurând totodată preluarea solicitărilor complexe transmise cristalelor dure de arborele în mișcare. Calitatea unui aliaj antifricțiune depinde în special de compoziție, de proporția dintre constituenți și de mărimea lor. Ele se pot clasifica în:

- a) aliaje pe bază de Sn, Sn – Sb, Sn – Sb – Cu, Sn – Sb – Pb;
- b) aliaje pe bază de Pb, Pb – Sn, Pb – Sn – Sb, Pb – Sn – Sb – Cu;
- c) bronzuri;
- d) materiale antifricțiune alcalino – pământoase.

După temperatura de topire, aliajele antifricțiune sunt de trei categorii: cu temperatură joasă, cu temperatură medie, cu temperatură înaltă de topire. Aliajele antifricțiune cu temperatură joasă de topire fac parte din sistemele: Sn–Sb, Sn–Sb–Cu, Pb–Sb, Pb–Sn–Sb.

### III.1. Aliaje staniu – stibiu

Aliajele staniu – stibiu conțin 8...18% Sb. Stibiul se dizolvă în Sn formând o soluție solidă  $\alpha$ , care constituie matricea plastică și totodată formează un compus intermetalic SnSb dur și fragil care apare de culoare deschisă la microscop. Aliajele Sn–Sb–Cu conțin 3...7%Cu. Compusul intermetalic SnSb manifestă o tendință puternică de segregare în partea superioară a piesei turnate datorită greutateii specifice reduse. [4, 6]

Prin adăugarea de Cu se formează compusul  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ , care cristalizează la temperaturi ridicate, formând un schelet și împiedicând astfel segregarea compusului SnSb. Structura este formată din cristale geometrice regulate de SnSb, cristale aciculare dispuse sub formă de schelet cu  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  și matricea moale eutectică ( $\alpha + \text{Cu}_3\text{Sn}$ ).

### III.2. Aliaje pe bază de plumb

Aliajele pe bază de plumb sunt mai ieftine și se utilizează două mari categorii: *aliaje Pb–Sn–Sb–Cu*, în care Sn participă în proporție mică și prezintă în structură, în principiu, aceleași faze dure ca și cele cu bază de staniu, masa de bază însă este formată din eutectice bogate în Pb; *aliaje Pb cu elemente alcalino–pământoase*. Se utilizează aliaje: Pb–Ca, Pb–Ca–Na, mai ales pentru cuzineți la vagoane de cale ferată; aliaje cu K, Li, Ba, Mg. Ca este practic insolubil în Pb, în schimb formează compuși  $\text{Pb}_3\text{Ca}$  și PbCa, realizându-se faze dure distribuite în matricea moale de Pb aproape curat. Pentru durificarea matricei, se adaugă, de obicei, cantități mici de Na (0,5...0,7%), care se dizolvă în matrice și câteva zecimi de procente de Mg și Al în vederea stabilizării structurii și a obținerii unor proprietăți bune de turnare. [1, 6, 7]

*Aliajele antifricțiune cu temperatură medie de topire* sunt realizate pe bază de Al cu Cu, Ni, Sn, Si, Fe, matricea moale fiind asigurată de Al sau de o soluție solidă pe bază de Al, iar constituenții duri fiind formați de compuși intermetalici al elementelor de aliere ( $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{NiAl}_3$ ,  $\text{FeAl}_3$  etc.).

*Aliajele antifricțiune cu temperatură înaltă de topire* fac parte dintr-o gamă variată de sisteme de aliaje. Astfel, întâlnim:

- bronzuri obișnuite (Cu–Sn) turnate, la care matricea moale este formată din axele și ramurile dendritelor soluției solide  $\alpha$ , iar constituentul dur fiind format de porțiunile interdendritice bogate în staniu, ca urmare a segregăției și de eutectoidul ( $\alpha + \delta$ );
- bronzuri cu Pb, unde grăunții de plumb formează matricea moale, iar grăunții de Cu constituentul dur.

Putem aminti bronzurile fosforoase, fontele antifricțiune și aliajele sinterizate. Aliajele antifricțiune cu temperatură ridicată de topire sunt recomandate pentru lagăre ce lucrează la presiuni mari și o gamă variată de turații.

### Bibliografie

1. COLAN, H., ș.a. *Studiul metalelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
2. DINESCU, I. *Tehnologia materialelor, Procedee tehnologice*, Editura Academiei Aviației și Apărării Antiaeriene, Brașov, 1998.
3. DINESCU, I. *Tehnologia materialelor, Materiale tehnologice*, Editura Academiei Aviației și Apărării Antiaeriene, Brașov, 1999.
4. DUMITRACHE, C. *Știința materialelor*, Editura Matrix Rom, București, 2002.
5. MITELEA, I., BUDĂU, V. *Studiul metalelor – îndreptar tehnic*, Editura Facla, Timișoara, 1987.
6. SMEADĂ, M., MANIU Al. *Materiale utilizate în tehnica de aviație*, Sesiunea de comunicări științifice cu participare internațională, Brașov, 11-12 Mai 2007.
7. SMEADĂ, M. *Factorii metalurgiei fizicii și chimiei care influențează obținerea materialelor specifice aviației*, Referat nr. 2 susținut în cadrul pregătirii prin doctorat, Catedra Utilaj Tehnologic și Știința Materialelor, Facultatea Știința și Ingineria Materialelor, Universitatea “Transilvania” din Brașov, februarie 2008.

---

\* Mihaela Smeadă, lector univ. drd. fiz., Academia Forțelor Aeriene “Henri Coandă”, Brașov, Mihai Viteazu, nr. 160, tel. 0268/423421, e-mail: mihaelasmeada@yahoo.com

\*\* Ion Dinescu, profesor univ. dr. ing., Academia Forțelor Aeriene “Henri Coandă”, Brașov, Mihai Viteazu, nr. 160, tel. 0268/423421, e-mail: dinescuion@yahoo.com

## PYROTEHNIC ROBOT-CONSTRUCTIVE DESIGN AND COMMAND

Ionel STARETU\*  
Marius IONESCU\*\*

**Abstract:** *Pyrotechnic robots are service robots which are used to reduce the time for intervention of pyrotechnic troops and to diminish the danger for the operators. Pyrotechnic robots are used to inspect dangerous areas or/and to remove and to distroy explosive or suspect devices/objects . These robots can be used to make some corridors through mined battle fields, manipulation and neutralization of the intact ammunition, inspection of the vehicles, trains, airplanes and buildings. For these robots a good functional activity is determinated of dimensions of the work space , kinematics of the robotic arm and of characteristics of the gripper. In the paper structural, kinematic, static synthesis and analysis, design and functional simulation are shown of a robotic arm and the grippers attached from a pyrotechnic robot designed by the authors.*

### 1. Introduction

Pyrotechnic robots are service robots which are used to reduce the time for intervention of pyrotechnic operators and to diminish the danger for them [5].

Pyrotechnic robots are used to inspect dangerous areas or/and to remove and to distroy explosive devices. These robots can be used to make some corridors through mined battle fields, manipulation and neutralization of the intact ammunition, inspection of the vehicles, trains, airplanes and buildings. For these robots a good functional activity is determinated of dimensions of the work space and kinematics of the robotic arm.

In the paper kinematic synthesis and analysis, one command schme and functional simulation are shown regarding a robotic arm from a pyrotechnic robot designed by the authors.

### 2. Pyrotechnic robots – general aspects

A pyrotechnic robot has three main mechanical components: a mobile platform, a robotic arm (the manipulator) and a gripper [2,3].

The mobile platform can be equipped with wheels or crawlers, the robotic arm is a manipulator with 5 or 6 axles and the gripper is usually a gripping mechanism with jaws or, rarely, an anthropomorphic mechanical gripper.

After the comparative structural analysis for more types of pyrotechnic robots (fig.2,a,b), for the designed robot we adopted the structural scheme of fig.2,c.

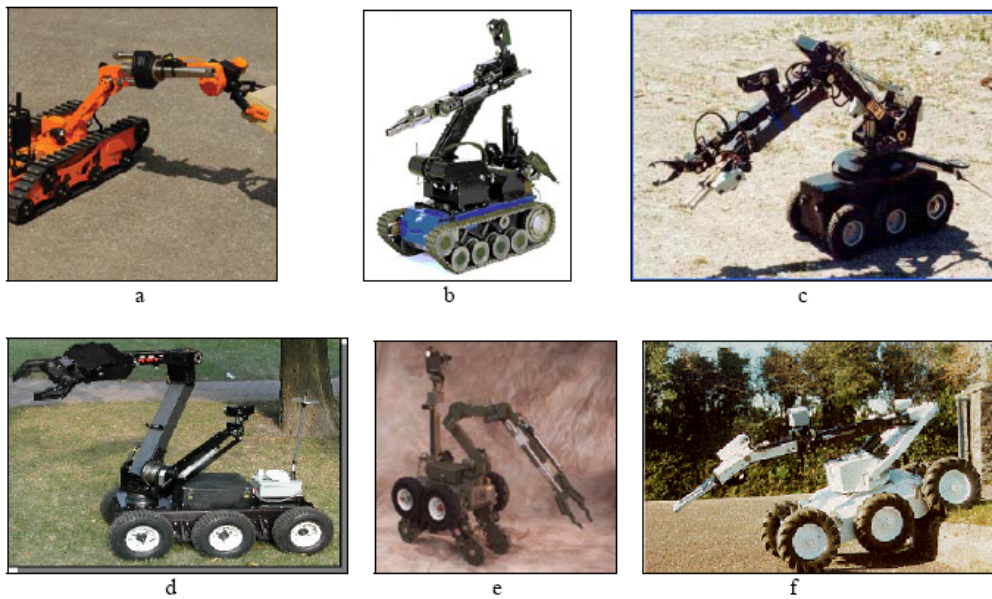


Fig. 1. Main pyrotechnic robots

Table 1. Main characteristics

Nr.	Robot	Platform						
		length	width	height	turret	speed	movement	Slope
1.	Vanguard MK1	915 mm	435 mm	405 mm (packed)	+/- 120°	12,33 m/min	crawlers	40°
2.	Teodor	1300 mm	680 mm	405 mm	420°	0-50 m/min	crawlers	35°
3.	MR1	1170 mm	700 mm	950 mm	-	-	Wheels	40° (with crawlers)
4.	Andros	1245 mm	445,5 mm	1118 mm	-	-	crawlers	45°
5.	Hobo	1468 mm	701 mm	881,4 mm	-	50 m/min	wheels	42°

Nr.	Robotic arm		Gripping system	
	vertical	Horizontal	useful weight	stroke
1.	1320 mm	965 mm	8 Kg (extended arm) 16 Kg (contracted arm)	0 - 20 cm
2.	2400 mm	2800 mm	20 Kg (extended arm) 30 Kg (contracted arm)	0 - 30 cm
3.	2650 mm	1850 mm (5150 mm)	15 Kg ( at 3,5 m) 122 Kg (at 1 m)	-
4.	-	-	-	-
5.	-	-	-	-

This structure is formed of a platform with crawlers, a robotic arm and a linkage gripping mechanism with two jaws.

The platform has degree of freedom  $M = 2$ , each crawler is powered by an electric motor.

After structural analysis of the robotic arm the following conclusion can be formulated: there is 6 outside connections ( $L = 6$ ) and the degree of freedom is 5 ( $M = 5$ ). The gripper has  $M = 1$ .

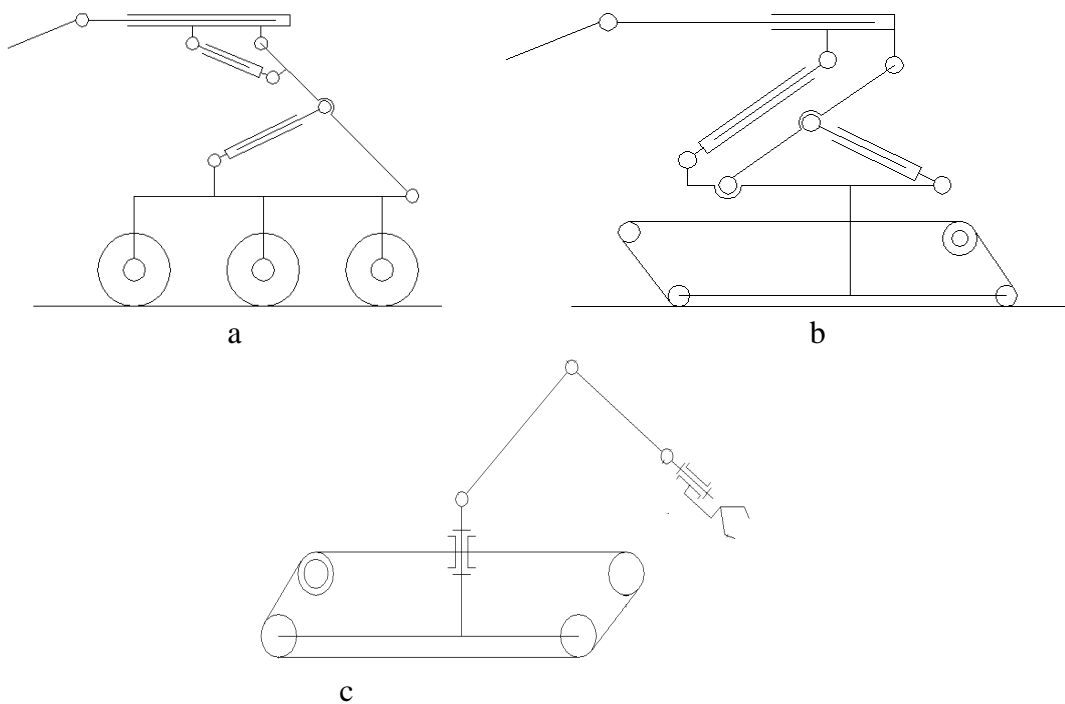


Fig. 2. Structural schemes

### 3. Designed robot – main characteristics

#### 3.1. Structural synthesis of a robotic arm

For the first time the kinematic synthesis is used to obtain the main dimensions (fig.3) for an optimum work space.

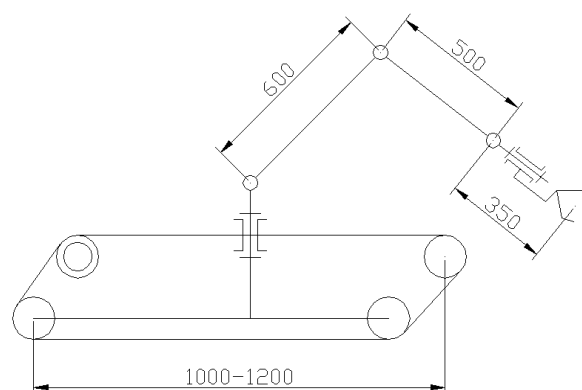


Fig.3. Kinematic scheme

#### 3.2. Kinematic analysis of the robotic arm

The direct kinematics is used to determine the position of the K characteristics point. In this situation the movements of the joints are known. The kinematic scheme is shown in fig.4.

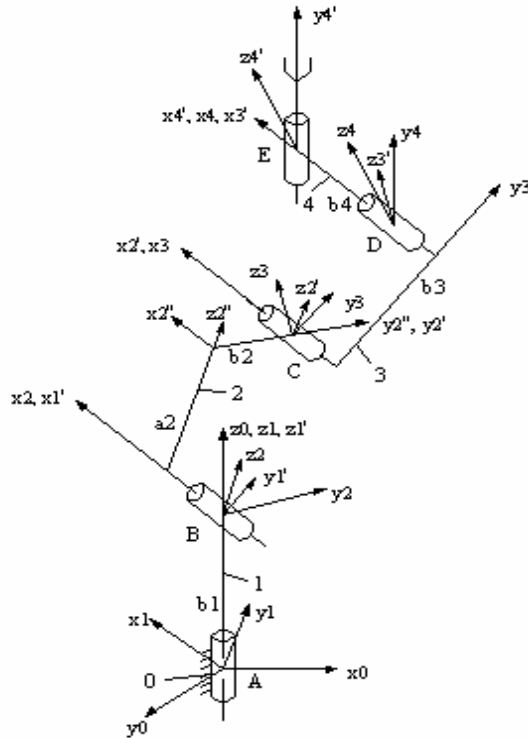


Fig.4. Kinematic scheme

Regarding this kinematic scheme the homogeneous rotative and translational matrices have the following form [1]:

$$R_x := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos(x) & -\sin(x) \\ 0 & 0 & \sin(x) & \cos(x) \end{bmatrix} \quad R_y := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(y) & 0 & \sin(y) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\sin(y) & 0 & \cos(y) \end{bmatrix}$$

$$R_z := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(z) & -\sin(z) & 0 \\ 0 & \sin(z) & \cos(z) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ x & 1 & 0 & 0 \\ y & 0 & 1 & 0 \\ z & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

In these matrices:  $c = \cos(x)$  and  $s = \sin(x)$ .

With the rotative matrices from joints and the translational matrices between the joints, the direct model of the finite movements can be obtained as a compound homogeneous operator E06. We used the MAPLE soft for this. For example:

E05:=simplify(multiply(E01,E12,E23,E34,E45)) and

E35:=multiply(E34,E45);

$$E35 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ b4 & \cos(fi54) & 0 & \sin(fi54) \\ 0 & \sin(fi43)\sin(fi54) & \cos(fi43) & -\sin(fi43)\cos(fi54) \\ 0 & -\cos(fi43)\sin(fi54) & \sin(fi43) & \cos(fi43)\cos(fi54) \end{bmatrix}$$

E25:=simplify(multiply(E23,E34,E45));

E15:=simplify(multiply(E12,E23,E34,E45));

This is verified with numerical values in the following form:

L1:=[fi10=Pi/3,fi21=Pi/6,fi32=Pi/3,fi43=Pi/4,fi54=Pi/12];

$$L1 := \left[ fi10 = \frac{1}{3}\pi, fi21 = \frac{1}{6}\pi, fi32 = \frac{1}{3}\pi, fi43 = \frac{1}{4}\pi, fi54 = \frac{1}{12}\pi \right]$$

L2:=[b1=100,a2=600,b2=200,b3=500,b4=90];

$$L2 := [b1 = 100, a2 = 600, b2 = 200, b3 = 500, b4 = 90]$$

E05s:=evalm(Msubs(L1,L2,E05));

$$E05s := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 154.8076212 & .3244692642 & .6123724358 & .7209158735 \\ 14.54482663 & .9280226547 & -.3535533909 & -.1173624830 \\ 1219.615242 & .1830127019 & .7071067812 & -.6830127020 \end{bmatrix}$$

The position of the K characteristic point will be:

x = 154,8 mm; y = 14,544 mm; z = 1219,61 mm.

#### 4. Functional simulation

The kinematic dimensions and the forces between constructive elements were used for the calculation of strength and then a 3D model was obtained with the CATIA soft [4]. This model was used at a functional simulation for the robotic arm (fig.5).

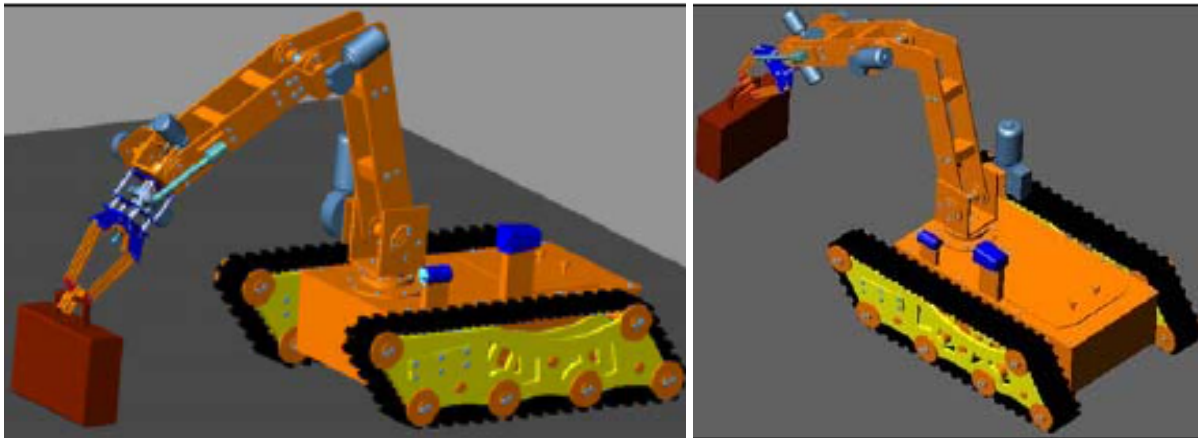


Fig. 5. Functional simulation

The functional simulation is used to obtain an optimum version of the robotic arm and of the pyrotechnic robot too.

#### 5. Command scheme

The general scheme for command and control subsystem is shown in Figure 6.



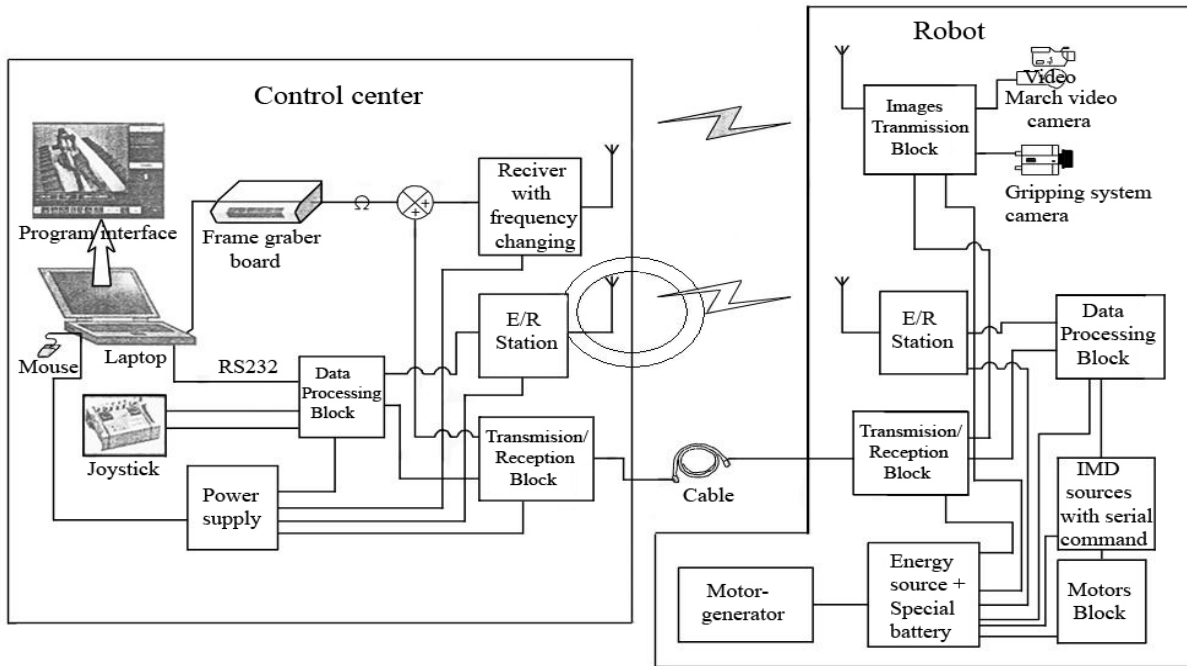


Fig. 6. Command scheme

## 6. Conclusions

The following conclusions can be formulated according to the considerations presented:

1. The main kinematic mechanical component of the pyrotechnic robot is the robotic arm.
2. The dimensions of the robotic arm are essential for local work space of the pyrotechnic robot.
3. The kinematic models (direct and reverse too) are very important for to find the position of the characteristic point of the robotic arm.
4. A functional simulation using a 3D model is very important for obtaining an optimum version of a robotic arm and for a pyrotechnic robot.

## References

- [1] Dutita, FL. s.a. Mecanisme articolate. Inventica-Cinematica, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1989.
- [2] Paun, A., Constantin, G. Tipuri de roboti utilizati la manipularea si determinarea munitiei neexplodate. Revista de Robotica si Management, nr. 1/2002.
- [3] Staretu, I., Daj, I. Roboti de interventie in locuri periculoase – caracteristici constructive si functionale. Buletinul AGIR anul IX, nr. 1-2, ian – iunie 2004, p. 55-58.
- [4] \*\*\* Documentatie CATIA 5.
- [5] \*\*\* Documentatie Internet.

\* Ionel Staretu, prof. univ. dr. ing., Transilvania University of Brasov, Bd. Eroilor nr. 29, Brasov, Romania, tel. 0268412921, e-mail: [staretu@unitbv.ro](mailto:staretu@unitbv.ro).

\*\* Marius Ionescu, drd. ing., Transilvania University of Brasov, Bd. Eroilor nr. 29, Brasov, Romania, tel. 0268412921, [marius.ionescu@unitbv.ro](mailto:marius.ionescu@unitbv.ro).

## ASUPRA REZISTENȚEI ȘI FIABILITĂȚII AMORTIZORULUI CE ECHIPEAZĂ APARATUL DE TRACȚIUNE A VAGOANELOR DE CĂLĂTORI

Aurelia Tănăsioiu \*

*Lucrarea conține un studiu experimental asupra fiabilității elementelor elastice metalice de tip Ringfeder utilizate la echiparea sistemului de cuplare a vehiculelor feroviare în scopul diminuării șocurilor de tracțiune ce apar în exploatare.*

### Cap. I. Generalități

Atât la formarea garniturilor trenurilor cât și în timpul circulației lor apar șocuri datorate existenței unor viteze relative între vagoanele învecinate. În scopul diminuării efectului acestor șocuri de tracțiune, sistemul de legare (tracțiune) ale vehiculelor este echipat cu amortizori de tracțiune [1], [5]. Există o gamă largă de soluții constructive a acestor elemente elastice (metalice, din cauciuc cu elastomeri, hidraulice, hidropneumatice sau combinate). Elementele elastice metalice de tip RINGFEDER (figura 1) sunt o soluție adoptată datorită avantajelor ce le oferă (gabarit potrivit, rezistență în exploatare, caracteristici dinamice adecvate, revizie și întreținere facilă) [3], [4], [6].

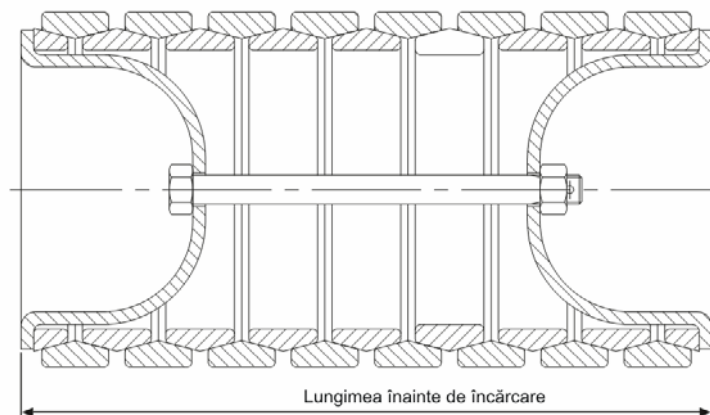


Figura 1 Amortizor cu inele RINGFEDER

## Cap. II. Încercări de flexibilitate

Elementul elastic încercat a fost amortizorul pentru aparat tracțiune vagon AVA 200 ce a fost supus încercărilor de flexibilitate și anduranță conform normelor internaționale UIC 827.2.

Pentru a realiza proba de flexibilitate, și diagramele caracteristicilor amortizorului s-a utilizat o presă hidraulică EP 400, clasa de precizie 0,1 de fabricație Leipzig -Germania, iar pentru proba de anduranță s-a utilizat o presă hidraulică PHC 60 de fabricație Târgu Jiu - România. Pentru măsurarea temperaturii s-a utilizat termometru cu contact tip TERMA 1 de fabricație Germania.

Încercarea de flexibilitate a fost realizată după ce s-au efectuat trei comprimări la cursa maximă indicată.

În continuare s-au aplicat 20 de comprimări la cursa maximă, menținând de fiecare dată acțiunea forței timp de 30 secunde. În final au fost determinate caracteristicile statice obținându-se diagrama din figura 2.

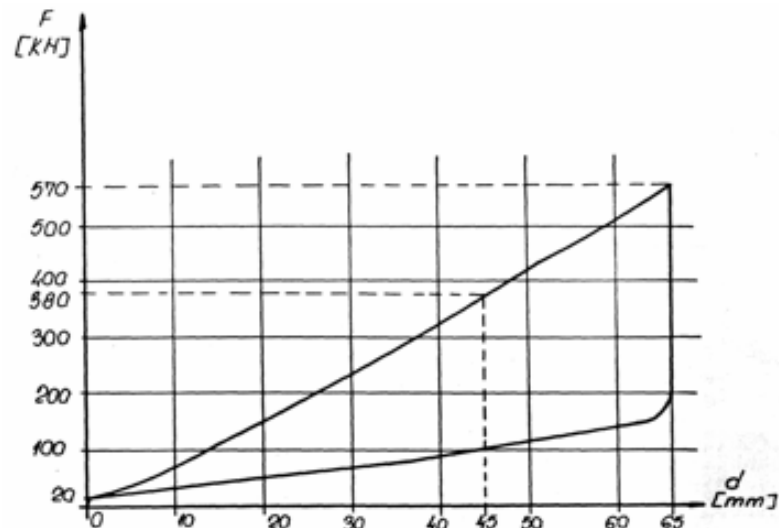


Figura 2 Amortizor cu 3 inele cu fantă pentru aparat tracțiune pt. vagon AVA-200

Valorile caracteristicilor obținute pentru amortizor sunt următoarele:

- energie potențială de deformație înmagazinată  $W_e = 18,525 \text{ KJ}$  ;
- energie potențială de deformație disipată  $W_a = 13,325 \text{ KJ}$ ;
- factor  $\eta = W_a/W_e \quad \eta = 71,92\%$ ;
- forța de precomprimare este de 20 KN;
- forța la cursa de 45 mm este de 380 KN;
- forța la cursa de 65 mm este de 570 KN;
- s-a utilizat unsoare U230 Ca 2 EPM.

## Cap.III. Încercări de anduranță

Amortizorul a fost supus la încercarea de anduranță cu următorul program:

- 200 cicluri cu o sarcină de 85 % din energia înmagazinată;
- 1200 cicluri cu o sarcină de 50 % din energia înmagazinată;
- 3000 cicluri cu o sarcină de 25 % din energia înmagazinată.

Acest program a fost repetat de 3 ori.

Valorile obținute în urma aplicării ciclurilor de solicitare sunt următoarele:

- după programul nr. 1 – figura 3

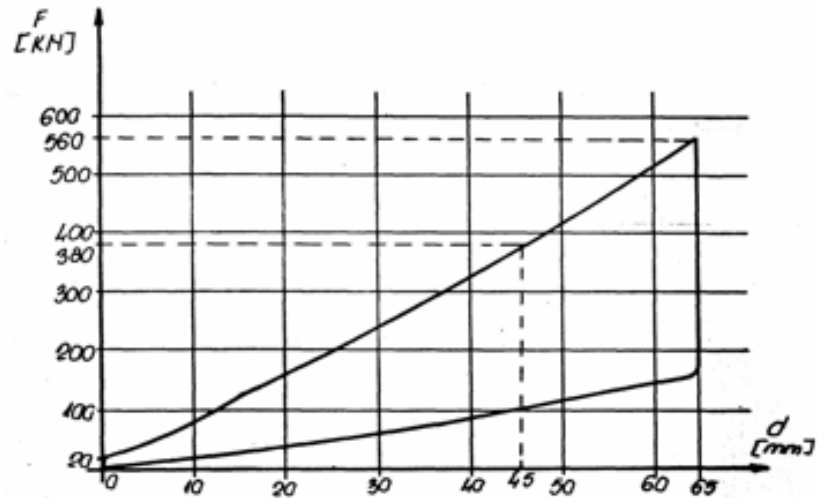


Figura 3 Amortizor cu 3 inele cu fantă pentru aparat tracțiune pt. vagon AVA-200 după primul program de solicitare

- $W_e = 18,2$  KJ;
- $W_a = 13$  KJ;
- $\eta = 71,42\%$ ;
- forța de precomprimare este de 20 KN ;
- forța la cursa de 45 mm este de 380 KN;
- forța la cursa de 65 mm este de 560 KN;
- s-a utilizat unsoare U 230 Go 2 EPM.

- după programul nr. 2 de solicitare – figura 4

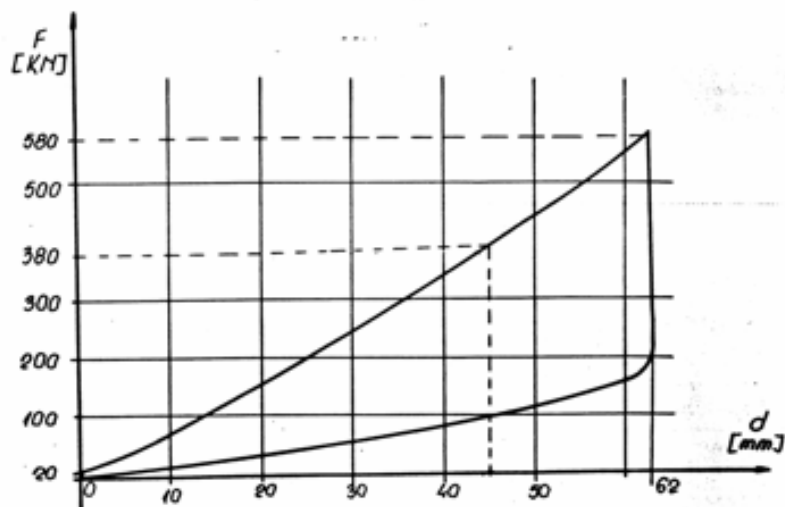


Figura 4 Amortizor cu 3 inele cu fantă pentru aparat tracțiune pt. vagon AVA-200 după al doilea program de solicitare

- $W_e = 17,98$  KJ ;
- $W_a = 13,02$  KJ;
- $\eta = 72,41$  %;
- forța de precomprimare este de 20 KN;
- forța la cursa de 45 mm este de 380 KN;
- forța la cursa de 62 mm este de 580 KN;
- s-a utilizat unsoare Shell Alvania EP-1.

- după programul nr. 3 de solicitare – figura 5

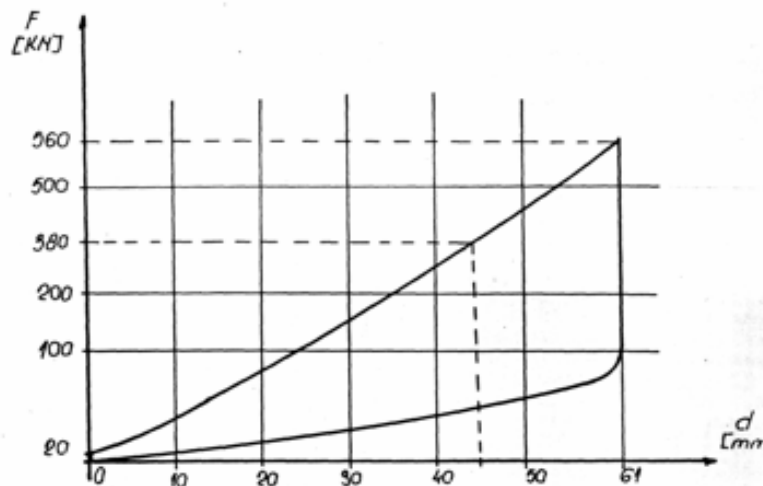


Figura 5. Amortizor cu 3 inele cu fantă pentru aparat tracțiune pt. vagon AVA-200 după al treilea program de solicitare

- $W_e = 17,08$  KJ;
- $W_a = 12,51$  KJ;
- $\eta = 73,24$  %;
- forța de precomprimare este de 20 KN;
- forța la cursa de 45 mm este de 380 KN;
- forța la cursa de 61 mm este de 560 KN;
- s-a utilizat unsoare Shell Alvania EP-1.

În timpul încercării de anduranță s-a urmărit ca temperatura maximă să nu fie mai mare de  $60^{\circ}$  C. Temperatura de lucru a fost între  $50^{\circ}$  C și  $55^{\circ}$  C. Frecvența de aplicare a solicitării a fost de 1,8 cicluri pe minut.

Pe tot parcursul încercărilor de anduranță efectuate cu acest program nu au fost constatate fisuri sau alte defecte ale inelelor RINGFEDER, iar caracteristicile amortizorului după ultimul ciclu de solicitare difera cu maximum 8% față de caracteristicile obținute după proba de flexibilitate. În concluzie se poate afirma că amortizorul a răspuns pozitiv la programul de încercări la care a fost supus.

#### Cap. IV. Încercarea de anduranță de 5000 cicluri

Programul de solicitare de 5000 de cicluri, conform fișei UIC 827.2 s-a efectuat cu amortizorul care în prealabil a fost supus la încercarea de anduranță de  $3 \times 4400$  cicluri.

Regimul de pulsare a fost cu 85 % din energia potențială de deformație înmagazinată și frecvența de 1.8 cicluri/minut. S-a folosit tipul de unsoare Shell Alvania EP-1, iar temperatura de

lucru a fost cuprinsă între 50 - 55°C. După fiecare 500 cicluri aplicate amortizorul a fost uns cu unsoare Shell Alvania EP-1, păstrându-se temperatura de lucru cuprinsă între 50 - 55°C.

În timpul programului de încercări s-au constatat următoarele:

- la numărul 878 de cicluri s-a rupt inelul exterior nr. 3 față de suprafața de sprijin de jos, s-a schimbat inelul rupt, s-a reuns amortizorul cu unsoare Shell Alvania EP-1 și s-a continuat proba de duranță;

- la numărul de 1910 cicluri s-a rupt inelul exterior nr. 2 față de suprafața de sprijin jos. S-a înlocuit inelul rupt, s-a reuns cu unsoare Shell Alvania EP-1 și s-au continuat încercările;

- la numărul 2040 de cicluri s-au rupt inelele exterioare 4 și 5 față de suprafața de sprijin jos, s-au înlocuit inelele rupte și s-a continuat programul de încercări până la atingerea celor 5000 de cicluri impuse.

## Cap. V. Concluzii

Amortizorul testat a răspuns favorabil la încercarea de flexibilitate și de duranță 3 x 4400 de cicluri. La încercarea de duranță de 5000 de cicluri întrucât au apărut pe parcursul încercărilor 4 ruperi de inele se stabilește că cerințele impuse de normele internaționale în ce privește fiabilitatea nu au fost respectate. În consecință s-a considerat că este necesară urmărirea mai atentă a respectării tehnologiei de execuție, a verificării riguroase dimensionale și a aplicării unor tratamente termice [2] ce să conducă alături de un control tehnic de calitate adecvat la creșterea fiabilității.

## Bibliografie

1. Burada C., Buga M., Crăsneanu Al. - "Elemente și structuri portante ale vehiculelor de cale ferată", Editura Tehnică București, 1980.
2. Cartiș Ioan - "Tratamente termice - Tehnologie și utilaje", editura Facla, 1982, Timișoara.
3. Cioclov D. - "Rezistență și fiabilitate la solicitări variabile", Editura Facla, Timișoara, 1975.
4. Copaci I., s.a. - "Studiu asupra determinării experimentale a caracteristicilor izolatoarelor de șoc destinați echipării vehiculelor feroviare", Lucrările științifice ale simpozionului internațional "Universitaria ROPET 2003", Petroșani, Inginerie Mecanică, ISBN 973-8260-37-X, pag. 85-90.
5. Copaci I., s.a. - "Rezistența la solicitări variabile care apar în exploatarea vehiculelor feroviare", Editura MIRTON, Timișoara, 2005.
6. Sebeșan I., Hanganu D. - "Proiectarea suspensiilor pentru vehicule pe șine", Editura Tehnică București, 1993.

---

\* Aurelia Tănăsioiu, ș.l. dr. ing., Universitatea "Aurel Vlaicu" Arad, tanasioiu.aurelia@rdslink.ro

## **ASUPRA REZISTENȚEI ȘI FIABILITĂȚII ARCURILOR METALICE ELICOIDALE Ø24,4mm ȘI Ø31mm UTILIZATE LA SUSPENSIA BOGHIULUI Y25 LsdI CE ECHIPEAZĂ VAGOANELE DE MARFĂ**

Aurelia TĂNĂSOIU\*  
Bogdan TĂNĂSOIU\*\*

*Studiul teoretic a evidențiat calculul efectuat pentru arcurile elicoidale ale suspensiei boghiului Y25LsdI destinate echipării vagoanelor de marfă. A fost ales tipul de solicitare axială de compresiune întrucât arcurile elicoidale având diametrul spirei de Ø31mm respectiv Ø24,4mm sunt legate în paralel în cadrul suspensiei boghiului. Subansamblul studiat a fost sprijinit pe secțiunea transversală, pe capătul leagănelui boghiului, iar forțele de compresiune au fost aplicate în capătul opus în acord cu situația din exploatare.*

### **1. Generalități**

Elementele elastice metalice, sub formă de arcuri elicoidale, arcuri bară de torsiune și arcuri lamelare sunt larg utilizate la vehiculele pe șine ca elemente de suspensie. Ca și celelalte tipuri de elemente elastice folosite la suspensii, arcurile metalice sunt organe de mașini cu o mare elasticitate. Datorită acestui fapt ele înmagazinează un lucru mecanic de deformare pe care îl redau, în cea mai mare parte, sistemului mecanic sub formă de energie cinetică, când acțiunea sarcinii a încetat. Folosirea acestei proprietăți conduce, în funcție de condițiile impuse suspensiei în plan vertical și orizontal de spațiul disponibil pentru montarea arcului, de mărimea și felul solicitării, la diferite tipuri de arcuri[1], [7], [3], [5], [4].

Arcurile elicoidale cași arcurile bară de torsiune, în comparație cu arcurile lamelare, au un grad ridicat de utilizare a materialului, tehnologia de fabricare și reparare este relativ simplă, nu necesită întreținere în exploatare și sunt sensibile la perturbații mici.

### **2. Determinarea prin metoda elementului finit a stării de tensiune utilizând programul ALGOR**

*Prezentarea programului ALGOR*

Mai multe tehnici analitice sunt disponibile pentru a determina compatibilitatea modelului analizat. Mediul Superview IV Results oferă acces la aceste tehnici oferind atât tensiunile brute în coordonate locale și multe valori derivate din acestea. Valorile derivate



includ criteriile von Mises și Tresca, tensiunile principale minime și maxime și rezultate specifice elementelor. Dat fiind că acuratețea rezultatelor analitice depinde de modul de alegere al discretizării și aplicarea parametrilor MEF, mediul Superview IV Results oferă o estimare a preciziei la nodurile comune [6]. Această valoare a preciziei ajută la determinarea compatibilității modelului.

În continuare se definesc următoarele tensiuni oferite de program:

- *Tensiune Von Mises*

Afișarea rezultatelor este sub forma tensiunii echivalente Von Mises. Aceasta poate fi afișată pentru elemente de suprafață (2-D, plăci, etc.) și elemente de volum.

Ecuția folosită este:

$$\sigma_e = \sqrt{0,5 \cdot [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (1.1)$$

Unde  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  și  $\sigma_z$  sunt tensiunile axiale în direcțiile globale, iar  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{xz}$  (figura 1.1) sunt forțele tăietoare. Tensiunea von Mises este întotdeauna pozitivă.

În funcție de tensiunile principale  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  și  $\sigma_3$  tensiunea echivalentă von Mises este dată de relația:

$$\sigma_e = \sqrt{0,5 \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (1.2)$$

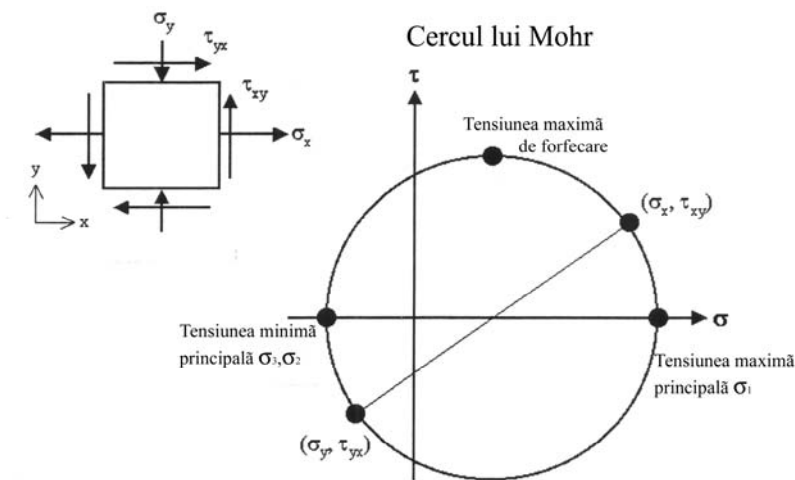


Figura 1.1 Starea de tensiune dintr-un element și cercul lui Mohr

- *Tensiunea principală minimă ( $\sigma_3$ )*

Afișează tensiunea principală minimă ( $\sigma_3$ ). Aceasta poate fi afișată pentru elemente de suprafață (2-D, plăci etc.) și volum. Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune (figura 1.1).

- *Tensiunea principală intermediară ( $\sigma_2$ )*

Afișează tensiunea principală intermediară ( $\sigma_2$ ). Aceasta este tensiunea în direcție normală la tensiunile principale minimă și maximă. Aceasta poate fi afișată pentru elemente de suprafață (2-D, plăci etc.) și volum. Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune (figura 1.1).

- *Tensiunea principală maximă ( $\sigma_1$ )*

Afișează rezultatele pentru tensiunea principală maximă ( $\sigma_1$ ). Aceasta poate fi afișată pentru elemente de suprafață (2-D, plăci etc.) și volum. Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune (figura 1.1).

- *Tensorul tensiunilor*

Afișează componentele tensiunii în direcția aleasă. Practic, folosește atât tensorul tensiune cât și componentele locale ale tensiunii. Tensorul tensiunii poate fi afișat pentru elemente suprafață (2-D, plăci etc.) și volum.

- direcția  $xx$  – componentele tensorului tensiunii ce reprezintă tensiunea normală pe direcția  $x$ . Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune.

- direcția  $yy$  – componentele tensorului tensiunii ce reprezintă tensiunea normală pe direcția  $y$ . Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune.

- direcția  $zz$  – componentele tensorului tensiunii ce reprezintă tensiunea normală pe direcția  $z$ . Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune.

- direcția  $xy$  – componentele tensorului tensiunii ce reprezintă tensiunea de forfecare în planul  $xy$  ( $x$  indică direcția normală,  $y$  indică direcția tensiunii de forfecare). Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune.

- direcția  $yz$  – componentele tensorului tensiunii ce reprezintă tensiunea de forfecare în planul  $yz$  ( $y$  indică direcția normală,  $z$  indică direcția tensiunii de forfecare). Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune.

- direcția  $zx$  – componentele tensorului tensiunii ce reprezintă tensiunea de forfecare în planul  $zx$  ( $z$  indică direcția normală,  $x$  indică direcția tensiunii de forfecare). Semnul (+) indică întindere și (-) compresiune.

*Calculul pentru arcurile elicoidale ale suspensiei boghiurilor Y25Lsdi*

Calculul s-a efectuat pentru arcurile elicoidale ale suspensiei boghiului Y25Lsdi destinate echipării vagoanelor de marfă, având diametrul spirei de  $\varnothing 24,4\text{mm}$  și  $\varnothing 31\text{mm}$ . Tipul de solicitare este de compresiune axială. Arcurile studiate au fost sprijinite pe secțiunea transversală, pe capătul leagănului boghiului, iar forțele de compresiune au fost aplicate în capătul opus în acord cu situația din exploatare.

Arcurile au fost discretizate în elemente de volum (cărămidă și tetraedale) astfel:

- arcul exterior  $\varnothing 31\text{mm}$  cu număr de noduri 3484 având 7485 elemente de discretizare;
- arcul interior  $\varnothing 24,4\text{mm}$  cu număr de noduri 2269 având 5692 elemente de discretizare.

Forțele aplicate au fost următoarele:

- pentru arcul exterior  $\varnothing 31\text{mm}$  49000N;
- pentru arcul interior  $\varnothing 24,4\text{mm}$  43000N.

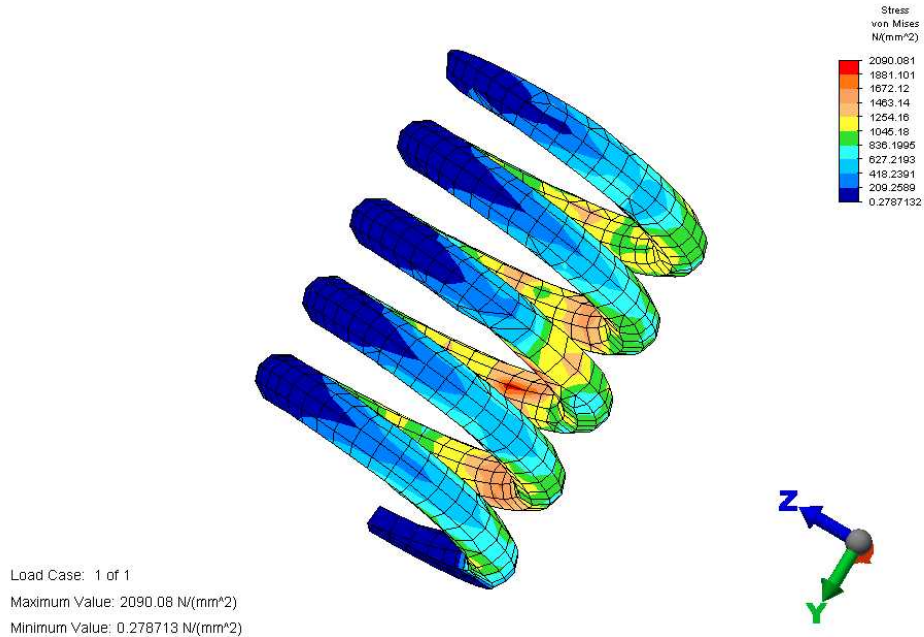


Fig. 2.1.

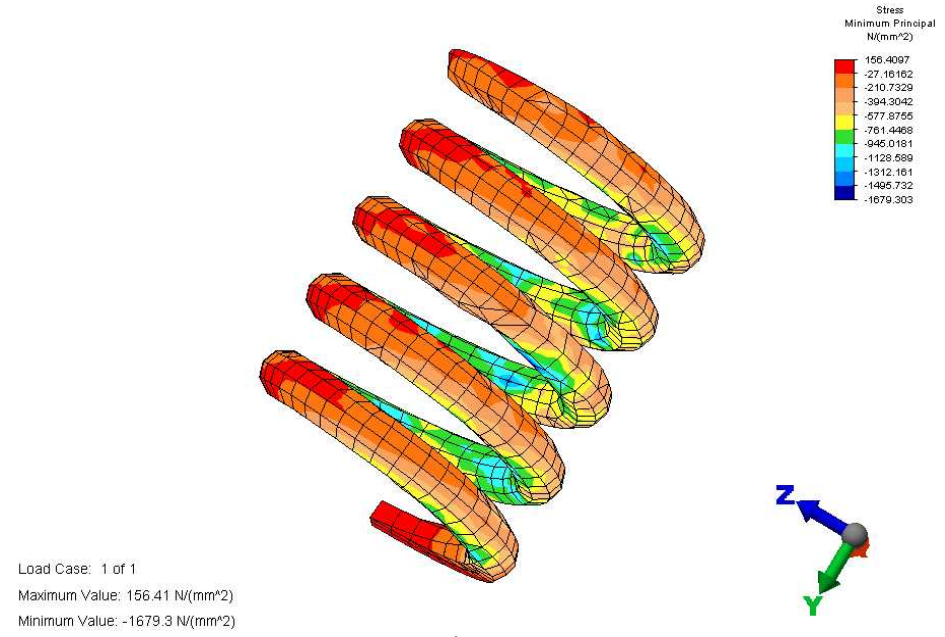


Fig. 2.2.

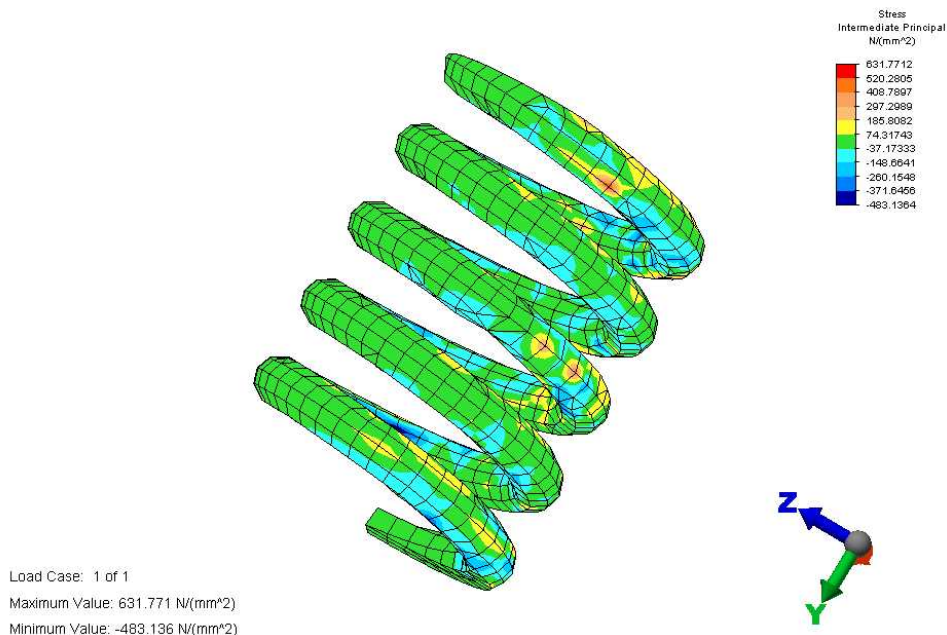


Fig. 2.3.

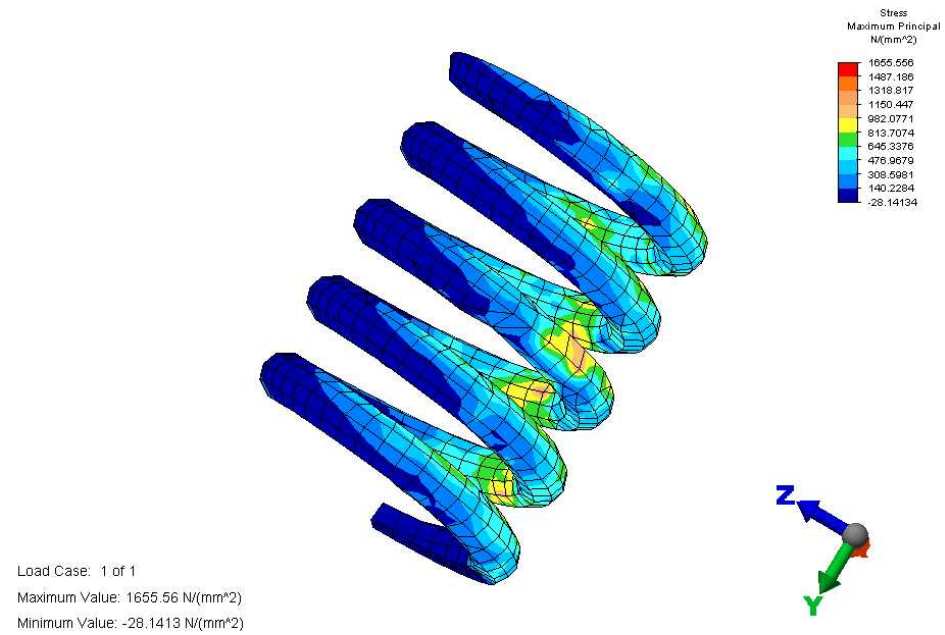


Fig. 2.4.



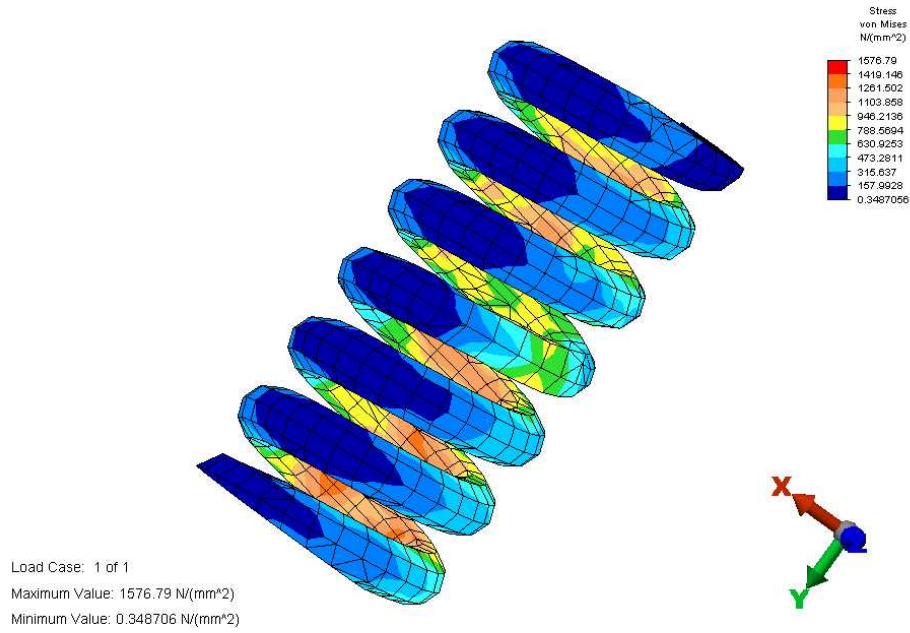


Fig. 2.5.

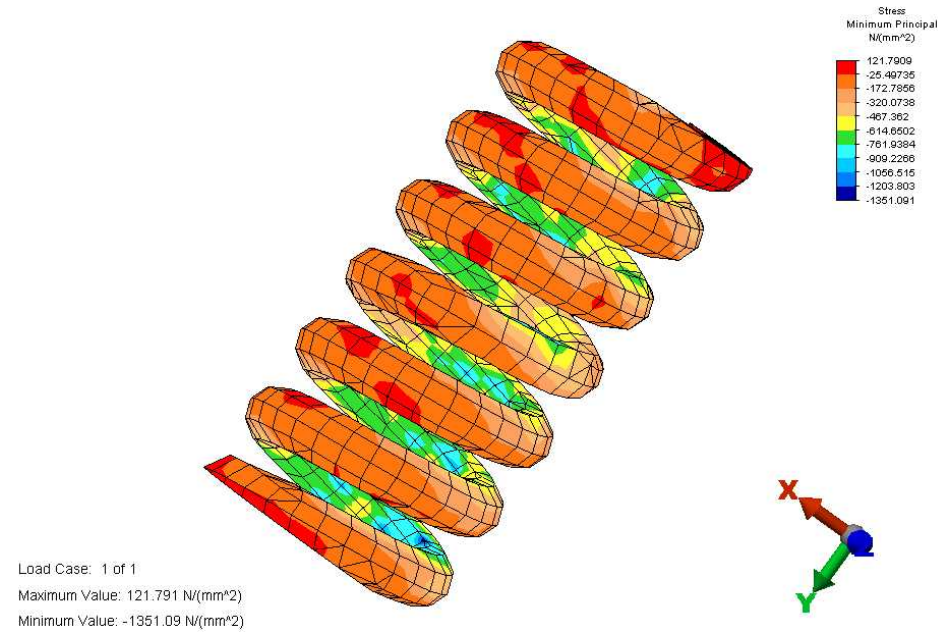


Fig. 2.6.

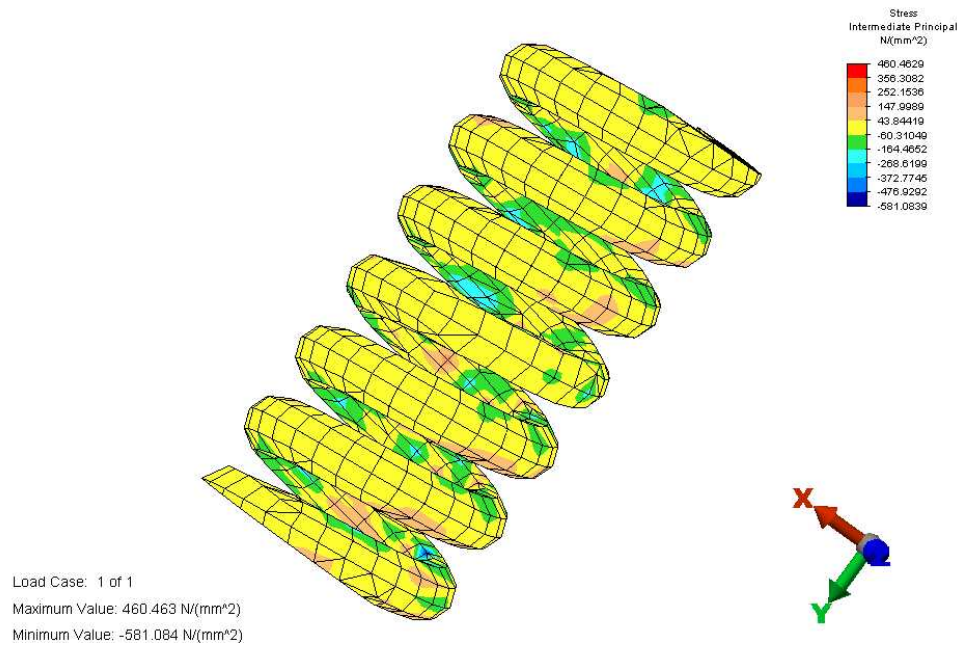


Fig. 2.7.

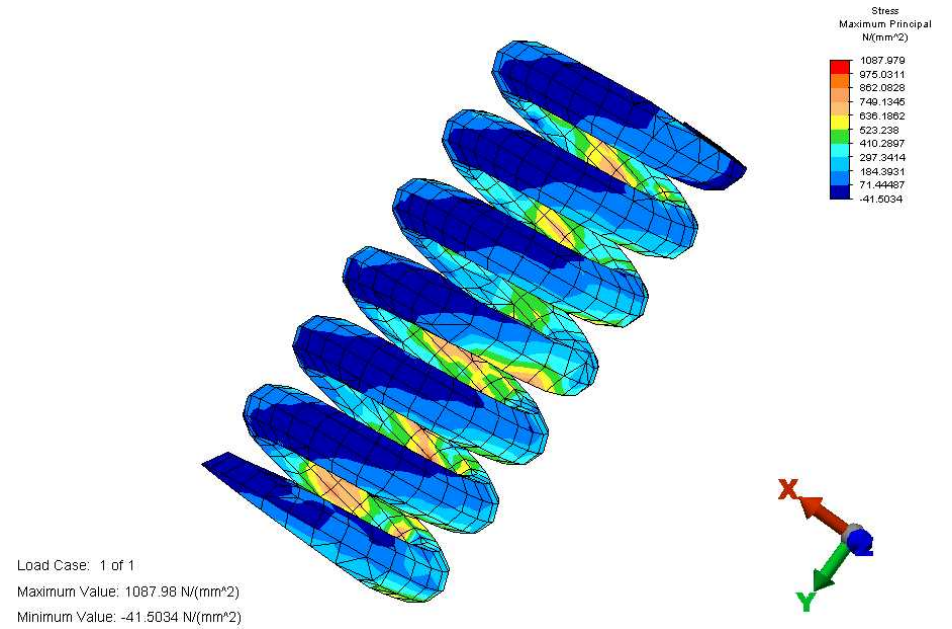


Fig. 2.8.

Caracteristicile mecanice ale oțelului 50CrV4 utilizat în construcția arcurilor sunt:

- limita de elasticitate  $R_{p0.2} = 1511 \text{ N/mm}^2$ ;
- rezistența la rupere  $R_m = 1636 \text{ N/mm}^2$ .

Tensiunile maxime de întindere în toate situațiile tratate sunt cu cel puțin 24% sub valoarea limitei de elasticitate de  $1511 \text{ N/mm}^2$ , așa încât posibilitatea apariției unei fisuri datorată unor deformații permanente este eliminată.

Rezultatele calculului sunt prezentate în tabelul 2.1 și în figurile 2.1 – 2.8.

Tabel 2.1

Tensiuni calculate	Arc Ø31mm		Arc Ø24,4mm	
	$\sigma_{\max} [\text{N/mm}^2]$	$\sigma_{\min} [\text{N/mm}^2]$	$\sigma_{\max} [\text{N/mm}^2]$	$\sigma_{\min} [\text{N/mm}^2]$
Tens. von Mises	1672	0,27	1576	0,34
Tens. max. princ.	1150	-28,14	862	-41,50
Tens.interm.princ.	408	-37,17	356	-164,46
Tens. min. princ.	156,40	-1128,58	121,79	-1056,51
Tensor z-z	937,51	-186,11	499,14	-755,64
Tensor y-y	599,35	9,22	258,14	-400,56
Tensor x-x	563,47	-842,01	386,04	-644,13
Tensor z-x	658,88	-487,91	215,91	-369,35
Tensor y-z	327,20	-740,45	316,62	-604,97
Tensor x-y	638,18	-797,52	575,34	-272,49

Săgeata arcului exterior rezultă a fi de 100mm, iar a arcului interior de 60mm.

Din calculul teoretic rezultă în mod evident că arcul va rezista în exploatare întrucât nu sunt depășite valorile admisibile impuse de materialul utilizat.

### 3. Încercări de anduranță

Regimul de pulsație pentru arcurile metalice elicoidale Ø24,4mm și Ø31mm utilizate la suspensia boghiului Y25 Lsdi ce echipează vagoanele de marfă [5], [8] este prezentat în tabelul 3.1, respectiv 3.2.

Încercările de oboseală prezentate în tabelele 3.1 și 3.2 au fost efectuate conform normelor germane DB nr. 2 Fwg 696.0.02.023.002 în acord cu normele europene.

Tabelul 3.1

Arcuri de compresiune(interior) Ø24					
Treapta de sarcină	Lungimea sub sarcina statică [mm]	Cursa superioară [mm]	Cursa inferioară [mm]	Cursa [mm]	Număr de cicluri
1	$L_1 = 203$	$L_0 = 217.8$	$L_u = 188.2$	$\pm 14.8$	$2.0 \times 10^6$
2	$L_1 = 203$	$L_0 = 218.4$	$L_u = 187.6$	$\pm 15.4$	$1.0 \times 10^6$
3	$L_1 = 203$	$L_0 = 219.5$	$L_u = 186.5$	$\pm 16.4$	$1.0 \times 10^6$

Tabelul 3.2

Arcuri de compresiune (exterior) $\Phi 31$					
Treapta de sarcină	Lungimea sub sarcina statică [mm]	Cursa superioară [mm]	Cursa inferioară [mm]	Cursa [mm]	Număr de cicluri
1	$L_1 = 200$	$L_0 = 210.5$	$L_u = 189.5$	$\pm 10.5$	$2.0 \times 10^6$
2	$L_1 = 200$	$L_0 = 212.6$	$L_u = 187.4$	$\pm 12.6$	$1.0 \times 10^6$
3	$L_1 = 200$	$L_0 = 216.7$	$L_u = 183.3$	$\pm 16.7$	$1.0 \times 10^6$

În timpul încercărilor de duranță au fost verificate în mod continuu regimul de pulsare și a fost contorizat numărul de cicluri. Rezultatele testelor de duranță sunt cuprinse în tabelele 3.3 și 3.4.

Tabelul 3.3

Arcuri de compresiune (interior) $\Phi 24,4$		
Număr arc	Joc de pulsație	Observații
1	1128000	Ruptură la prima treaptă de sarcină
2	3354000	Ruptură la a treia treaptă de sarcină
3	1249000	Ruptură la prima treaptă de sarcină

Tabelul 3.4

Arcuri de compresiune (exterior) $\Phi 31$		
Număr arc	Număr cicluri	Observații
1	4000000	Treapta de sarcină 1-3 trecută
2	4000000	Treapta de sarcină 1-3 trecută
3	4000000	Treapta de sarcină 1-3 trecută

Analizând rezultatele experimentale obținute am desprins concluzia că arcurile  $\Phi 31$ mm au răspuns pozitiv la încercarea de duranță și nu au fost constatate defecte, fisuri sau rupturi.

#### 4. Concluzii

Încercările de duranță efectuate în scopul stabilirii fiabilității arcurilor elicoidale au condus la următoarele:

- arcurile  $\Phi 31$  au răspuns pozitiv la încercarea de duranță și nu au fost constatate defecte, fisuri sau rupturi;
- la arcurile  $\Phi 24,4$  au fost constatate ruperi ale arcului în dreptul primei spire sau la nivelul spirei trei spre patru (aproximativ mijlocul arcului). Ruperea arcurilor a fost pentru arcul 1 și 3 în timpul primei trepte de sarcină aplicată, iar pentru arcul 2 la a treia treaptă de sarcină aplicată.

Ca și concluzie finală se impune să remarc că răspunsul negativ la proba de duranță a arcului  $\Phi 24,4$  se datorează depășirii valorilor impuse pentru duritate și a neîncadrării în limitele prescrise pentru reziliență semnalate anterior. Se impune respectarea cu strictețe a caracteristicilor mecanice ale materialului prin respectarea tehnologiei de execuție și a tratamentului termic aplicat. Astfel se poate garanta o fiabilitate adecvată acestor tipuri de elemente elastice ce echipează boghiurile vehiculelor feroviare.

## Bibliografie

1. Ayadi S. , Hadj-Taieb E., Pluvinage G. - "The numerical solution of strain wave propagation in elastical helical springs".
2. Ayadi S., Hadj-Taieb E. - "Simulation numerique du comportement dynamique lineaire des ressorts helicoidaux", Transactions of the Canadian Society of Mechanical Engineering, In Press, 2006.
3. Becker L.E. , Chassie G.G. , Cleghorn W.L. - "On the natural frequencies of helical compression springs", International Journal of Mechanical Sciences, vol. 44, 2002, p. 825-841.
4. Chou P.C., Mortimer R.W. - "Solution of one dimensional elastic wave problems by the method of characteristics", Journal of Applied Mechanics, Trans. ASME, vol. 34, 1967, p. 745-750.
5. Copaci I., s.a. - "Rezistența la solicitări variabile care apar în exploatarea vehiculelor feroviare", Editura MIRTON, Timișoara, 2005.
6. Dammak F., Taktak M., Abid S., Dhieb A., Haddar M. - "Finite element method for the stress analysis of isotropic cylindrical helical springs", European Journal of Mechanics A/Solids 24, vol. 12, 2005, p. 1068-1078.
7. Sebeșan I., Hanganu D. - "Proiectarea suspensiilor pentru vehicule pe șine", Editura Tehnică București, 1993.
8. Tănăsioiu A. - "Influența elasticităților structurilor portante ale vehiculelor de cale ferată asupra siguranței ghidării", Teză doctorat, București 2006.

---

\* Aurelia Tănăsioiu, □.I. dr. ing., Universitatea "Aurel Vlaicu" Arad, [tanasioiu.aurelia@rdslink.ro](mailto:tanasioiu.aurelia@rdslink.ro)

\*\* Bogdan Tănăsioiu, student Universitatea "Aurel Vlaicu" Arad, [bogdyt@yahoo.com](mailto:bogdyt@yahoo.com)



## SENZORI ULTRASONICI FOLOSIȚI LA NAVIGAȚIA ROBOȚILOR MOBILI

Radu ȚĂRULESCU\*  
Stelian ȚĂRULESCU\*\*

### Rezumat

*În această lucrare se prezintă contribuții privind optimizarea configurației senzorilor unui robot mobil în vederea unei mai bune orientări în spațiul de lucru (mediu ambiant). Pentru studiul modului de orientare (navigație) s-a folosit un senzor ultrasonic analogic de tip FESTO (aflat în laboratorul de senzorică al Catedrei de Mecanică Fină și Mecatronică a Facultății de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania Brașov), cu un modul de emisie și un modul receptor. S-a studiat modul de dispunere a senzorilor pe robotul mobil și influența diferiților factori perturbatori din mediul ambiant.*

### I. Introducere

Una dintre categoriile de senzori folosiți la navigația unui robot mobil o constituie categoria senzorilor ultrasonici. Întâlniți în literatura de specialitate și sub denumirea de sonar (en. Sound Navigation and Ranging), senzorii ultrasonici folosesc un principiu oarecum asemănător cu senzorii IR., dar în loc de a transmite fascicule luminoase, ei folosesc semnale acustice (sunete). Un emițător sonar transmite un semnal acustic în mediu, urmând apoi ca reflecția acestuia să fie recepționată de componenta detector a sensorului. Timpul în care semnalul este receptat înapoi de senzor precum și atenuarea semnalului reprezintă aspecte exploatate de diferitele tipuri de senzori sonar.

Sunetele transmise de senzorii sonar sunt de regulă în spectrul de sunete ultrasonice. având o frecvență foarte înaltă pentru a nu putea fi detectate de urechea umană.

Principiul de funcționare al senzorilor sonar a fost împrumutat din lumea animală, atât liliecii cât și delfinii folosind aceleași tehnici pentru a localiza și identifica diferitele caracteristici ale unui anumit obiect.

Dacă semnalul acustic trimis de emițător se propagă direct către un obiect, se reflectă de acesta și revine înapoi la detector, distanța până la obiectul respectiv poate fi calculată prin:

$$d = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t \quad (1)$$

În formula de mai sus,  $t$  reprezintă intervalul de timp în care semnalul acustic ajunge de la emițător înapoi la detector, iar  $v$  reprezintă viteza sunetului emis în mediu, calculată cu formula:

$$v = v_0 + 0,6 \cdot T \text{ [m/s]} \quad (2)$$

Unde  $v_0$  reprezintă viteza sunetului în aer la temperatura de 0 grade Celsius, iar  $T$  temperatura în grade Celsius. Astfel, se poate calcula viteza semnalului acustic în aer la o anumită temperatură.

Formula de mai sus este doar o aproximare. Viteza sunetului în practică mai este afectată și de densitatea aerului (altitudine) precum și de alți factori precum umiditatea aerului sau concentrația de praf în aer [1].

Senzorii ultrasonici au unghiuri de emisie și de recepție destul de mari (între 10 grade și 120 grade), dar nu suficient de mari pentru a permite o investigație panoramică (360 grade). Aceasta poate fi obținută folosind mai multe sisteme emitor / receptor sau amplasând senzorul pe o platformă rotativă [2].

## II. Navigația robotului dotat cu senzori ultrasonici

În figura 1 este prezentat un robot mobil aflat într-un mediu (spațiu de lucru) cu două obstacole, 1 și 2. Robotul trebuie să se miște, evitând obstacolele, în vederea atingerii punctului țintă. Prima etapă este cea de detecție a obstacolelor [3]. În primul caz, figura 1.a), robotul mobil are montat un singur senzor acustic, amplasat frontal, având unghiul de emisie / recepție de 15 grade. În această situație, robotul nu detectează nici unul din cele două obstacole. Același lucru se întâmplă și în cazul următor, când robotul are montați doi senzori acustici, figura 1.b).

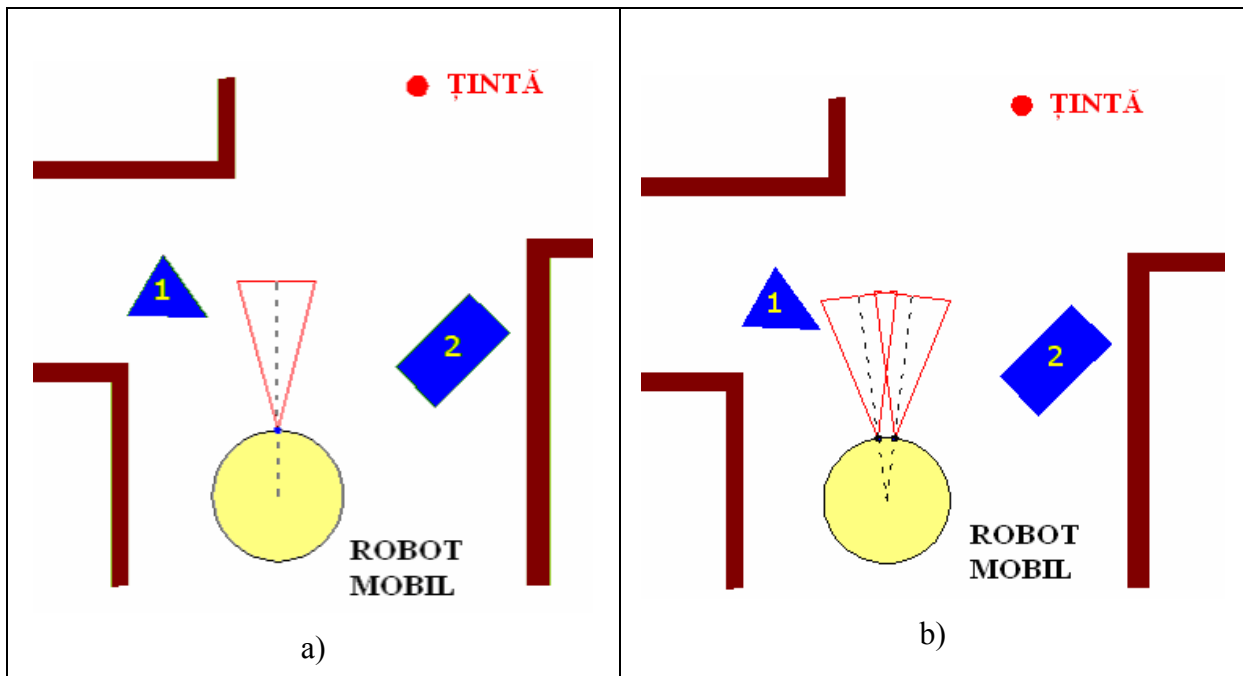


Fig. 1. a) Robot mobil cu un singur senzor acustic; b) Robot mobil cu doi senzori acustici, amplasați la 7,5 grade față de axa principală;

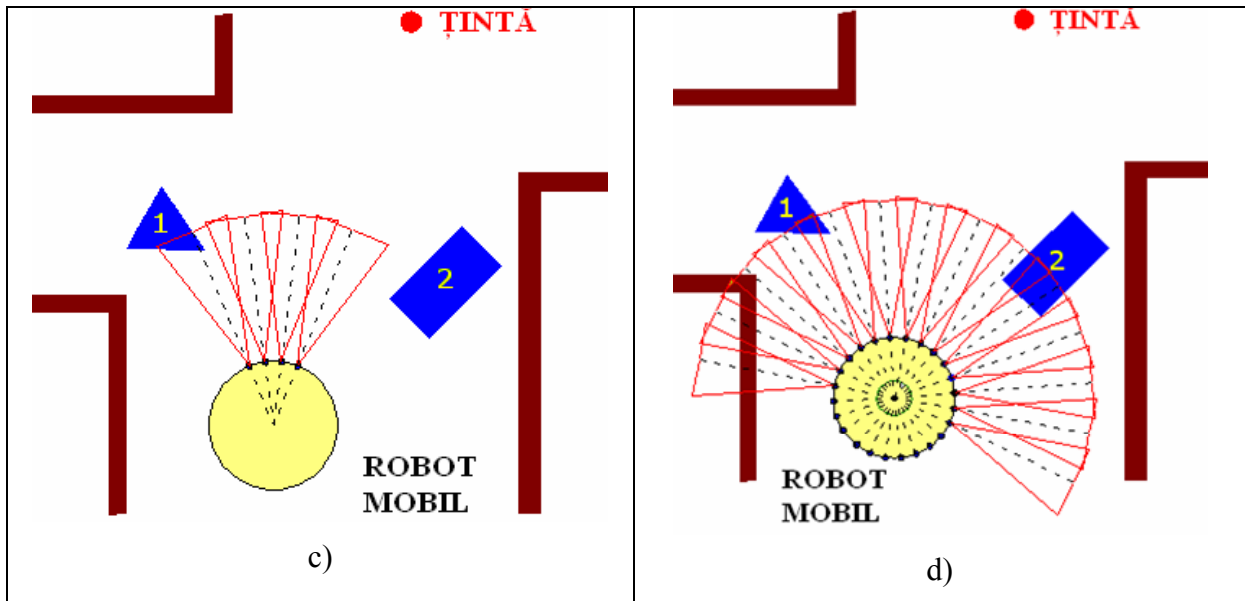


Fig. 1. c) Robot mobil cu patru senzori acustici, amplasați la 7,5 grade față de axa principală;  
d) Robot mobil cu douăzeci și patru de senzori acustici, amplasați la 7,5 grade față de axa principală.

În al trei-lea caz, figura 1.c), când robotul mobil are montați patru senzori acustici este detectat obstacolul 1, însă obstacolul 2 rămâne nedetectat. Pentru o investigație completă, robotul mobil trebuie să aibă montați senzori acustici de jur împrejur, în număr de douăzeci și patru figura 1.d). Numărul de senzori este proporțional cu dimensiunea unghiului emisie / recepție. În acest caz ambele obstacole sunt detectate iar distanța până la ele poate fi calculată. Așadar robotul poate demara etapele de planificare a drumului și de control a mișcării.

O metodă mai simplă este cea de montare a unui singur senzor acustic pe o platformă rotativă, figura 2. În acest mod se realizează scanarea completă a spațiului de lucru. Această metodă este folosită în mod uzual la roboții mobili echipați cu alte tipuri de senzori (vizuali, laser), pentru confirmarea prezenței obstacolelor.

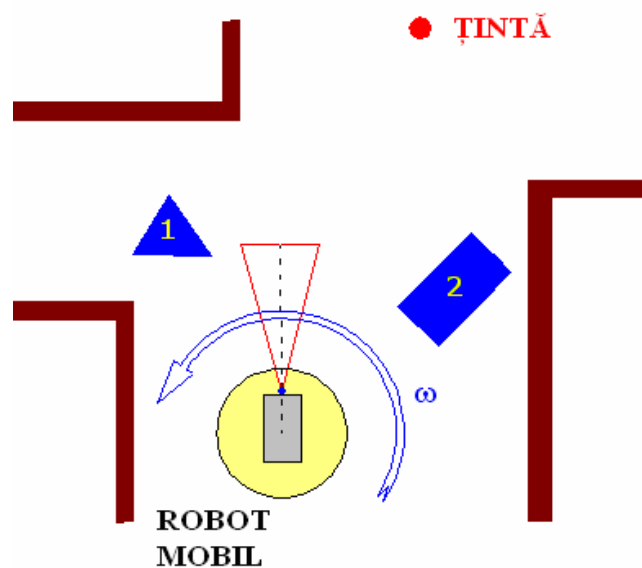


Fig. 2. Robot mobil cu un singur senzor montat pe o platformă rotativă

### III. Senzorul ultrasonic folosit

În vederea orientării robotului e folosit un senzor ultrasonic analogic de tip FESTO [4] (aflat în laboratorul de senzorică al Catedrei de Mecanică Fină și Mecatronică a Facultății de Inginerie Mecanică, Universitatea Transilvania Brașov), cu un modul de emitere și un modul receptor.



Fig. 3. Senzor ultrasonic analogic FESTO

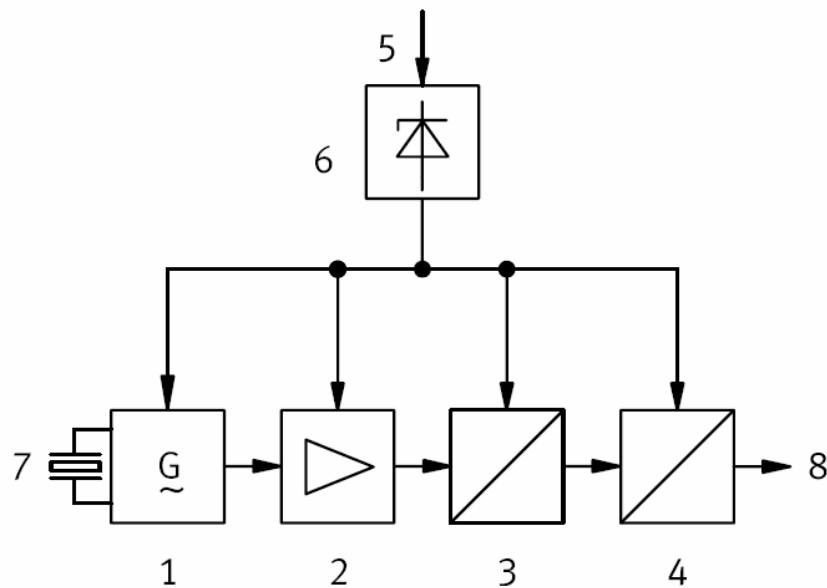


Fig 4 Schema bloc a senzorului ultrasonic

- 1 - Oscilator
- 2 - Amplificator
- 3 - Unitate de evaluare
- 4 - Condiționarea semnalului de ieșire
- 5 - Tensiune externă
- 6 - Alimentare cu tensiune internă constantă
- 7 - Traductor ultrasonic
- 8 - Ieșire: Semnal curent

Tabelul 1. Date tehnice

Tensiunea de operare	24 V DC
Consumul de energie electrică	<35 mA
Rezistor de sarcină	<400 Ω
Curentul la ieșire	6 – 20 mA
Distanța de măsurare	150 – 500 mm
Temperatura de operare	-20 – +75°C
Eroarea de liniaritate	0,2%
Frecvența de ceas măsurată	40 Hz
Unghiul de recepție a sunetului	5°
Protecție la inversarea polarității	da
Clasa de protecție	IP 65
Materiale	plastic
Greutate	250 g

#### IV. Factori perturbatori

Informația provenită de la senzorul ultrasonic e zgomotoasă și parțial incorectă. Pentru a dezvolta procedurile de decizie e important de analizat efectele unor factori perturbatori [5].

##### a) Atenuarea atmosferică

Puterea semnalului acustic care pleacă de la o sursă scade conform cu legea inversului pătrat.

$$I = \frac{I_0}{4\pi R^2} \quad (3)$$

Unde:

I = intensitatea (puterea per suprafață) la distanța R

I<sub>0</sub> = intensitatea maximă (inițială)

R = distanța.

De asemenea există și o pierdere exponențială asociată cu absorția moleculară a energiei sunetului de către mediul ambiant.

$$I = I_0 e^{-2\alpha R} \quad (4)$$

$\alpha$  = coeficient de atenuare pentru mediu.

Distanța maximă de detecție pentru un senzor ultrasonic e dependentă de puterea și de frecvența de emisie a semnalului astfel: cu cât frecvența scade, cu atât distanța de detecție crește. Atenuarea maximă teoretică pentru energia ultrasonică poate fi aproximată prin:

$$a_{\max} = \frac{f}{100} \quad (5)$$

Unde:

$a_{\max}$  = atenuarea maximă în dB/m

f = frecvența de lucru în KHz.

Pentru o transmisie cu frecvența 20-KHz, factorul tipic de absorbție este aproximativ 0,065dB/m, în timp ce la 40-KHz pierderile sunt în jur de 0,2 și 0,3 dB/m.

$$I = \frac{I_0 \cdot e^{-2\alpha R}}{4\pi R^2} \quad (6)$$

Având în vedere ecuația de mai sus, se poate spune că intensitatea semnalului scade direct proporțional cu pătratul distanței.

### b) Reflectivitatea obiectelor țintă

Directivitatea suprafeței obiectului țintă determină cât din energia reflectată e direcționată înapoi spre receptor. Din moment ce majoritatea obiectelor împrăștie semnalul într-un mod izotrop, ecoul se disipă din nou în concordanță cu legea inversului pătrat, introducând un termen adițional  $4\pi R^2$  la numitor față de forma ecuației precedente a intensității. În plus, un nou factor  $K_r$ , trebuie introdus la numărător în raport cu reflexivitatea obiectului țintă.

$$I = \frac{K_r \cdot I_0 \cdot e^{-2\alpha R}}{16\pi R^4} \quad (7)$$

Unde:

$K_r$  = coeficient de reflexie.

Acest coeficient pentru o undă plană care ajunge normal pe o suprafață plană este:

$$K_r = \frac{I_r}{I_i} = \left[ \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \right]^2 \quad (8)$$

Unde:

$I_r$  = intensitatea reflectată

$I_i$  = intensitatea incidentă

$Z_a$  = impedanța acustică a aerului

$Z_0$  = impedanța acustică a obiectului țintă

Cu cât e mai mare dezacordul între impedanțele din cele două medii, cu atât mai multă energie va fi reflectată înapoi la sursă.

### c) Influența temperaturii

Considerăm expresia propagării vitezei sunetului într-un gaz ca fiind funcție de densitatea  $\rho$ , și de modulul de elasticitate  $K_m$ :

$$s = \sqrt{\frac{K_m}{\rho}} \quad (9)$$

Din moment ce acești parametri variază în funcție de temperatură, rezultă că viteza sunetului în aer e dependentă de temperatură.

### d) Influența zgomotului

În general, două feluri de zgomote pot afecta performanțele senzorilor ultrasonici: zgomotul mediului înconjurător și zgomotul auto-generat.

## V. Concluzii

Cu toate aceste probleme, senzorii ultrasonici sunt cu siguranță cea mai des întâlnită categorie de senzori de distanță folosită la construcția unui robot mobil. Prețul lor se încadrează între prețul foarte mic al senzorilor IR și prețul mult mai mare al altor categorii de senzori de distanță mai precise.

## Bibliografie

- [1] – Gregory Dudek, Michael Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robots*, Cambridge University Press, 2000;
- [2] – Dumitriu, A., Bucşan, C., Demian, T., - Sisteme senzoriale pentru roboţi, Editura Medro, Braşov, 1996;
- [3] – Radu Țârulescu, Using of sonar and ultrasonic sensors for mobile robots orientation, Editura Universitatii din Oradea, ISSN 1583-0691, ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY, 2005;
- [4] – Catalog Didactic FESTO Workbook FP 1120, Sensors for Distance and Displacement, 090156;
- [5] – H.R.Everett, Sensors for Mobile Robots, Theory and Application, A.K. Peters, Ltd., 1995.

---

\* Radu ȚĂRULESCU, Asistent Univ. Ing, Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra de Termodinamica și Mecanica Fluidelor, Braşov, 500036, Bdul Eroilor 29, Tel.: 0268412921 / int.193, Fax : +40 268 474761, E-mail – [radu.tarulescu@unitbv.ro](mailto:radu.tarulescu@unitbv.ro)

\*\* Stelian ȚĂRULESCU Asistent Univ. Ing, Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Inginerie Mecanică, Catedra de Autovehicule și Motoare, Braşov, 500036, Bdul Eroilor 29, Tel.: +40.68.413000 Int. 173, E-mail – [s.tarulescu@unitbv.ro](mailto:s.tarulescu@unitbv.ro)



## METODE GRAFICE CU MIJLOACE CAD

Horia TARZIU \*  
Doru LUCULESCU \*\*

*Abstract : A fost o vreme in care metodele grafice erau de neinlocuit. Aparitia mijloacelor de calcul electronic a permis calculul cu metode numerice, iar metodele grafice, cu lipsa lor de precizie, au fost abandonate. Totusi, in anumite situatii, metodele grafice pot fi reconsiderate: pachetele software CAD au proprietatea ca programele lor specializate de grafica tehnica ataseaza fiecarei entitati geometrice coordonatele punctelor caracteristice si ca ele pot returna la cererea utilizatorului aceste coordonate. Iata de ce aceasta abordare poate fi utila in diverse situatii si, consideram, mai ales in invatamantul studentesc. Articolul prezinta cateva exemple ale utilizarii metodelor grafice cu mijloace CAD, aplicabile in teoria mecanismelor, geometrie descriptiva, geometrie analitica.*

### **I Metode grafice pentru studiul cinematic al mecanismelor cu bare articulate**

Sunt cunoscute metodele grafice de determinare a vitezelor și accelerațiilor momentane ale elementelor conduse la mecanismele cu bare articulate (mișcare plan-paralelă). Construcțiile grafice numite “planul vitezelor” sau “planul accelerațiilor”, care au chinuit și au agasat generații de studenți, pot fi reprezentate automat, cu un model geometric, de exemplu AutoCAD, având și posibilitatea returnării (la bara de dialog a programului) valorilor lungimii vectorilor viteză sau accelerație. Această abordare înlătura marele handicap al metodelor grafice, deoarece grafica pe un PC echipat cu un software CAD corespunzător are proprietatea foarte utilă de a atașa oricărui punct reprezentat în planul modelării coordonatele sale raportate la WCS, deci cu o precizie comparabilă cu cea a metodelor numerice. Automatizarea reprezentării parametrizate se poate obține cu ajutorul unor aplicații scrise special pentru fiecare mecanism, folosind interfața programabilă a AutoCADului, limbajul de nivel înalt, AutoLISP.

Știm foarte bine că marile soft-uri specializate CAE au rezolvat de mult această problemă, cu interfețe grafice atragătoare, sugestive și prietenoase. Însă credem că și această abordare are beneficii didactice, deoarece îl pune pe student în situația să înțeleagă fenomenul studiat (mișcare plan-paralelă, CIR, etc.) și, la fel de util, să deprindă abilități de programare simplă. Probabil activitatea omului cu computerul se va diversifica atât de mult, încât va avea succes cel capabil să-și alcătuiască aplicații specifice obiectului muncii sale.

După cum se va vedea în continuare, reprezentarea parametrizată a pozițiilor succesive ale elementelor în mișcare (alegând ca parametru, de exemplu, unghiul elementului

conducător) poate servi ca suport geometric și pentru obținerea unor reprezentări animate ale funcționării.

### 1.1 Mecanismul cu bielă

Fie schema cinematică a cunoscutului mecanism din figura 1. Poziției curente i s-au atașat vectorii corespunzători vitezelor punctelor  $p_1$  și  $p_3$ , care au fost astfel notați tocmai pentru a urmări mai ușor prezența coordonatelor acestor puncte în cadrul aplicației ce va fi prezentată în continuare.

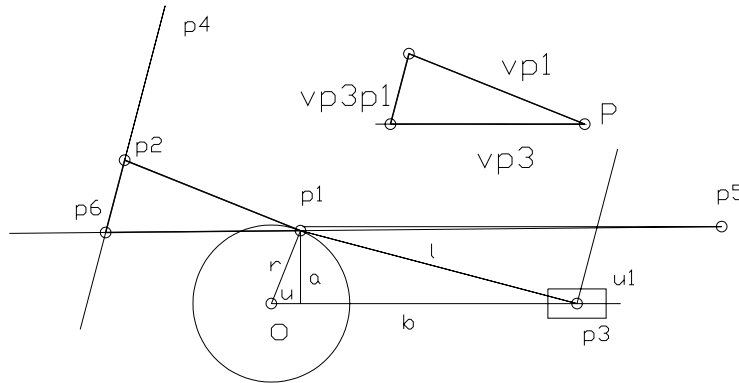


Fig. 1 Schema cinematică a mecanismului și planul vitezelor atașat

În figura 1 planul vitezelor a fost reprezentat pentru poziția curentă având drept pol al planului punctul  $p_2$  al mecanismului și, alături, pentru claritate, cu polul în punctul P. Poligonul vitezelor respectă pentru orice poziție a elementelor relația vectorială:

$$V_{p3} = V_{p1} + V_{p3p1} \quad (1.1)$$

Aplicația următoare, denumită “biela”, redă reprezentarea automată a vârfurilor poligonului vitezelor și returnează valoarea distanței dintre  $p_1$  și  $p_6$ , care este tocmai viteza instantanee a elementului condus. Ea cere introducerea de la tastatură unghiului curent  $u$ , a razei  $r$ , a turației  $n$ , a lungimii bielei  $l$ .

```
(DEFUN C:biela ()
(SETQ u (GETANGLE "Valoarea unghiului u:")
r (GETDIST "Valoarea razei r:")
n (GETREAL "Valoarea turatiei:")
p1 (polar o u r)
l (GETDIST "Lungimea bielei l:")
p2 (polar p1 (+(/ pi 2) u) (/(* pi 2 r n) 1000))
a (* (sin(/ (* u pi) 180)) r)
b (sqrt (- (expt l 2) (expt a 2)))
p3 (polar o 0 (+ b (* r (cos (/ (* u pi) 180))))))
u1 (- (angle p1 p3) (/ pi 2))
p4 (polar p2 u1 100)
p5 (polar p1 0 200)
p6 (inters p1 p5 p2 p4 nil)
(Command "Point" p1)
(Command "Point" p2)
(Command "Point" p6)
(Command "Pline" p1 p6 "c")
```

!(distance p1 p6)  
)

De exemplu, pentru un unghi de 60 grade, o rază de 200, o turație de 800 rot./min. și o lungime de 300, programul returnează:

Command: *biela*  
Valoarea unghiului *u*: 60  
Valoarea razei *r*: 200  
Valoarea turatiei: 800  
Lungimea bielei *l*: 300  
1088.31.

adică viteza momentană a elementului condus este la această poziție a elementului conducător de 1088,31 unități pe minut.

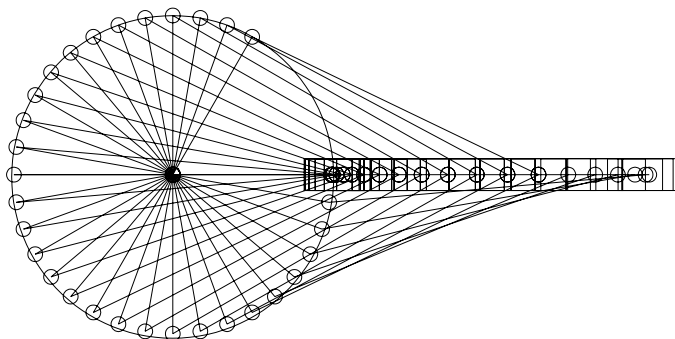


Fig. 2 Poziții succesive ale elementelor mecanismului care pot fi folosite pentru reprezentări animate

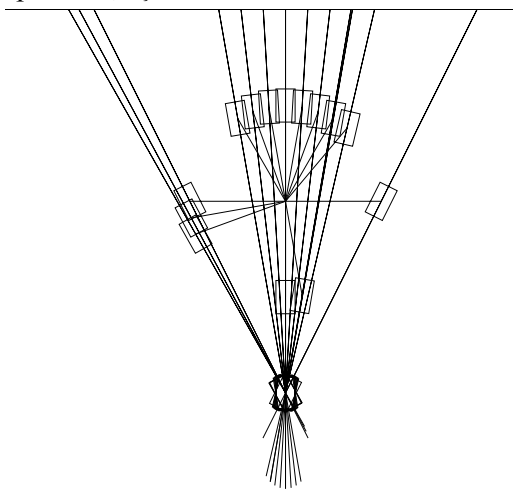
Se cunoaște că principiul animației a rămas același încă de la inventarea cinematografului și anume se atașază coordonatelor din plan (geometrice) una suplimentară: timpul. Mediile specializate pentru animație 2D nu au totdeauna și instrumente satisfăcătoare pentru o modelare geometrică precisă, a unghiurilor și a distanțelor. De aceea este necesară colaborarea cu un program specializat și interactiv, așa cum este de exemplu AutoCAD, dar nu numai acesta, care beneficiază de astfel de instrumente. Pozițiile din figura 2 pot fi obținute toate odată, introducând în cadrul aplicației o secvență iterativă, sau succesiv, câte una, așa cum realizează aplicația următoare, numită “abiela”, care are predefinite valorile razei de 100 unități și lungimii bielei de 200 și cere doar introducerea unghiului curent *u*.

```
(DEFUN C:aabiela ()
(SETQ o (list 400 600)
r 100
l 200
u (GETANGLE "Valoarea unghiului u:"))
(SETQ p1 (polar o u r)
a (* r (sin u))
b (sqrt (- (expt l 2) (expt a 2)))
c (* r (cos u))
p3 (polar o 0 (+ b c))
P4 (polar p3 (*(/ pi 180) 30) 20)
P5 (polar p3 (*(/ pi 180) 150) 20)
p6 (polar p3 (*(/ pi 180) 210) 20)
p7 (polar p3 (*(/ pi 180) 330) 20))
```

```
(Command "Point" p1)
(Command "Point" o)
(Command "Point" p3)
(Command "pline" p1 p3 "c")
(Command "pline" o p1 "c")
(Command "pline" p4 p5 p6 p7 "c")
)
```

## 1.2 Mecanismul cu culisă oscilantă și al trenului de aterizare

În mod analog, poate fi făcut un studiu cinematic și poate fi obținută și o animație a funcționării sale și pentru mecanismul cu culisă oscilantă, care este la fel de bine cunoscut. Procedeeul prezentat anterior, în cazul mecaismului cu bielă, poate fi generalizat pentru oricare alt mecanism cu bare articulate, cu elemente în mișcare plan-paralelă, pentru unele foarte specifice, așa ca mecanismul trenului de aterizare din figura 4.



În figura 3 sunt prezentate câteva poziții succesive ale elementelor unui mecanism cu culisă oscilantă, obținute cu AutoCAD, cu ajutorul unei aplicații AutoLISP, care păstrează valorile constructive ale elementelor mecanismului și care cere introducerea repetată a valorii curente a unghiului elementului conducător  $u$ , ales ca parametru al mișcării. În continuare este prezentată această aplicație, numită "aaculisa".

Ea se încarcă folosind lista de meniu derulant „tools”, apoi, după selectarea “aaculisa”, butonul „load application”. La bara de dialog a programului se tastează numele aplicației “aaculisa”.

Fig. 3 Poziții succesive ale elementelor mecanismului cu culisă

```
(DEFUN C:aaculisa ()
(SETQ o1 (list 1000 600)
o2 (list 1000 200)
o3 (list 200 1000)
o4 (list 800 1000)
r 200
u (GETANGLE "Valoarea unghiului u:"))
(SETQ p1 (polar o1 u r)
p2 (inters o2 p1 o3 o4 nil)
l1 (polar p2 0 800)
l2 (polar p2 pi 800)
u1 (angle o2 p1)
)
(SETQ p3 (polar p1 (+ (*(/ pi 180) 30) u1) 40)
p4 (polar p1 (+ (*(/ pi 180) 150) u1) 40)
p5 (polar p1 (+ (*(/ pi 180) 210) u1) 40)
p6 (polar p1 (+ (*(/ pi 180) 330) u1) 40)
p7 (polar o2 (+ (*(/ pi 180) 30) u1) 40)
p8 (polar o2 (+ (*(/ pi 180) 150) u1) 40)
p9 (polar o2 (+ (*(/ pi 180) 210) u1) 40)
)
```

```

p10 (polar o2 (+ (*(/pi 180) 330) u1) 40)
p11 (polar p2 (+ pi u1) 1000)
)
(Command "Point" p1)
(Command "Point" p2)
(Command "Point" o1)
(Command "Point" o2)
(Command "pline" o1 p1 "c")
(Command "pline" o2 p2 "c")
(Command "pline" p3 p4 p5 p6 "c")
(Command "pline" p7 p8 p9 p10 "c")
(Command "pline" p2 p11 "c")
(Command "pline" l1 l2 "c")
)

```

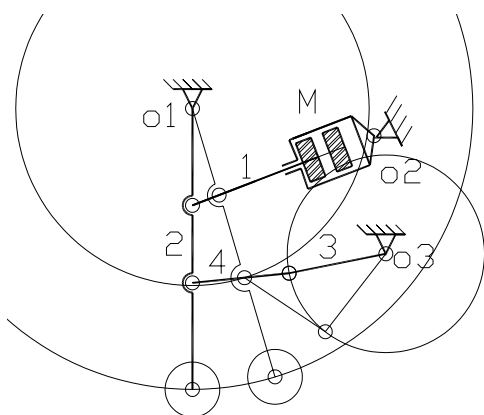


Fig. 4 Schema cinematică a mecanismului trenului de aterizare

În continuare, în figura 4, este prezentat un alt exemplu, specific tehnicii de aviație, cu elemente în mișcare plan-paralelă, schema mecanismului pentru acționarea unui tren de aterizare. Se observă, conform relației lui Grubler-Cebîșev

$$M = 3n - 2C_5 - C_4 \quad (1.2)$$

că mecanismul funcționează desmodrom, având mobiliatea

$$M = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1 = 1. \quad (1.3)$$

Elementul conducător 1 acționează bara trenului 2, cu mișcarea controlată prin sistemul bielelor 3 și 4. În figura 4 sunt desenate două poziții ale elementelor mecanismului.

Una dintre posibilitățile reprezentării animate a funcționării mecanismului este obținerea individuală a câte unei poziții, alegând un parametru al mișcării, de exemplu, cursa pistonului cilindrului hidraulic al elementului conducător, urmată apoi de introducerea pozițiilor succesive într-un mediu grafic corespunzător, așa ca Macromedia Flash. Pentru obținerea corectă a pozițiilor succesive (și păstrarea corespunzătoare a distanțelor și a unghiurilor) s-a alcătuit aplicația AutoLISP denumită "aatren", care este prezentată în continuare.

```

(DEFUN C:aatren ()
(SETQ d (GETREAL "Valoarea cursei d:"))
o1 (list 300 500)
o2 (list 1000 500)
o3 (list 1000 250)
r 200
r1 300
r2 300
d1 (distance o1 o2)
a (/ (- (+ (expt d1 2) (expt d 2)) (expt r 2)) (* 2 d1 d))
b (sqrt (- 1 (expt a 2)))
c (/ b a)
u (atan c)

```

```

p1 (polar o2 (+ pi u) d)
u1 (angle o1 p1)
p2 (polar o1 u1 400)
p3 (polar o1 u1 600)
p4 (polar p1 u 1000)
c1 (polar p4 (+ (*(/ pi 180) 30) u) 40);pistonulc1c2c3c4
c2 (polar p4 (+ (*(/ pi 180) 150) u) 40)
c3 (polar p4 (+ (*(/ pi 180) 210) u) 40)
c4 (polar p4 (+ (*(/ pi 180) 330) u) 40)
i1 (polar o2 (+ (/ pi 2) u) 40);cilindrulii2i3i4
i2 (polar o2 (- u (/ pi 2)) 40)
i3 (polar i1 u 500)
i4 (polar i2 u 500)
d11 (distance p2 o3)
a11 (/ (- (+ (expt d11 2) (expt r2 2)) (expt r1 2)) (* 2 d11 r2));elem3si4
b11 (sqrt (- 1 (expt a11 2)))
c11 (/ b11 a11)
u11 (atan c11)
u12 (angle p2 o3)
u13 (+ u11 u12)
p11 (polar o3 (+ pi u13) r2)
)
(Command "Point" p1)
(Command "Point" o1)
(Command "Point" o2)
(Command "Point" o3)
(Command "Point" p2)
(Command "Point" p3)
(Command "Point" p4)
(Command "Point" p11)
(Command "circle" p3 40)
(Command "pline" o1 p3 "c")
(Command "pline" p1 p4 "c")
(Command "pline" p11 p2 "c")
(Command "pline" p11 o3 "c")
(Command "pline" c1 c2 c3 c4 "c")
(Command "pline" i1 i2 "c")
(Command "pline" i1 i3 "c")
(Command "pline" i2 i4 "c")
(Command "pline" i3 i4 "c")
)

```

În acest exemplu, pentru elementele constructive ale lanțului cinematic s-au ales următoarele valori: raza  $r$  (de la  $O_1$  la prima articulație a lanțului) de 200 unități, razele sistemului de biele  $r_1$  și  $r_2$  de câte 300 unități, lungimea tijei pistonului motorului hidraulic de 1000 unități ( $p4$  (polar  $p1$  u 1000)) și distanța de la  $O_1$  la a doua articulație de 600 unități ( $p3$  (polar  $o1$  u1 600)). Toate acestea pot fi modificate cu ușurință, după cum este necesar în oricare altă situație.

Valoarea deplasării pistonului este cerută de către aplicație în mod repetat, prin funcția de introducere:

```
(SETQ d (GETREAL "Valoarea cursei d:"))
```

care afișează la bara de dialog a AutoCAD-ului întrebarea:

```
"Valoarea cursei d"
```

care va fi introdusă de la tastatură.

În figura 5 este prezentată imaginea unei succesiuni de poziții ale elementelor, pentru un pas al avansului tijei pistonului de 10 unități. Această aplicație este destinată obținerii unei reprezentări animate a funcționării, de exemplu cu ajutorul soft-ului Macromedia Flash (exportul succesiv al modelelor *key frame*). Dar ea poate servi și ca punct de pornire pentru un studiu cinematic al acestui mecanism, așa cum s-a arătat la începutul acestui articol în cazul mecanismului bielă-manivelă. Adică întreaga construcția a planului vitezelor și a planului accelerațiilor poate fi automatizată, programul returnând, pentru fiecare introducere a valorii cursei pistonului, valorile instantanee ale vitezelor, respectiv, accelerațiilor elementului condus.

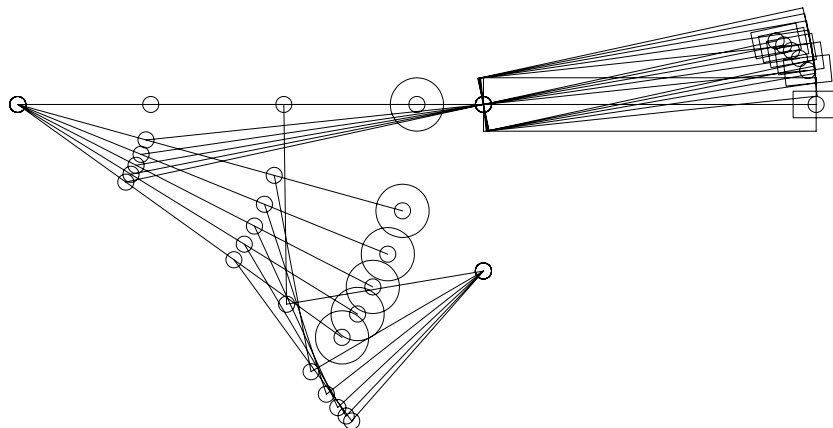


Fig. 5 Succesiunea pozițiilor elementelor mecanismului, cu un pas al deplasării pistonului de 10 unități, de la  $d = 500$  la  $d = 550$ , obținută cu ajutorul aplicației “aatren”.

### 1.3 Probleme teoretice de GA și GD rezolvate cu mijloace CAD

Soluțiile unor exerciții de geometrie analitică, referitoare la punct, dreaptă și plan pot fi calculate și vizualizate prin programare, folosind programul AutoCAD și interfața lui programabilă, limbajul de nivel înalt, AutoLISP.

Coordonatele punctului de intersecție ale dreptei determinată de punctele  $M(x_m, y_m, z_m)$  și  $N(x_n, y_n, z_n)$  cu planul punctelor  $A(x_1, y_1, z_1)$ ,  $B(x_2, y_2, z_2)$  și  $C(x_3, y_3, z_3)$  sunt soluțiile următorului sistem liniar, alcătuit cu ecuațiile (1) și (2):

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (1.4)$$

$$\frac{x - x_m}{x_n - x_m} = \frac{y - y_m}{y_n - y_m} = \frac{z - z_m}{z_n - z_m}$$

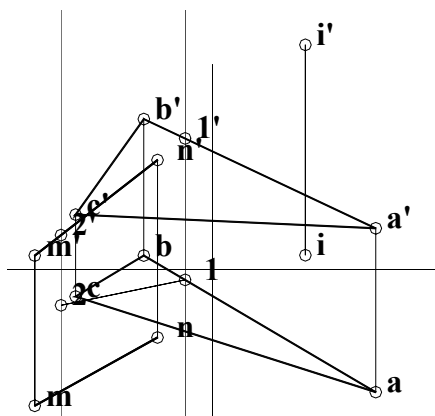
Pe de altă parte, pot fi alcătuite aplicații specifice (macrofuncții AutoCAD), cu ajutorul cărora pot fi vizualizate automat, în dublă proiecție ortogonală, atât planul, prin urmele sale  $p_h, p_v$ , cât și dreapta, prin proiecțiile ei  $d$  și  $d'$ .

Din economie de spațiu, nu vom prezenta aceste aplicații, ci doar reprezentările obținute cu ajutorul lor. Se cunosc operațiile grafice necesare aflării dublei proiecții ortogonale a punctului de intersecție a unei drepte, definită prin coordonatele unor puncte ale ei, cu un plan, definit tot prin coordonatele celor trei puncte ale sale. Aceste operații se



repetă, sunt algoritmice și ele se deosebesc doar prin valorile acelor coordonate. De aceea, după principiul arătat anterior, se poate elabora un program care să reunească operațiile grafice necesare. El a și fost deja scris și, cu ajutorul său, s-a obținut reprezentarea dublei proiecții ortogonale a punctului  $I(i, i')$ , din figura 6.

$$ABC(abc, a'b'c') \cap MN(mn, m'n') = I(i, i') \quad (1.5)$$



Punctele M și N, ce determină dreapta, cât și A, B și C ale planului, sunt date prin coordonatele lor carteziene, care se vor introduce de la tastatură.

Reprezentarea din figura 2 corespunde următoarelor valori ale coordonatelor punctelor:  $A(-120, 90, 30)$ ,  $B(50, -10, 110)$ ,  $C(100, 20, 40)$ ,  $M(130, 100, 10)$  și  $N(40, 50, 80)$ .

Programul returnează (la prompterul AutoCAD) coordonatele punctului I, care sunt coordonatele punctului de intersecție ale dreptei MN cu planul punctelor A, B și C.

Fig. 6 Intersecția dreptei MN cu planul ABC

Acestea, pentru situația prezentată în figura 6, sunt:

$$\begin{aligned} x_r &= 278,4661 \\ y_r &= 160,2590 \\ z_r &= 314,3625 \end{aligned} \quad (1.6)$$

Metoda prezentată în exemplul precedent poate fi aplicată în alte situații particulare, prin automatizarea și parametrizarea construcțiilor geometrice, aplicațiile având posibilitatea returnării la bara de dialog a AutoCAD-ului a coordonatelor punctelor interesante: vârfurile poligoanelor de secțiune plană a poliedrelor, ale intersecțiilor de poliedre, ale punctelor de intersecție dintre dreaptă și suprafețe cilindrice sau conice.

## BIBLIOGRAFIE

1. Manolea D. – *Programarea în AutoLISP sub AotoCAD*, Ed. Albastră 1996, Cluj-Napoca.
2. Stăncescu, C. - *AutoLISP, manual de programare*, Ed. FAST 2000, București 1996.
3. Zirbel J., Combs S. – *Utilizarea programului AutoCAD versiunea 13*, Ed. Teora, București 1996.
4. Autodesk, Inc. – *Fundamentals of AutoLISP*, 1994.
5. Târziu H. - *Adaptarea programului AutoCAD pentru reprezentări în dublă proiecție ortogonală*, Buletinul Științific al Sesiunii Naționale de Comunicări Științifice al Academiei "H. Coandă" Brașov, 2002.

\* Tarziu Horia, Conf. dr. ing., Academia Fortelor Aeriene H. Coanda, Brasov, email: [tarziuh@yahoo.com](mailto:tarziuh@yahoo.com)

\*\* Luculescu Doru, Conf. dr. ing., Academia Fortelor Aeriene H. Coanda, Brasov, email: [doruluculescu@yahoo.com](mailto:doruluculescu@yahoo.com)

## **ORGANIZAREA UNUI TERMINAL DE CONTAINERE: POSSIBILITĂȚI DE CREȘTERE A PRODUCTIVITĂȚII SISTEMULUI DE DESERVIRE AL NAVELOR DE DIMENSIUNI MARI**

Filis TULEI\*

### *Abstract:*

*Terminal planners and designers have faced the challenge of larger vessel deployment. For this purpose the paper refers to several means to increase large ship operating system productivity as well as terminal merchandise handling system operation productivity.*

### **1. Situația actuală a transportului maritim.**

Anumite împrejurări au impus ca transportul maritim în general și transportul containerizat în particular, să se adapteze atât ultimilor generații de porturi dar și ultimilor generații de nave. Transportul containerizat, pentru mulți operatori portuari, este o afacere din care se urmărește obținerea unui profit mare cu mijloace și servicii cât mai ieftine.

Alături de evoluția porturilor din punct de vedere al manipulării mărfurilor se remarcă și o tendință spre diversificarea serviciilor portuare asigurate în perimetrul lor, care alături de funcția principală de operare a navelor să determine creșterea veniturilor realizate în port.

Pentru a-și asigura competitivitatea și pentru creșterea calității serviciilor, a siguranței navigației și operării navelor, numeroase porturi întreprind în continuare lucrări considerabile de extindere și modernizare: adâncesc șenalele navigabile, construiesc noi cheuri și noi spații de depozitare, modernizează utilajele și echipamentele de manipulare a mărfurilor. Macaralelor electrice li se adaugă macarale turn autopropulsate, pe pneuri, care au un grad mare de manevrabilitate, viteze mari de deplasare și pot manipula greutatea din ce în ce mai mari. În tehnica manipulării la sol a mărfurilor au apărut în ultimul timp utilaje mai performante și mai adaptate acestor operațiuni.

Schimbările suferite de procesul de manipulare a containerelor s-a reflectat atât în mărirea și dotarea navelor, cât și în mărirea și dotarea danelor și nu în ultimul rând în structura terminalului.

Toate eforturile depuse de specialiștii în domeniu pentru modernizarea porturilor, a utilajelor și echipamentelor de manipulare sau pentru găsirea unor sisteme avantajoase de transport maritim au ca obiectiv principal reducerea timpului de staționare a navelor în

porturi. Pentru a realiza acest obiectiv s-a recurs la automatizarea operațiunilor de manipulare în terminal, lucru care a condus la scăderea considerabilă a timpului de operare al navei.

În ceea ce privește navele portcontainer, și acestea au continuat să își mărească dimensiunile dar și puterea motoarelor. Impactul pe care îl vor avea navele portcontainer asupra porturilor dar și asupra terminalelor va fi unul sever atât timp cât acestea vor crește atât ca mărime dar și în ceea ce privește capacitatea de transport.

## 2. Evoluția navelor portcontainer

Prima linie de portcontainere a început din portul Newark spre Huston, în 1956, cu o navă tanc transformată, din al doilea Război Mondial. Numele navei era "Ideal X" și putea transporta 58 (35') de containere. Beneficiile timpului scurt de încărcare și staționare în port au făcut ca armatorii americani să transforme tot mai multe nave vechi pentru a transporta mărfuri containerizate.

Prima navă specializată în transportul containerelor, dar fără mecanism de încărcare, a fost Sea Land Venture fiind introdusă în operare la câțiva ani după Ideal X.

Transportul containerizat s-a inventat în America și este de înțeles că dimensiunile primelor nave portcontainer au urmat standardele americane. Mai târziu s-a introdus și standardul pentru containere : lungime de 20 ft (6,085m), lățime de 8 ft (2,438m) și înălțime de 8 ft (2,438m). Astfel containerul a devenit unitate de măsură elementară folosită în întreaga lume, folosindu-se abrevierea TEU (Twenty Feet Equivalent Unit).

Succesul noului concept de transport a fost excepțional iar navele purtătoare de containere au crescut rapid în mărime și capacitate.

La început navele au fost clasificate folosindu-se conceptul generației, astfel :

- Prima generație : 1000 TEU (au apărut în 1966)
- A II a generație : 2000 TEU (au apărut în 1969)
- A III a generație : 3000 TEU (au apărut în 1972)

Pentru navele care au urmat, datorită capacității mari de transport, clasificarea pe generații nu a mai fost valabilă. Cu toate acestea navele cresc dar în special geometria ecluzelor canalului Panama limitează mărimea navelor (Fig.1) la dimensiunile următoare: lungime de 294,1m, lățime de 32,3m și pescaj de maxim 12m. Acestea erau denumite nave Panamax având o capacitate de transport maximă de 4500 TEU (această limită a fost depășită în anul 1970)



Fig.1: Evoluția navelor portcontainer

În general lățimea navelor este dată de numărul de stive în direcție transversală. Astfel lățimea navelor portcontainer a crescut treptat cu 8 ft, până în prezent construindu-se nave cu

lățimea de 43m corespunzătoare celor 17 stive de containere de la un bord la altul. Pescajul a crescut și el ajungând la 14,5m acesta fiind limitat de adâncimea apei din porturi.

Evoluția navelor portcontainer a necesitat foarte multă muncă și cercetare, pentru a depăși limitele. Capacitatea de încărcare a acestor nave a crescut de la câteva sute de containere pentru prima navă construită ca portcontainer până la peste 8000 TEU pentru cea mai modernă navă aflată în operare în prezent. De-a lungul acestei perioade de dezvoltare numeroase probleme legate de design și construcție asociate cu creșterea mărimii navei și-au găsit rezolvare. Necesitatea pentru stabilitate, viteze ridicate și nivele de vibrație scăzute au dus la forme ale carenei specifice acestui tip de nave.

Viitorul navelor portcontainer îl reprezintă navele ULCS (Ultra Large Container Ship). Dimensiunile critice, ale navelor ULCS, care provoacă probleme porturilor, sunt : lungimea (381m), lățimea (57m – 22 de containere de la un bord la altul), pescajul (14,5m) și capacitatea de transport (12000 TEU). Dacă toate aceste noțiuni sunt transformate în cerințe pentru porturile lumii, rezultă că:

- lungimea danei trebuie să fie în concordanță cu lungimea navei;
- deschizătura brațului transtainerului trebuie să corespundă lățimii navei;
- adâncimea apei în port trebuie să fie în concordanță cu pescajul navei;
- suprafața de depozitare trebuie să corespundă capacității de transport a navei;
- mărimea bazinului de întoarcere, canalului de acces, asistența la remorcare, echipamentul locului de depozitare al containerelor trebuie să corespundă acestui tip de nave.

Dimensiunile constructive crescând ale acestor nave a determinat o creștere considerabilă a spațiului de depozitare și implicit o creștere a suprafeței terminalului. Prin creșterea suprafeței întregului terminal s-a creat o infrastructura mult mai accesibilă pentru o mai mare varietate de mijloace de transport și nu în ultimul rând un volum de marfă mult mai mare. Ca în orice terminal eficiența operațiunilor dezvoltate în port controlează viteza de operare a întregului sistem.

Performanțe ridicate se obțin prin achiziționarea mai multor macarale de cheu, mărirea suprafeței de depozitare, achiziționarea unor echipamente și utilaje de manipulare în spațiul de depozitare capabile să facă față unui proces de încărcare, descărcare sau stivuire corespunzătoare capacității de transport a navelor ULCS.

### **3. Analiza costurilor de transport**

Orice analiză a activității desfășurate într-un anumit domeniu este incompletă dacă nu se iau în considerare și costurile generate de operațiunile efectuate care se reflectă în final asupra costurilor produselor sau serviciilor prestate.

Utilizatorul final al unui produs plătește pentru achiziționarea acestuia un anumit preț. Acesta include atât costurile efective de realizare, transport și distribuție a produsului, profiturile pe care fiecare participant le adaugă la cheltuielile proprii precum și o serie de taxe și impozite care sunt plătite către administrația de stat sau locală în baza unor reglementări specifice. Costurile efective de execuție a serviciilor specifice fiecărui participant la care se adaugă profitul acestuia formează costul serviciilor prestate de participanții implicați pe fluxul producător-beneficiar.

Structura generală a costurilor unui produs și principalele componente generate de-a lungul fluxurilor mărfurilor de la producător la beneficiar sunt reprezentate în figura 2.

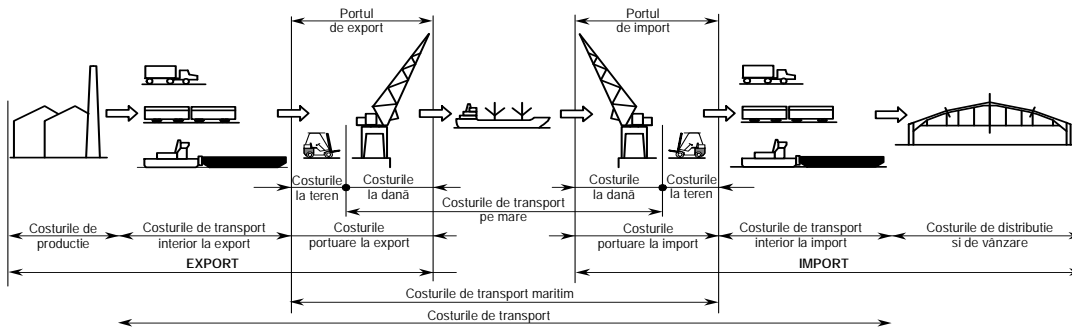


Fig. 2: Costurile de transport

#### 4. Tehnologiile de operare a navelor de dimensiuni mari.

Implementarea noilor tehnologii de manipulare oferă potențiale soluții pentru ca terminalele de containere să își înceapă dezvoltarea. Tehnologia avansată nu a putut pătrunde ușor în toate sectoarele industriei. Acest lucru se datorează dinamicii scăzute a asimilării tehnologiilor noi și faptului că operatorii din terminal sunt reticenti în primă fază să investească fără garanția obținerii unui profit substanțial. O dată cu demonstrarea rentabilității noilor tehnologii operatorii portuari au devenit mai deschiși la tot ceea ce înseamnă hi-tech.

Operatorii portuari au început să resimtă necesitatea folosirii sistemelor monitorizate de manipulare, recunoașterea caracterelor optice (OCR – Optical Character Recognition), identificarea automată a echipamentului (AEI – Automatic Equipment Identification), sistemul global de poziționare diferențial (DGPS – Differential Global Positioning System) și operațiuni automate de manipulare a containerelor.

Tehnologia modernă în forma ei cea mai sofisticată și-a mai pus amprenta și în ceea ce privește inventarul, programarea întreținerii echipamentelor, planificarea sosirii sau plecării navelor, încărcarea sau descărcarea acestora, planificarea suprafețelor de depozitare și operațiunile automatizate din terminal. Programarea sosirii sau plecării navelor facilitează planificarea în avans a operațiunilor și serviciilor din terminal.

În prezent nu mai este nevoie să se efectueze un volum de muncă în avans pentru a face față orelor de vârf în care sosesc sau pleacă nave, datorită planificării și automatizării operațiunilor din terminal. În acest sens operațiunile echipamentelor automate de manipulare a containerelor nu ar trebui limitate la un anumit volum de muncă pe schimb. În consecință manipularea containerelor, în urma calculelor pentru ziua următoare, trebuie să se desfășoare automat pe timpul nopții plasând astfel containerele pentru livrările zilei următoare în locul cel mai accesibil. Această soluție are ca rezultat servicii mult mai bune pentru clienți și costuri scăzute pentru operațiunile din terminal.

Un mod inovativ pentru îmbunătățirea operării navelor mari de-a lungul timpului a fost dezvoltat de Termina Ceres Paragon din Amsterdam. Aplicarea conceptului de operare a navei în ambele borduri pentru care mai mult de două macarale pot deservi o navă (Fig.3) este soluția cea mai eficientă. Productivitatea sistemului utilizat de terminalul Ceres este de 350 de ridicări pe oră. Această soluție determină creșterea performanței prin operarea navei în ambele borduri astfel dublându-se numărul de containere manipulat pe oră în comparație cu sistemul clasic de operare într-un singur bord. În cazul navelor ULCS, datorită lățimii acestora trebuie avut în vedere că brațul macaralei trebuie să ajungă până la ultimul rând de containere de pe navă și astfel se pare ca cel mai eficient mod de operare al acestor nave este cel cu macarale în ambele borduri.

Pe lângă cele menționate mai sus unul din secretele obținerii unei performanțe ridicate, la operarea navelor portcontainer, este folosirea utilajelor de manipulare, fie cele de pe cheu fie din spațiul de depozitare a containerelor, la capacitatea maximă admisă.



*Fig.3: Sistem de operare a unei nave portcontainer în ambele borduri*

O altă cale pentru creșterea productivității în terminal este utilizarea șprederelor care lucrează în tandem (Fig. 4). Aceste șpredere sunt capabile să ridice simultan două containere de 40' sau patru containere de 20'. Legăturile mecanice între cele două șpredere asigură reglarea înălțimii celor două containere.



*Fig.4: Sistem de operare în tandem (Dubai)*

Managerii terminalului Ceres au ajuns la concluzia că, pentru a găsi soluții de creștere a productivității operațiunilor în terminal, cel mai convenabil ar fi să creeze programe de simulare în procesul de planificare a operațiunilor din terminal. Acest lucru îi va ajuta să analizeze situația din terminal la un nivel mult mai complex decât ar fi putut să o facă cu posibilitățile anterioare. Un mare avantaj al acestor programe este că ajută la descoperirea cutumelor înainte de a putea fi pus în practică planul respectiv. Astfel managerii își pot concentra atenția exact asupra zonelor în care clienții lor pot investi cel mai mult. Tot cu ajutorul acestor programe se pot face anumite analize și comparații în ceea ce privește costurile, astfel managerii terminalului își vor putea măsura beneficiile economice.

În figura 5 este prezentat un exemplu de terminal, amenajat cu ajutorul unui program de simulare folosit pentru analizele realizate în organizarea terminalului Ceres.



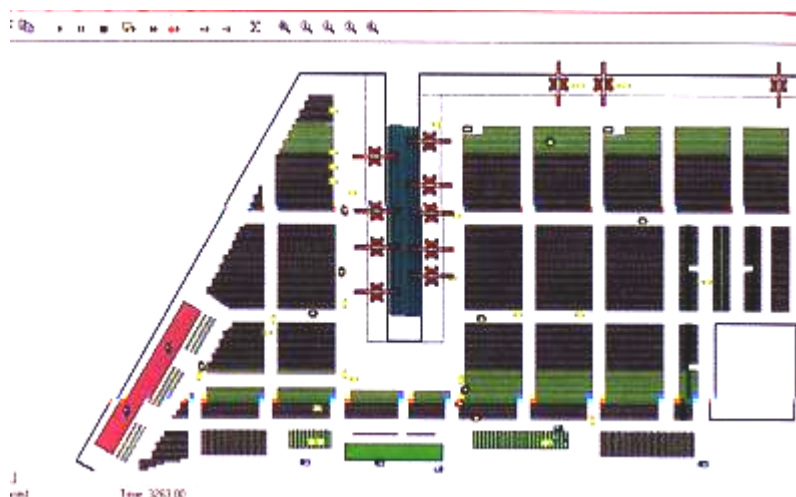


Fig.5: . Model de amenajare a terminalului Ceres Amsterdam cu ajutorul unui simulator

Creșterea productivității terminalului și performanța vor crește capacitatea terminalului fără investiții foarte mari. Pentru a obține acest lucru sunt necesare conexiuni eficiente cu hinterlandul portului. Sistemul de cale ferată pe doc este o metodă de creștere a eficienței transportului mărfurilor. Acesta este un sistem unde capătul șinei se află cât mai aproape posibil de cheu astfel încât containerele pot fi transferate de la navă în terminal și apoi pe șine. Acest sistem reduce numărul manipulărilor și nevoia terminalelor de a avea locuri de depozitare mari pentru containerelor. Ca avantaj al acestui sistem este folosirea unui mod de transport mai „prietenos” pentru mediu și anume calea ferată în detrimentul șoselelor.

Un exemplu al acestui sistem se află în portul Tacoma, din Statele Unite, la terminalul Comercial Hyundai. Terminalul are cheul de 600 de metri lungime, o suprafață de depozitare a containerelor de 24,3 hectare și o suprafață a triajului de cale ferată de 8,1 hectare. Echipamentul de operare constă în patru portainere post- Panamax navă-cheu, un parc de autostivuitoare cu brațe de macara și un parc auto pentru tiruri. Transferul direct al containerelor de la navă pe șine funcționează cu tiruri care iau containerele de la macara și le duc la 300 de metri de triajul de cale ferată unde sunt preluate de autostivuitoare care le duc la vagon. Timpul de așteptare al containerului în terminal s-a redus de la 12 ore la 8 ore față de timpul normal de așteptare de 6 până la 7 zile cu tractoarele rutiere.

## 5. Concluzii.

Condiția primordială și baza creșterii economice a portului o constituie asigurarea unor performanțe corespunzătoare a acestuia și în special a activităților de operare a navelor și manipulare a mărfurilor care constituie funcțiile principale ale unui port.

Acceptarea și utilizarea noilor tehnologii ajută transportul maritim să dezvolte viteze mari de operare și de aici realizarea unor productivități sporite ale terminalelor de containere.

Terminalul din Amsterdam este în prezent operativ iar productivitatea pe care și-au propus să o realizeze prin operarea navelor în ambele borduri, este realizată cu dotările actuale ale acestuia. Implementarea operațiunilor automatizate în terminalele din Europa și Australia constituie un exemplu pentru celelalte terminale din toate porturile lumii. Beneficiile noilor tehnologii pot fi demonstrate de experiența terminalelor unde au fost aplicate.



## BIBLIOGRAFIE

1. Review of maritim transport 2005 , *Port development*
2. Port Technology Internațional , *The Ultra Large Container Ship (ULCS): presenting new problems for ports?*, 2005
3. 9th Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Germania , *The Challenge of Ultra Large Container Ship , A Hydrodynamic View*, 2005
4. Port Technology International , *Container Terminal Planning: improving system productivity to service larger container vessels*, 2007
5. Dinu Pascale, *Caracteristicile principale ale terminalelor de containere din punct de vedere al infrastructurii, suprastructurii și tehnologiilor portuare*, 2004

---

\* Filis Tulei, preparator universitar, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța, Str. Fulgerului Nr. 1, telefon 0723944993, e-mail: fixe2005@gmail.com

## **ASPECTE ALE REALIZĂRII CU FIBRĂ OPTICĂ A SISTEMELOR DE TRANSMITERE DE DATE PENTRU ANTENE ORIENTABILE CU COMANDĂ NUMERICĂ**

Cornel Ovidiu BADEA\*

*Lucrarea abordează aspectele referitoare la realizarea unei comunicații bidirecționale, cu mediu de transmitere fibra optică, între un computer și un sistem de antene orientabile cu comandă numerică. Astfel, pe baza scopului, locului și rolului comunicației în cadrul sistemului de antene orientabile și a arhitecturii sistemului radar este evidențiat fluxul de informație, fiind stabilite și criteriile de performanță ale comunicației.*

*Evidențiind aspectele rezultate din analiza fluxului de informație, este prezentată descrierea implementării etapizate a comunicației, cu luarea în considerare a aspectelor teoretice și practice ce stau la baza proiectării și asamblării acesteia, precum și a criteriilor de performanță impuse.*

### **I. Aspecte ale interconectării echipamentelor ce compun un sistem de antene orientabile cu comandă numerică**

În cadrul sistemelor de antene orientabile cu comandă numerică, echipamentele ce se interconectează comunică permanent între ele în scopul culegerii permanente a informațiilor de la senzori și traductoare, al transmiterii de comenzi către elementele de execuție și al procesării datelor transmise în format digital.

Complexitatea din ce în ce mai ridicată a sistemelor de antene orientabile cu comandă numerică a condus la diversificarea și permanenta evoluție a tehnicilor de comunicare între elementele acestora. Astfel, dacă în cadrul primelor sisteme de acționare electrică dezvoltate elementele erau interconectate între ele prin legături metalice simple, în prezent dezvoltarea puternică a transmisiilor digitale și a sistemelor de codificare digitală a transmisiilor wireless permite conectarea între ele a componentelor sistemelor de antene orientabile cu comandă numerică, chiar dacă acestea sunt dispuse la distanțe mari, prin magistrale de date adresabile sau wireless.

Actualmente, tehnicile de conducere a acestor tipuri de sisteme se bazează în special pe sisteme numerice de prelucrare a informației cum ar fi: regulatoarele numerice, automatele programabile, calculatoarele de proces, sistemele multiprocesor, controlerele logic programabile, echipamente care necesită existența transferului de date sub formă numerică. Un aspect tehnico-economic important îl reprezintă utilizarea, pentru realizarea

comunicațiilor de date, a magistralelor de comunicație serială ce prezintă, ca principal avantaj, un număr considerabil redus de fire și un preț mai scăzut al cablului, având ca dezavantaj creșterea timpului necesar pentru efectuarea transmisiei de date între diversele tipuri de echipamente conectate la toate nivelele.

Realizarea dezideratului de conducere optimală a sistemelor de antene orientabile cu comandă numerică impune abordarea etapizată a implementării unui sistem de acționare electrică, vizând, în special, proiectarea magistralelor de comunicație între elementele sistemului de antene bazată pe considerentele de spațiu și pe nevoia interconectării acestuia cu celelalte sisteme ce compun radarul.

Astfel, în etapa proiectării sistemului se poate schița o configurație primară detaliată a sistemului în funcție de care se poate realiza, pe parcursul etapelor de construcție, cablarea adecvată a liniilor de comunicație între elementele din compunerea acestuia. Etapa implementării propriu-zise a sistemului constă în finalizarea cablajului necesar funcționării acestuia, montarea tuturor echipamentelor, interconectarea acestora, configurarea software a sistemului și stabilirea procedurilor de operare.

În cadrul unui sistem de antene orientabile se realizează o rețea de conexiuni ce permite un transfer de informație unidirecțional sau bidirecțional, adaptat la cerințele de comunicare ale echipamentelor din compunere, prin utilizarea unuia dintre tipurile de conexiuni enumerate mai jos:

- conexiunea convențională;
- conexiunea adresabilă;
- conexiunea radio;
- conexiunea prin fibră optică.

O particularitate a acestor tipuri de sisteme este reprezentată de faptul că, de cele mai multe ori, elementele componente ale sistemului de antene sunt dispuse în două locații, între care este necesară dezvoltarea unei transmisii de date care să fie viabilă, fiabilă, sigură, economică din punct de vedere al cantității de energie electrică consumate, cu dimensiuni de gabarit cât mai mici, cu o mentenanță facilă și pe cât posibil fără a avea nevoie de efectuarea unor reglaje de parametri. Astfel, elementele de comandă și interfațare cu alte sisteme din compunerea radarului sunt dispuse în cabina de comandă, în timp ce elementele subsistemului de forță și traductoarele de poziție unghiulară sunt dispuse în instalația de antene. Implementarea tipurilor de legături prezentate mai sus într-un sistem unitar presupune armonizarea considerentelor de ordin tehnic cu costurile de realizare și mentenanță.

Din acest motiv, în procesul de implementare a legăturii de date între cabina de comandă și instalația de antene se au în vedere următoarele criterii de evaluare a performanțelor diverselor tipuri de conexiuni:

- Viteza de transmitere a datelor;
- Distanța de transmitere;
- Imunitatea electromagnetică;
- Izolația în tensiune;
- Ușurința de manevrare/timpul de stabilire a legăturii.

Evaluarea comparativă a principalelor tipuri de legături prezentate, pe baza datelor prezentate în tabelul 1, impune dezvoltarea acelei soluții care se adaptează cel mai bine criteriilor de evaluare a performanțelor, rezultând că pentru realizarea legăturii de date dintre cabina de comandă și instalația de antene (elemente aflate la o distanță de 125 m) cea mai bună soluție este reprezentată de *legătura de date prin fibră optică*.

Tip de conexiune Criteriu	Conexiune simplă	Conexiune adresabilă	Conexiune radio	Conexiune prin fibră optică
Viteza de transmitere	mică	mare	mare	foarte mare
Distanța de transmitere	medie	medie	mare	mare
Imunitatea electromagnetică	scăzută	medie	medie	foarte bună
Izolația în tensiune	sute de V	sute de V	-	mii de V
Timpul de stabilire a legăturii	zeci de minute	minute	minute	minute

Tabelul 1: Performanțele tipurilor de transmisii utilizate.

## II. Performanțele transmisiei prin fibră optică

Funcționarea sistemului de antene orientabile în mediu electromagnetic de înaltă frecvență poate produce interferențe cu celelalte sisteme ale radarului ceea ce impune luarea de măsuri suplimentare de ecranare a unor elemente componente sensibile ale sistemului și ale transmisiei de date, ținându-se cont că fluxul de informații care se transmite între diversele echipamente este preponderent digital.

Mediul de transmitere ce prezintă o mare imunitate în prezența factorilor perturbatori este reprezentat de fibra optică. În domeniul militar, utilizarea legăturilor de fibră optică pentru interconectarea diverselor tipuri de echipamente are la bază principalele caracteristici și avantaje ale acestora ce determină dezvoltatorii de sisteme militare să opteze din ce în ce mai mult pentru utilizarea acestora, în special în scopul realizării legăturilor de transmitere de date de mare viteză:

- *Rata mare de transfer de date și distanțele mari de transmitere*

Fibrele optice permit transmiterea unui flux informațional mare la distanțe de ordinul sutelor de metri chiar al kilometrilor, fără a fi alterată calitatea informației transmise.

- *Imunitatea electromagnetică a transmisiei de date*

Mediul de transmitere prin fibră optică nu permite recepționarea semnalelor parazite, semnalul transmis prin fibră optică este foarte clar, rata erorii de bit fiind foarte redusă.

- *Izolația în tensiune*

Fibrele optice pot fi utilizate pentru izolații în legături la distanțe mari între echipamente în care pot apare probleme de buclă de masă datorită diferențelor de potențial. Mai mult, fibrele optice oferă izolație de tensiune operatorului și elimină riscul distrugerii plăcii de interfață optică, datorită pulsurilor luminoase sau a unei creșteri bruște de putere.

- *Ușurința de manevrare*

Fibrele optice sunt mult mai ușor de manevrat decât firele iar spectrul de frecvențe necesar pentru transmiterea semnalelor prin fibre optice este mai îngust decât cel necesar în cazul cablurilor de cupru, ceea ce conferă o mai mare flexibilitate în utilizare.

## III. Etapele de implementare ale transmisiei de date

Tehnologia transmiterii de date prin intermediul fibrelor optice are la bază dubla conversie de semnal. Analiza schemei bloc prezentată în figura 1 relevă faptul că pentru transmiterea datelor prin fibră optică între pupitrul de comandă și instalația de antene sunt necesare mai multe etape:

- Conversia paralel – serială a semnalului electric, care este realizată în scopul reducerii cantităților de fibră optică și a elementelor de conectică utilizate;

- Adaptarea de impedanță dintre convertorul paralel-serial și etajul transmițător care este realizată de către etajul de pilotare;
- Transformarea semnalului electric în semnal optic cu lungimea de undă adaptată spectrului lungimilor de undă ce pot fi transmise prin fibra optică utilizată;
- Transmiterea propriu-zisă a datelor prin mediul optic de transmitere;
- Recepția datelor transmise prin fibra optică și transformarea semnalului optic în semnal electric;
- Reformarea impulsurilor rezultate în urma conversiei optoelectronice;
- Conversia serial-paralelă a semnalului electric, care este realizată în scopul conectării la magistrala de date a instalației de antene.

Schema simplificată a unei comunicații pe fibră optică este prezentată în figura 1:

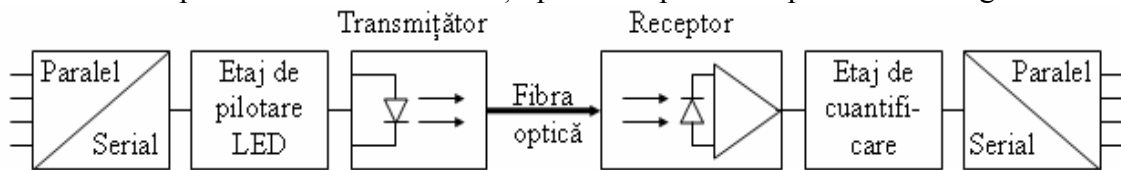


Figura 1: Schema simplificată a transmisiei de date pe fibră optică.

#### IV. Implementarea etapizată a unei transmisii de date

##### 1. Stabilirea fluxului de informație și a ratei de baud

Primul pas în implementarea comunicației este reprezentat de stabilirea fluxului de informație ce se va transmite dinspre calculator către sistemul de antene și dinspre sistemul de antene către calculator. Un alt aspect ce trebuie luat în considerare este determinat de necesitatea transmiterii adreselor diverselor echipamente conectate la această magistrală.

O transmisie de date care să asigure funcționarea unei instalații de antene cu mișcare în două planuri (azimutal și al elevației) presupune, în conexiunea minimală, conectarea următoarelor echipamente la magistrala de date a acesteia:

- Encoderul optic al transmisiei azimutale – conexiune pe 12 biți;
- Encoderul optic al transmisiei de elevație – conexiune pe 12 biți;
- Partea de comandă a transmisiei azimutale – conexiune pe 10 biți;
- Partea de comandă a transmisiei de elevație – conexiune pe 10 biți;
- Decodificatorul semnalelor de comandă – conexiune pe 8 biți;
- Codificatorul semnalelor de raport – conexiune pe 8 biți.

Ulterior stabilirii echipamentelor conectate la magistrale de date din instalația de antene, în dezvoltarea comunicației se are în vedere faptul că pentru transmiterea adresei către un encoder sunt utilizați biții 0 ÷ 3 din compunerea octetului de transmitere a comenzilor, dar și de faptul că adresa F (1111) este utilizată pentru accesarea tuturor encoderelor conectate la aceeași magistrală, astfel rămânând disponibile un număr de 15 adrese (0 ÷ E) pentru adresarea dispozitivelor din instalația de antene.

Utilizarea encoderelor cu rezoluția de 12 biți recomandă utilizarea, pentru transmiterea semnalului de comandă în cele două planuri a unei transmisii a semnalului de comandă a mișcării antenelor pe 12 biți, conectată la un convertor digital-analog cu același număr de biți. O particularitate este reprezentată de faptul că, pentru planul  $\varepsilon$ , utilizarea unei transmisii a semnalului de comandă pe 12 biți, nu este necesară, deoarece semnalul de eroare nu va avea niciodată o valoare mai mare de 90°, ceea ce menține neschimbați primii 2 biți (bitul cel mai semnificativ și bitul care îi urmează).

Pentru simplificarea construcției comunicației, ținându-se cont de faptul că o eroare de  $90^\circ$  este suficientă pentru a impune ca viteza sistemului de acționare să fie maximă, se va adopta și pentru planul azimutal aceeași rezoluție a semnalului de eroare, astfel că transmisia semnalului de eroare va fi o transmisie pe 10 biți.

Prin urmare, pentru a asigura transmiterea semnalelor de comandă pe durata a 2 biți, se va opta pentru transmiterea a două adrese cu lungimea de 3 biți – biții  $0 \div 2$ , ceea ce va permite transmiterea întregului semnal de comandă prin intermediul a 2 subsecvențe componente cu lungimea de 5 biți – biții  $3 \div 7$ , din componența celor 2 octeți alocați.

Pentru transmiterea comenzilor către sistemul de antene se mai alocă un octet, în timp ce pentru transmiterea rapoartelor către calculator se mai alocă un alt octet.

Prin prisma celor prezentate (avându-se în vedere protocoalele de comunicație ale encoderelor) rezultă că un ciclu complet de transmitere a datelor este format din:

- 5 octeți pentru transmiterea poziției de către encoderul planului azimutal;
- 3 octeți pentru transmiterea poziției de către encoderul planului elevației;
- 2 octeți pentru transmiterea semnalului de comandă în planul azimutal;
- 2 octeți pentru transmiterea semnalului de comandă în planul elevației;
- 1 octet pentru transmiterea comenzilor;
- 1 octet pentru transmiterea comenzii de transmitere a rapoartelor;
- 1 octet pentru transmiterea rapoartelor.

Viteza de transmitere a datelor, care se setează automat la alimentarea encoderului, este elementul cheie al stabilirii vitezei de transmitere a datelor prin linia de comunicație, la valoarea de *9600 Baud*.

Astfel, se poate contura, încă din faza de proiectare, schema simplificată a transmisiei de date, cu detalierea elementelor ce se conectează la aceasta, așa cum este prezentată în figura de mai jos:

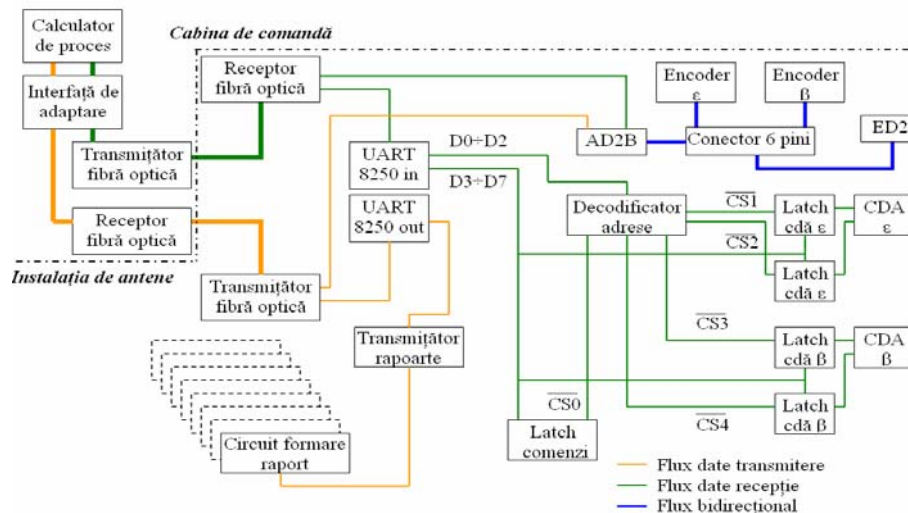


Figura 2: Schema simplificată a transmisiei de date și elementele conectate la aceasta.

## 2. Construcția unei linii de transmitere de date cu viteza de 9600 Baud

Cea mai facilă modalitate de conectare a unei linii seriale bidirecționale de transmitere de date la un calculator este conectarea acesteia la portul serial RS232 al acestuia, care asigură o viteză de transmitere a datelor suficient de mare pentru a putea asigura comanda unui sistem de acționare electrică. Stabilirea ratei de baud a transmisiei de date la valoarea de 9600 Baud impune dezvoltarea unei soluții constructive adaptate acestei valori a vitezei de transmitere, cum ar fi cea disponibilă de la producătorul Agilent, prezentată în figura de mai jos:

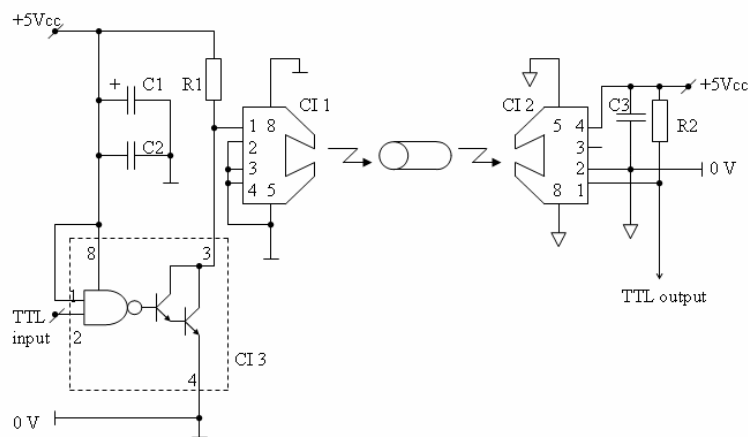


Figura 3: Construcția de referință pentru transmiterea de informații cu o rată de transfer de până la 40 Kbd compatibilă TTL la distanțe între 0 și 1,5 km.

Această construcție prezintă următoarele caracteristici constructive:

- Nu necesită ajustări sau reglaje suplimentare;
- Nu permite apariția suprasaturației în cazul liniilor de fibră optică scurte;
- Circuitele integrate din compunere sunt ușor de procurat;
- Diametrul fibrei optice utilizată este de 1 mm iar timpul de asamblare este de 1 minut.

### 3. Interfațarea cu calculatorul

Un aspect important al construcției prezentate mai sus este reprezentat de faptul că în funcționarea acesteia, pentru comanda convertorului electrono-optic se utilizează nivele de tensiune compatibile TTL, ceea ce impune adaptarea acestora cu nivelele de tensiune ale portului serial al calculatorului prin utilizarea unei interfețe construite în jurul circuitului de adaptare dedicat MAX 232.

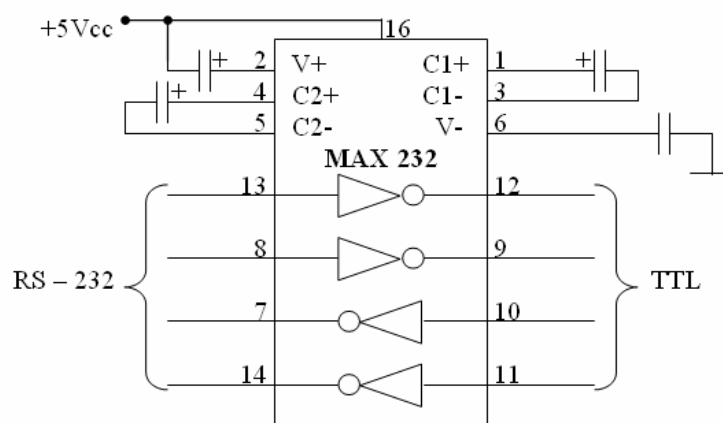


Figura 4: Schema de interfațare cu calculatorul a comunicației.

### 4. Deserializarea/serializarea datelor în instalația de antene

Pentru a putea conecta la comunicația realizată prin fibră optică echipamentele dispuse în instalația de antene, se utilizează magistrale de date seriale și paralele. Astfel, encoderile se conectează serial direct la linia de comunicație, în timp ce convertoarele digital analogice pentru formarea semnalelor de eroare și circuitele de transmitere a comenzilor și rapoartelor



se conectează la linia de comunicație prin intermediul a două circuite asincrone de recepție-transmitere de tipul *Intel 8250*. Circuitul *Intel 8250* are proprietatea de a trece asincron din modul de transmitere în cel de recepție în cazul în care sesizează informație la intrare și de a face conversia serial-paralelă (sau paralel-serială, funcție de poziția sa în schemă).

Comunicația este asincronă și compatibilă cu comunicația portului serial RS-232, fiind asociată unui ciclu de ceas al cărui semnal nu este trimis cu informația, astfel că fiecare cuvânt este sincronizat prin utilizarea bitului de start și a ceasului intern. Formatul utilizat pentru transmitere este formatul obișnuit 8N1 (informație de 8 biți, fără bit de paritate și cu un bit de stop). Realizarea unui flux bidirecțional de date impune utilizarea câte unui circuit *Intel 8250* atât pentru transmiterea datelor cât și pentru recepția datelor, timpii alocați pentru transmiterea datelor în ambele sensuri nesuprapunându-se.

Pentru a putea realiza recepția fără erori, este necesar ca atât transmițătorul conectat la interfața calculatorului, cât și circuitul *Intel 8250* să aibă setată aceeași viteză de transmitere. Dacă pentru calculator setarea ratei de baud este ușor de realizat, prin program, pentru partea situată în instalația de antene este necesară generarea unei rate de transmitere de 9600 Baud atât pentru recepție cât și pentru transmitere, ceea ce este ușor de implementat cu ajutorul generatorului ratei de baud construit în jurul circuitului integrat specializat de tipul *74HC4060* (circuit divizor de frecvență) și a unui cuarț extern. Valoarea cuarțului extern este dictată de valoarea impusă pentru ieșirea de baud și rata de divizare, astfel că, în cazul aplicației descrise, pentru valoarea de 9600 Baud, se va alege un cuarț de  $2,4546\text{ MHz}$ .

## 5. Bilanțul de putere al legăturii de fibră optică

Un aspect foarte important al viabilității legăturii de fibră optică proiectate mai sus este reprezentat de necesitatea furnizării de către transmițătoare a unei puteri optice suficiente, care să asigure funcționarea corectă a legăturii. Mai mult de atât totalul pierderilor pe legătura optică și marginile de siguranță optică trebuie să fie luate în considerare când se calculează puterea cerută a transmițătorului. Algoritmii de lucru pretabil a fi utilizați la calcularea totalului pierderilor pe legătura de fibră optică, a bilanțului de putere al legăturii optice și a puterii optice cerute a transmițătorului, respectă structura reprezentată în figura de mai jos:

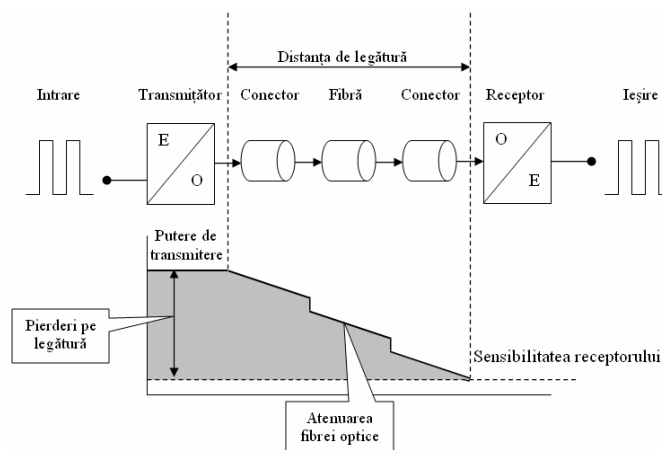


Figura 5: Bilanțul de putere pe fibră optică.

Astfel pentru o pierdere pe fibră optică  $P_{fo} = 125\text{m}\cdot\text{A}[\text{dB/m}] = 125\cdot7,8\cdot10^{-3} = 0,975\text{ dB}$ , o pierdere pe elementul de cuplare între fibră optică și transmițător (receptor)  $P_c = 3\text{dB}$ , pierderile în mediul de transmitere au valoarea de  $= 2\cdot P_c + P_{fo} = 6,975\text{ dB}$ .

Valoarea marginii de siguranță este de  $3\text{ dB}$ , astfel că  $P_{leg} = 6,975 + 3\text{ dB} = 9,975\text{ dB}$ .

Pentru o putere a transmițătorului este de min. – 11,2 dB și o sensibilitate a receptorului de min. – 39 dB, rezultă că:

$$-11,2 > 9,975 + (-39) = -29,025 \quad (1)$$

Din relația (1) se observă că *elementele alese asigură o transmitere la distanțe de 125 m a semnalelor pe fibra optică*, pierderile ce apar pe fibra optică fiind compensate de diferența dintre puterea transmițătorului și sensibilitatea receptorului.

## V. Concluzii și tendințe de viitor

Mediul de transmitere a datelor prin intermediul fibrei optice reprezintă o soluție de viitor în dezvoltarea unor comunicații de date între diversele elemente componente ale unui sistem radar, dar și între elementele componente sistemelor integrate de tunuri antiaeriene sau de rachete sol-aer.

Cea mai importantă proprietate a fibrelor optice este reprezentată de imunitatea electromagnetică, care elimină orice posibilitate de distorsionare/transmitere eronată a datelor din motive ce țin de apariția interferențelor ce pot apare datorită lucrului în emisie al mijloacelor radio și de radiolocație.

Aspectul ergonomic este, de asemenea, un atu important astfel că, prin utilizarea unor comunicații de mare viteză și a interfețelor adecvate, o fibră optică poate înlocui mai multe cabluri multifilare. În aplicația de față, comunicația realizată cu 2 fibre optice, care au o masă de 1 kg. fiecare, înlocuiește o rolă de cablu cu masa de 75 kg, timpul de instalare și necesarul de forțe umane micșorându-se substanțial.

Comunicația prin fibră optică reprezintă totodată și o soluție de dublare, în scopul realizării deplinei imunități electromagnetice, a legăturii radio între elementele dispuse la diverse distanțe între ele, utilizate pentru punerea rapidă în funcțiune a sistemelor integrate la schimbarea poziției de tragere.

Consider că, în viitor, diversele tipuri de comunicații ce pot fi utilizate în cadrul unui sistem integrat de artilerie antiaeriană sau de rachete sol-aer vor continua să coexiste, însă în acele zone în care se impune minimizarea oricărei interferențe, se va opta din ce în ce mai mult pentru realizarea comunicațiilor ce au ca mediu de transmitere fibra optică.

## Bibliografie:

- [1] \*\*\* – "Fiber optic components for industrial applications", Hewlett-Packard Co, 1998;
- [2] R. Ianculescu – "Manualul radioamatorului începător", Editura Tehnică, București, 1989;
- [3] V. Năvrăpescu, M. Popescu, M. Covrig, P. Todos – "Acțiunări electrice de curent continuu", Editura ICPE, București, 1999;
- [4] D. Fodor, Ph. Delarue, F. Ionescu, D. Floricău – "Convertoare statice de putere speciale", Editura Printech, București, 1997;
- [5] \*\*\* – "Digital control of dynamic systems – third edition", Editura IEEE, 2005;
- [6] [www.usdigital.com](http://www.usdigital.com);
- [7] [www.beyondlogic.com](http://www.beyondlogic.com);
- [8] [www.intel.com](http://www.intel.com);
- [9] [www.analogdevices.com](http://www.analogdevices.com);

---

\* Cornel Ovidiu BADEA, drd. ing., Universitatea Politehnică, București, Splaiul Independenței nr. 313, tel. 0724.546.476, e-mail:[cornelovidiu.badea@gmail.com](mailto:cornelovidiu.badea@gmail.com)

## CARACTERISTICILE DE FUNCȚIONARE PENTRU ECHIPAMENTELE DE ACȚIONARE A TROLEIBUZULUI CU MOTOR ASINCRON

Ioan BELE<sup>\*</sup>  
Liviu Sevastian BOCÎ<sup>\*\*</sup>  
Ioan STRĂINESCU<sup>\*\*\*</sup>  
Valentin MÜLLER<sup>\*\*\*\*</sup>  
Mihaela POPA<sup>\*\*\*\*\*</sup>

*Rezumat: Mașina asincronă are o largă utilizare în acționările electrice datorită construcției simple și robuste, siguranței în funcționare și a costului mai scăzut.*

*Important în cazul acesta este reglarea turației mașinii electrice cu ajutorul convertoarelor de frecvență. Alimentarea mașinii electrice prin convertoare statice presupune analiza funcționării mașinii în regim tranzitoriu, deoarece regimul permanent este format dintr-un lanț de regimuri tranzitorii.*

*Ecuatiile în regim tranzitoriu ale mașinii electrice sunt stabilite pe baza teoriei celor două axe „dq”, fixe față de câmpul magnetic din stator, considerând în aceste ecuații și armonicile de ordin superior care intervin în tensiunile de alimentare a mașinii electrice.*

*Luând în considerare unda de tensiune la ieșirea din inverter se prezintă caracteristicile de funcționare:  $i$ ,  $n$ ,  $M=f(t)$  și caracteristica mecanică  $n=f(M)$  pentru diferite valori ale frecvenței tensiunii de alimentare.*

### I Modelul matematic

Posibilitățile de modificare a turației motorului asincron decurg din analiza ecuației [1]:

$$n = \frac{f_1}{p} \cdot (1 - s) \quad (1)$$

Din această expresie rezultă că turația unui motor asincron se poate regla prin frecvența tensiunii de alimentare  $f_1$ , numărul perechilor de poli din stator  $p$  și prin alunecarea  $s$  a mașinii.

Reglarea turației în limite largi se realizează prin modificarea frecvenței tensiunii de alimentare  $f_1$  cu ajutorul convertoarelor statice de frecvență. Aceste convertoare sunt construite cu ajutorul tiristoarelor pentru mașinile de putere mare sau cu tranzistoare pentru

mașini de putere redusă. Un astfel de convertor static indirect de frecvență este prezentat în figura 1, fiind construit dintr-un redresor comandat pentru modificarea tensiunii pe mașina asincronă și un invertor pentru modificarea frecvenței.

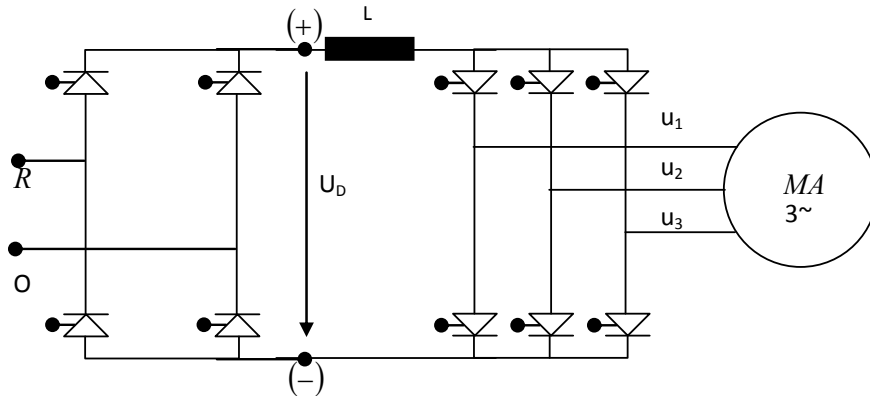


Fig. 1: Convertor indirect de frecvență.

Pentru a menține un flux constant în mașină la modificarea frecvenței tensiunii de alimentare este necesar ca  $U/f = ct$ .

În realitate pentru ca mașina să funcționeze la aceeași capacitate de suprasarcină, randament și factor de putere este necesară îndeplinirea relației[4]:

$$\frac{U}{U_N} = \frac{f}{f_N} \cdot \sqrt{\frac{M}{M_N}} \quad (2)$$

unde:  $U_N$ ,  $f_N$  și  $M_N$ , sunt mărimile nominale ale mașinii.

Alimentarea mașinilor electrice prin convertoare statice presupune analiza funcționării mașinii în regim tranzitoriu, deoarece regimul permanent (staționar) este format dintr-un "lanț" de regimuri tranzitorii.

Studiul regimului tranzitoriu se realizează pe baza teoriei celor două axe (modelul ortogonal) la care ecuațiile mașinii asincrone sunt scrise în raport cu timpul, parametrii electrici fiind considerați constanți.

În teoria celor două axe, mașina asincronă trifazată este echivalentă cu o mașină asincronă având înfășurările statorice și rotorice dispuse după axele "d" și "q" în cvadratură electrică – figura 2.

Mașina echivalentă are același cuplu, aceeași putere electromagnetică primită la borne ca și mașina reală.

Ecuațiile pentru stator și rotor cu sistemul de referință "dq" fix față de câmpul magnetic din stator, sunt următoarele[3]:

$$\begin{aligned} U_d &= R_1 \cdot i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_1 \cdot \psi_q \\ U_q &= R_1 \cdot i_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega_1 \cdot \psi_d \\ U_{dr} &= R_2 \cdot i_{dr} + \frac{d\psi_{dr}}{dt} - (\omega_1 - \omega) \cdot \psi_{qr} \\ U_{qr} &= R_2 \cdot i_{qr} + \frac{d\psi_{qr}}{dt} + (\omega_1 - \omega) \cdot \psi_{dr} \end{aligned} \quad (3)$$

unde fluxurile magnetice din stator și rotor sunt:

$$\begin{aligned}
 \psi_d &= L_{1\sigma} \cdot i_d + L_{1h} \cdot (i_d + i_{dr}) \\
 \psi_q &= L_{1\sigma} \cdot i_q + L_{1h} \cdot (i_q + i_{qr}) \\
 \psi_{dr} &= L_{2\sigma} \cdot i_{dr} + L_{1h} \cdot (i_d + i_{dr}) \\
 \psi_{qr} &= L_{2\sigma} \cdot i_{qr} + L_{1h} \cdot (i_q + i_{qr})
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

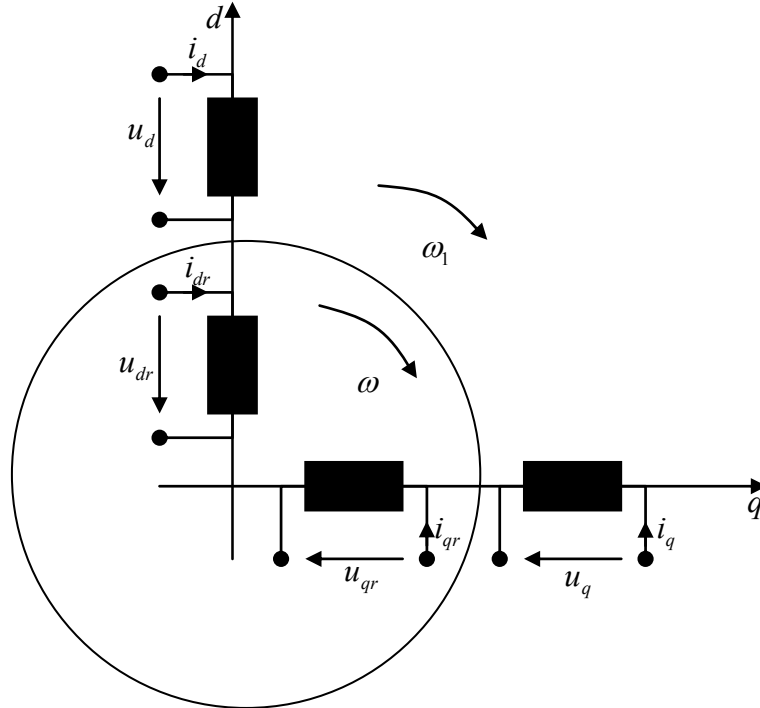


Fig. 2: Mașina asincronă echivalentă în modelul.

Parametrii electrici care intervin în relațiile (3) și (4) sunt:

$R_1$  – rezistența fazei din stator;

$R_2$  – rezistența fazei din rotor;

$L_{1\sigma}$  - inductivitatea de dispersie a fazei din stator;

$L_{2\sigma}$  - inductivitatea de dispersie a fazei din rotor;

$L_{1h}$  – inductivitatea principală;

$\omega_1, \omega$  – viteza unghiulară a câmpului magnetic din stator, respectiv a rotorului.

La ecuațiile tensiune-curent din (3) se adaugă ecuația mișcării:

$$M - M_m = \frac{J}{p} \cdot \frac{d\omega}{dt} \tag{5}$$

unde cuplul electromagnetic este determinat de relația:

$$M = p \cdot L_{1h} \cdot (i_q \cdot i_{dr} - i_d \cdot i_{qr}) \tag{6}$$

iar cuplul rezistent  $M_m$  la arborele motorului asincron în cazul acționării unui troleibuz este:

$$M_m = M_N \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_N} \right)^2 \tag{7}$$

Cu ajutorul sistemului de ecuații format din relațiile (3) și (5) se obțin variațiile în timp a  $i_d(t)$ ,  $i_q(t)$ ,  $i_{dr}(t)$ ,  $i_{qr}(t)$  și  $\omega(t)$ , de unde se poate determina curentul real din mașină[2]:

$$i = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot [i_d \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) - i_q \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)] \tag{8}$$

În cazul mașinii asincrone cu rotorul în colivie având în vedere că barele din rotor sunt scurtcircuitate cu ajutorul unor inele, tensiunile înfășurărilor rotorice din axele d și q sunt nule. ( $U_{dr} = U_{qr} = 0$ ).

În tracțiunea electrică a troleibuzului, linia de contact fiind monofazată, redresorul ce intră în componența convertorului de frecvență este monofazat, iar inverterul este trifazat.

Unda de tensiune pentru prima fază la ieșire din inverter este de forma prezentată în figura 3.

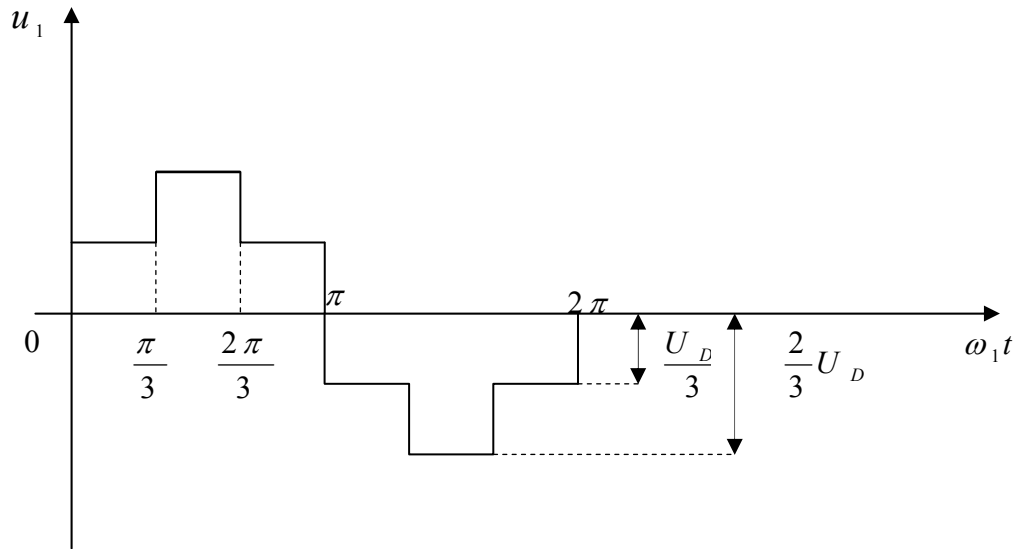


Fig. 3: Unda de tensiune la ieșirea din inverter.

Prin descompunere în serie Fourier a tensiunii și ținând seama de defazajul tensiunii se obține:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{4 \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \cdot U \cdot \sum_{\nu=6 \cdot k \pm 1}^{\infty} \frac{\sin \nu \cdot \omega_1 \cdot t}{\nu} \\
 U_2 &= \frac{4 \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \cdot U \cdot \sum_{\nu=6 \cdot k \pm 1}^{\infty} \frac{\sin \nu \cdot \left( \omega_1 \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{3} \right)}{\nu} \\
 U_3 &= \frac{4 \cdot \sqrt{2}}{\pi^2} \cdot U \cdot \sum_{\nu=6 \cdot k \pm 1}^{\infty} \frac{\sin \nu \cdot \left( \omega_1 \cdot t - 2 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right)}{\nu}
 \end{aligned} \tag{9}$$

unde  $U$  este valoarea efectivă a tensiunii liniei de contact.

În teoria celor două axe [2], din condiția de egalitate a puterilor pentru mașina reală și mașina echivalentă se obțin relații de transformare a tensiunilor:

$$\begin{aligned}
 U_d &= \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sum_{\lambda=1}^3 U_{\lambda} \cdot \cos \left[ \omega_1 \cdot t - (\lambda - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] \\
 U_q &= -\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sum_{\lambda=1}^3 U_{\lambda} \cdot \sin \left[ \omega_1 \cdot t - (\lambda - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right]
 \end{aligned} \tag{10}$$

unde  $\lambda$  reprezintă numărul de faze ale mașinii asincrone.

Prin urmare, în ecuațiile (3) tensiunile în stator în axele d și q în cazul alimentării mașinii asincrone trifazate printr-un convertor static de frecvență devin:

$$\begin{aligned}
 U_d &= \frac{8}{\sqrt{3} \cdot \pi^2} \cdot U \cdot \sum_{\lambda=1}^3 \sum_{\nu=6 \cdot k \pm 1}^{\infty} \left\{ \frac{\sin \nu \cdot \left[ \omega_1 \cdot t - (\lambda - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right]}{\nu} \cdot \cos \left[ \omega_1 \cdot t - (\lambda - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] \right\} \\
 U_q &= -\frac{8}{\sqrt{3} \cdot \pi^2} \cdot U \cdot \sum_{\lambda=1}^3 \sum_{\nu=6 \cdot k \pm 1}^{\infty} \left\{ \frac{\sin \nu \cdot \left[ \omega_1 \cdot t - (\lambda - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right]}{\nu} \cdot \sin \left[ \omega_1 \cdot t - (\lambda - 1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{3} \right] \right\}
 \end{aligned} \tag{11}$$

În felul acesta se poate analiza funcționarea mașinii asincrone trifazate alimentate la diferite frecvențe ale tensiunii rețelei. Este important de subliniat că efectul curenților turbionari din tolele miezurilor feromagnetice este mai puțin important până la frecvența de 100 Hz.

## II Studiu de caz

Se consideră un motor asincron trifazat cu rotorul în colivie de putere nominală  $P_N = 130$  kW la turația nominală  $n_N = 580$  rot/min, alimentat la tensiunea  $U = 380$  V.

Motorul asincron este caracterizat prin următorii parametrii electrici:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 0,08 \, \Omega & R_2 &= 0,062 \, \Omega \\
 L_{1\sigma} &= 1,005 \cdot 10^{-3} \, \text{H} & L_{2\sigma} &= 0,212 \cdot 10^{-3} \, \text{H} \\
 L_{1h} &= 0,013 \, \text{H} & J &= 15,8 \, \text{kg} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

În figura 4a se prezintă variația în raport cu timpul a curenților în axele "d" și "q" din înfășurarea statorică și rotorică a mașinii echivalente pentru  $U = 380$  V,  $f = 50$  Hz având un cuplu rezistent la arbore  $M_m = 1000$  Nm.

Cu aceste rezultate, în figura 4b se prezintă variația în raport cu timpul a curentului  $i = f(t)$  din faza mașinii reale și turația  $n = f(t)$  a mașinii în procesul pornirii, cuplul electromagnetic  $M = f(t)$  și caracteristică mecanică  $n = f(M)$  pentru  $U = 380$  V,  $f = 50$  Hz și  $M_m = 1000$  Nm.

În figurile 5a și 5b se prezintă regimul tranzitoriu în procesul pornirii mașinii asincrone alimentată la  $U = 76$  V,  $f = 10$  Hz și  $M_m = 1000$  Nm.

Pentru frecvențele sub frecvența nominală pentru același flux magnetic în întrefierul mașinii este necesară scăderea tensiunii de alimentare ( $U/f = \text{ct}$ ). Se observă în figura 5b influența armonicilor de ordinul superior în curent și în cuplul electromagnetic, influență neglijabilă în turație datorită cuplului rezistent  $M_m$  de valoare mare.

Pentru frecvențe peste frecvența de 50 Hz, în figura 6a și 6b se prezintă regimul tranzitoriu în cazul alimentării mașinii asincrone trifazate la tensiunea  $U = 380$  V,  $f = 65$  Hz având un cuplu rezistent la arbore  $M_m = 1000$  rot/min.

Influența armonicilor de ordin superior din curent și cuplul electromagnetic este diminuată datorită creșterii reactanței mașinii în raport cu rezistența la creșterea tensiunii de alimentare.

Pentru frecvența de 65 Hz, turația mașinii la finele regimului tranzitoriu (figura 6b) ajunge la 525 rot/min în loc de 754 rot/min. La creșterea frecvenței, deci la creșterea turației, pentru aceeași mașină asincronă ( $P = \text{ct}$ ) și același cuplu rezistent la arbore ( $M_m = 1000$  Nm) cuplul electromagnetic scade deoarece  $P = M \Omega$ .



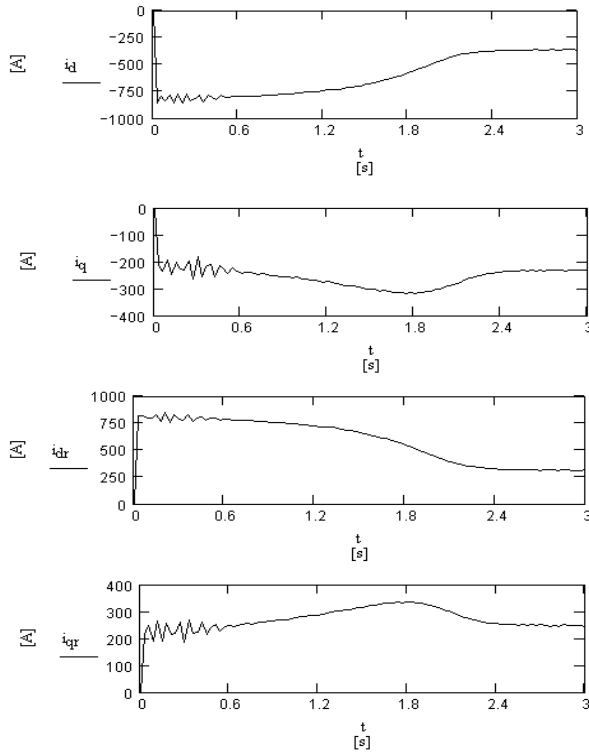


Fig. 4a

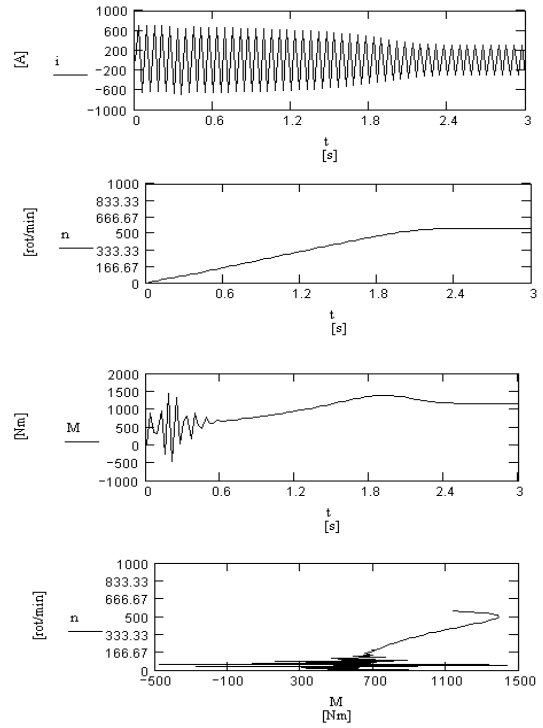


Fig. 4b

Regimul tranzitoriu în procesul pornirii mașinii asincrone  
( $P_N = 130$  kW,  $n = 580$  rot/min) pentru  $U = 380$  V;  $f = 50$  Hz și  $M_m = 1000$  Nm.

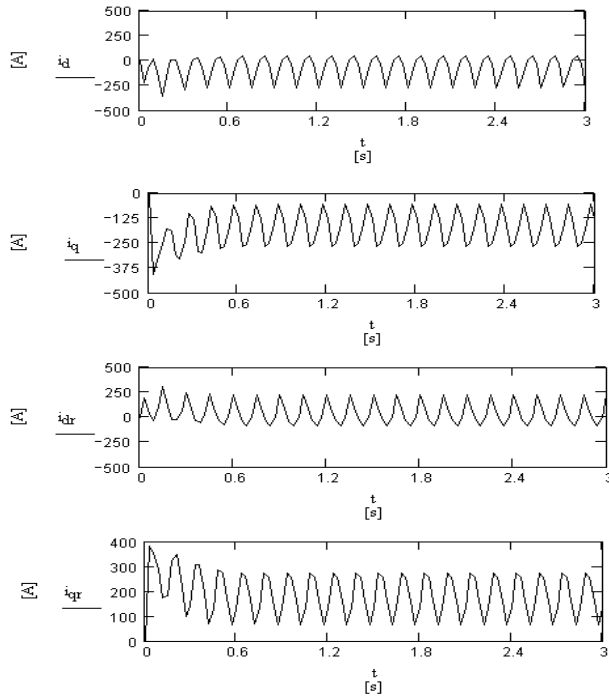


Fig. 5a

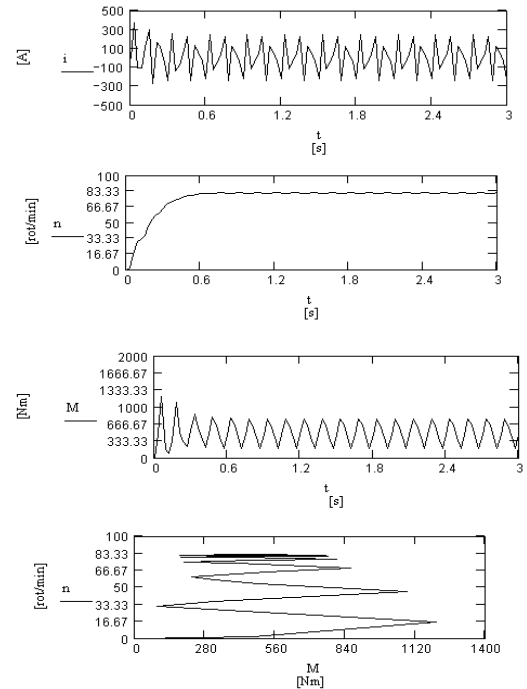


Fig. 5b

Regimul tranzitoriu în procesul pornirii mașinii asincrone  
( $P_N = 130$  kW,  $n = 580$  rot/min) pentru  $U = 76$  V;  $f = 10$  Hz și  $M_m = 1000$  Nm.

O influență mare asupra turației o are caracteristica cuplului rezistent care depinde de pătratul vitezei unghiulare și armonicile de ordin superior din câmpul magnetic al mașinii asincrone. Prin urmare, pentru turații mai mari decât turația nominală este necesară dimensionarea motorului asincron la putere superioară.

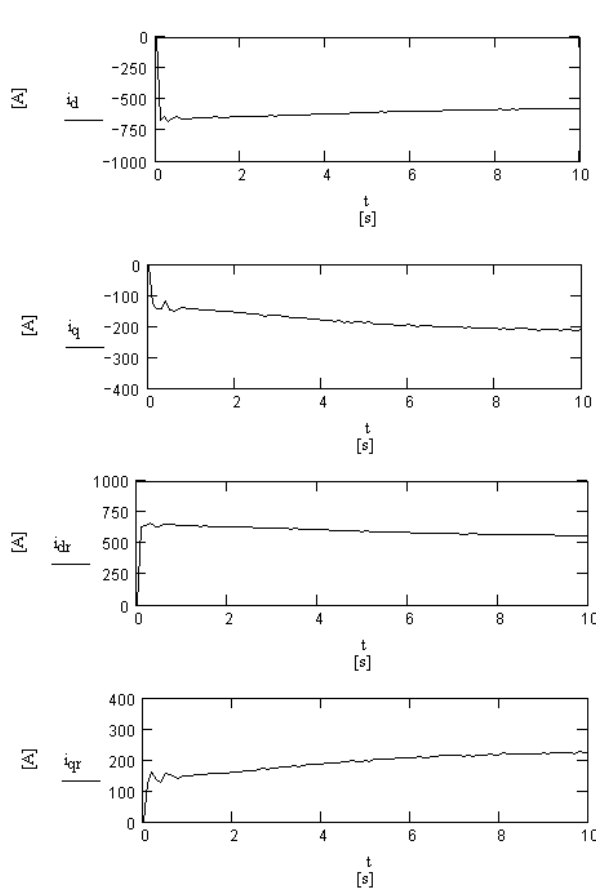


Fig. 6a

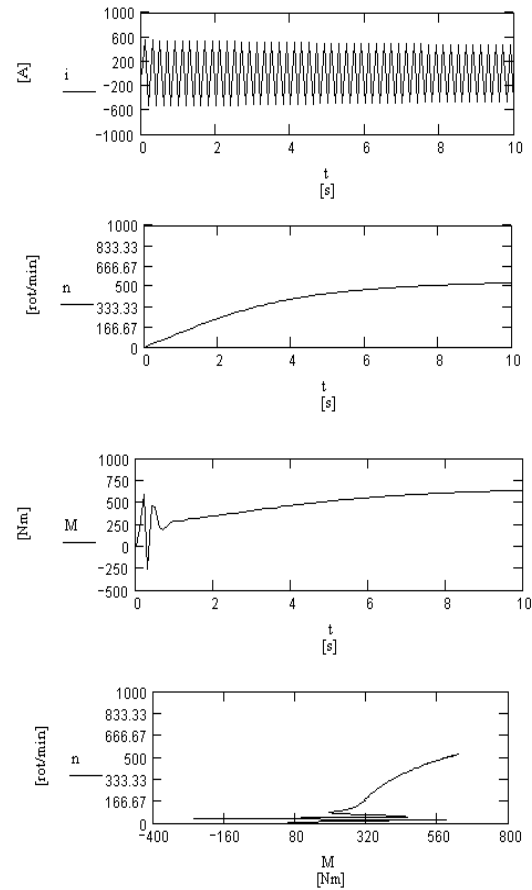


Fig. 6b

Regimul tranzitoriu în procesul pornirii mașinii asincrone  
( $P_N = 130$  kW) pentru  $U = 380$  V;  $f = 65$  Hz și  $M_m = 1000$  Nm

### III Concluzii

Având instrumentele de analiză a mașini asincrone condusă prin convertoare de frecvență, se pun în continuare următoarele probleme:

- stabilirea domeniului de frecvență pentru care vehiculul poate porni;
- variația tensiunii la pornire (pornirea lină) și la mersul în sarcină la diferite viteze;
- compensarea armonicilor cu ajutorul inverterului (convector pe patru cadrane pentru schimbul de energie dintre sursă și mașină) ;
- compensarea armonicilor ținând cont de construcția mașinii;
- posibilitățile de frânare (cu recuperarea energiei);
- comanda mașinii prin flux statoric controlat, rotoric sau util.

## Bibliografie

- [1] Dordea, T. – *Mașini electrice*, Editura ASAB București, 2002, pp. 124-139;  
[2] Dordea, T. – *Mașini electrice. Partea complementar*, Editura Politehnica Timișoara, 2002, pp. 10-19;  
[3] Câmpeanu, A. – *Introducere în dinamica mașinilor electrice de curent alternativ*, Editura Academiei Române, București, 1998, pp. 60-84;  
[4] Müller, V. – *Mașini electrice*, Editura Politehnica Timișoara 2005, pp. 50–62.

---

\* Ioan Bele, prof.univ.dr.ing., Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad nr. 77, tel. 0257 250389, e-mail: [ioan\\_bele2002@yahoo.com](mailto:ioan_bele2002@yahoo.com)

\*\* Liviu Sevastian Bocîi, prof.univ.dr.ing., Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad nr. 77, tel. 0257 250389, e-mail: [bociis@yahoo.com](mailto:bociis@yahoo.com)

\*\*\* Ioan Străinescu, conf.univ.dr.ing., S. C. ICPE SAERP S. A., București, Splaiul Unirii nr.313, cod 030138 sector 3, București, e-mail: [saerp@saerp.ro](mailto:saerp@saerp.ro)

\*\*\*\* Valentin Dan Müller, conf.univ.dr.ing., Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad nr. 77, tel. 0257 250389, e-mail: [mullervalentin@yahoo.com](mailto:mullervalentin@yahoo.com)

\*\*\*\*\* Mihaela Popa, asist.univ.drd.ing., Universitatea "Aurel Vlaicu" din Arad nr. 77, tel. 0257 250389, e-mail: [mihaela2popa@yahoo.com](mailto:mihaela2popa@yahoo.com)

## MĂSURĂRI MICRO ȘI NANOMETRICE AL SUPRAFETELOR MATERIALELOR METALICE MĂSURATE LA INTERCȚIUNEA SENZOR-SUPRAFAȚĂ

Marius Dan BENȚA\*  
Csilla FARKAS\*\*  
Petre Nicolae MOGAN\*\*\*\*

Abstract:

*Prezentul articol își propune o selectare a câtorva tipuri de senzori de sensibilități diferite cu ajutorul cărora este posibilă convertirea efectelor fizice care pot să se regăsească pe suprafețele diferitelor materiale metalice, dar nu numai, precum și a efectelor electrice care vor putea fi prelucrate cu aparate de măsurat sau calculatoare.*

*Achiziția datelor astfel obținute, precum și conversia acestora în imagini, validarea rezultatelor în acest caz va fi posibilă utilizând tehnologia de tip AFM.*

Elemente sensibile de tip parametric

Elementele sensibile (ES) parametrice (sau modulatori) se utilizează atunci când mărimea de măsurat este pasivă, adică nu are asociată o putere suficientă, sau fenomenul fizic pe care se bazează conversia nu permite obținerea directă a unui semnal electric. Se numesc elemente sensibile parametrice deoarece mărimea de intrare (neelectrică) determină variația proprietăților de material care sunt de natura unui parametru electric de circuit (rezistența electrică, inductivitate, capacitate sau combinații ale acestora).

Pentru a pune în evidență aceste variații este nevoie de o sursă de energie auxiliară care generează tensiune sau curent constant, a cărei valoare este modulată de variația parametrului respectiv, obținându-se astfel un semnal electric ale cărei variații reproduc pe cele ale mărimii de măsurat.

Mărimile fizice de natură neelectrică din cele mai diverse domenii (mecanică, chimie, termotehnică, radiații) pot fi convertite în mărimi de natură electrică datorată legilor fizice care exprimă dependența parametrilor (R, L, C) menționați la anumite materiale (conductoare, semiconductoare sau dielectrice) în raport cu aceste mărimi.

- Relații fundamentale care stau la baza funcționării elementelor sensibile parametrice sunt:
  - a) Rezistența electrică a unui conductor omogen:



$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

unde  $l$  – lungimea conductorului;  
 $S$  – secțiunea conductorului;  
 $\rho$  – rezistivitatea materialului.

b) Inductivitatea proprie a unei bobine (considerând circuitul magnetic liniar):

$$L = \frac{N^2}{\sum_{k=1}^n \frac{l_k}{\mu_k S_k}}; \quad (2)$$

unde  $N$  – numărul de spire al bobinei;  
 $l_k$  – lungimea circuitului magnetic ( $k$ );  
 $\mu_k$  și  $S_k$  – permeabilitatea magnetică și secțiunea mediilor ce formează circuitul magnetic al bobinei.

c) Capacitatea unui condensator plan cu armături paralele:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{d}; \quad (3)$$

unde  $\varepsilon$  - permitivitatea mediului;  
 $S$  – suprafața activă comună a armăturilor;  
 $d$  – distanța între armături.

Pentru fiecare din cele trei elemente sensibile parametrice ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) se vor prezenta tabelar atât fenomenele fizice pe care se bazează conversia măsurandului, cât și aplicațiile recomandate.

#### 1. Elemente sensibile (ES) rezistive (R)

Tabel 1.

Fenomenul fizic pe care se bazează conversia	Aplicații (mărimi măsurate)
- variația lungimii conductorului (sau a numărului de spire în cazul rezistorului bobinat)	– deplasări liniare și unghiulare; – grosime; – nivel.
- variația rezistivității ( $\rho$ ) cu temperatura (termorezistența, termistorul)	– temperatură; – umiditate;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- concentrație de gaze;</li> <li>- viteză gaze (debit);</li> <li>- vacuum.</li> </ul>
- variația lui $\rho$ sub influența câmpului magnetic (efect Gauss)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- câmpul magnetic;</li> <li>- inducție.</li> </ul>
- variația lui $\rho$ sub acțiunea radiațiilor (fotorezistențe, fotoelemente)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- intensitate luminoasă;</li> <li>- flux luminos;</li> <li>- deplasări (prin modulația fluxului de radiații).</li> </ul>
- variația lui $\rho$ , $l$ , $S$ prin intermediul unui element elastic deformabil (tensorezistențe, piezorezistențe).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- forță;</li> <li>- presiune.</li> </ul>

## 2. Elemente sensibile inductive (L)

Tabel 2.

Fenomenul fizic	Aplicații (mărimi măsurate)
- variația $l$ , $\mu$ , $S$ pentru porțiuni de circuit magnetic prin plasarea unor armături feromagnetice (întrefier variabil, miez mobil).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- deplasări liniare;</li> <li>- dimensiuni piese;</li> <li>- grosime;</li> <li>- nivel.</li> </ul>
- variația $l$ , $\mu$ , $S$ prin asociere cu elemente elastice, amortizoare, mase.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- accelerație;</li> <li>- viteză;</li> <li>- vibrații.</li> </ul>
- variația lui $\mu$ prin magnetostricțiune	<ul style="list-style-type: none"> <li>- forță;</li> <li>- presiune.</li> </ul>

## 3. Elemente sensibile capacitive (C)

Tabel 3.

Fenomenul fizic	Aplicații (mărimi măsurate)
- variația $d$ sau $S$ prin deplasare	<ul style="list-style-type: none"> <li>- deplasări liniare sau unghiulare;</li> <li>- presiune.</li> </ul>
- idem asociind cu un element elastic	<ul style="list-style-type: none"> <li>- altitudine.</li> </ul>
- variația permitivității $\epsilon$ dielectricului	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nivel;</li> <li>- grosime;</li> <li>- umiditate (solide).</li> </ul>

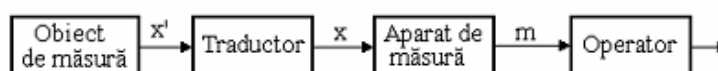




Fig. 1. Lanț de măsură

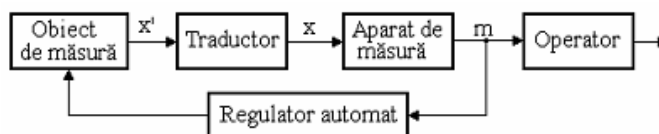


Fig. 2. Sistem de măsurare-reglare

Observații :

1. Când măsurandul este o mărime neelectrică (de exemplu, temperatura), între OM și AM se interpune un dispozitiv care să-l convertească într-o mărime electrică X (de exemplu, o tensiune); un asemenea dispozitiv (termocuplu în cazul citat) se numește traductor (figura 1).
2. În cazul mărimilor neelectrice este necesar, adesea, nu numai măsurarea ci și reglarea mărimii respective cum ar fi, de exemplu, măsurarea și reglarea temperaturii într-un cuptor de tratamente termice. În acest caz, în schema de măsurare (figura 2) apare, în plus, un organ de decizie și acțiune (regulator automat de temperatură în cazul citat).

Concluzii :

Se numesc elemente sensibile parametrice deoarece mărimea de intrare (neelectrică) determină variația proprietăților de material care sunt de natura unui parametru electric de circuit (rezistența electrică, inductivitate, capacitate sau combinații ale acestora). Mărimile fizice de natură neelectrică din cele mai diverse domenii (mecanică, chimie, termotehnică, radiații) pot fi convertite în mărimi de natură electrică datorată legilor fizice care exprimă dependența parametrilor (R, L, C)

Bibliografie:

- [1] STROE Ioan, Senzori și traductoare: Brașov: Universitatea "Transilvania" din Brașov, 2000;
- [2] TODOS Petru, GOLOVANOV Carmen; Senzori și traductoare: Chișinău: Editura Tehnica-Info, 1998;
- [3]: CIOBANU Lucia, Tratat de inginerie electrică: senzori și traductoare : București: Matrix Rom, 2006;
- [4] IORDACHE Petre, Senzori și traductoare electrice: Brașov: Universitatea "Transilvania" din Brașov, 2000;
- [5] STROE Ioan, Senzori și traductoare pentru roboți industriali: Brașov: Universitatea "Transilvania" din Brașov, 2000;
- [6] PROCEEDINGS of the 5th International Conference on optimization of electric and electronic equipments: Edietd by The Transilvania University of Brașov, Faculty of Electrical Engineering, 1996;

\* Bența marius Dan – Drd. ing. Universitatea “Transilvania” din Brașov [mariusbenta@yahoo.com](mailto:mariusbenta@yahoo.com)

\*\* Farkas Csilla – Student Universitatea “Transilvania” din Brașov

\*\*\* Mogan Petre Nicolae – Drd. ing. Universitatea “Transilvania” din Brașov

## **METODE MODERNE DE MĂSURARE ȘI PRELUCRARE A DATELOR APPLICATE ÎN INGINERIA SUPRAFETELOR**

Marius Dan BENȚA\*  
Viorel ENE\*\*

*Abstract:*

*Prezentul aticol este o aprofundare a cercetărilor asupra dezvoltării de tehnologii de măsurare micro și nanometrice bazate pe interacțiuni senzor –suprafață aplicate pentru caracterizarea diferitelor materiale metalice supuse tratamentelor de difuzie.*

*Această caracterizare este necesară, deoarece servește la calibrarea parametrilor tehnologiilor de difuzie astfel încât straturile obținute să fie uniforme fără porozități și fără “pete”*

Microscopul cu forță atomică (AFM) și scanarea cu microscopul de forță a fost inventat în 1986 de către Binning., Quate și Gerber.[1] Ca toate microscopul de forță a fost probe de eșantionare, AFM-ul folosește un vârf ascuțit care se mișcă în aria de scanare. În cazul AFM-ului, vârful probei, este dintr-un material ce se îndoaie răspunzând la forța aplicată dintre vârf și eșantion. În figura 1 este prezentată schema de ansamblu a unui AFM.

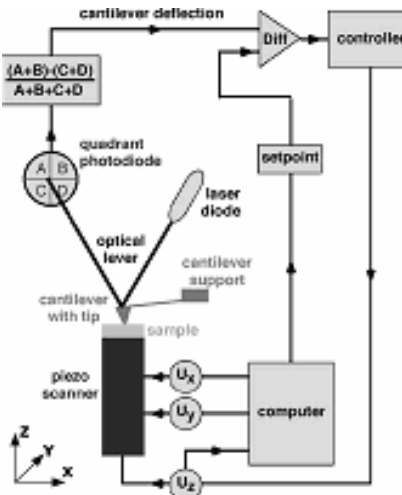


Fig. 1 Schema de ansamblu a AFM-ului

Permite studiul atât al suprafețelor conductoare cât și a celor izolante [8]. Cu detectoare adecvate pot fi obținute imagini tridimensionale și observarea rugozității ce depășește zecimea de milimetru [4]. În figura 2 este prezentată geometria unui canteliver, cu ajutorul căruia se investighează diversele suprafețe.

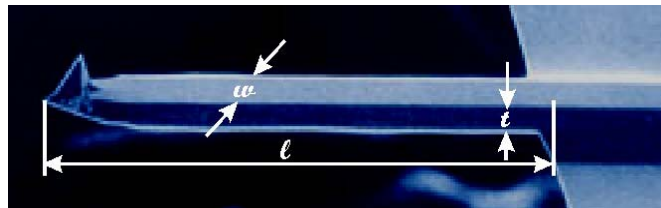


Fig. 2 Geometria unui canteliver

AFM-ul poate fi utilizat în două moduri: a. Cu feedback/răspuns b. Fără controlul feedback-ului/răspunsului AFM-ul permite scanarea topografiei suprafețelor în aer, fluid, vacuum și gaz. AFM-ul încorporează o serie de îmbunătățiri care îi permit să atingă scara atomică [6]:

- Detecție sensibilă
- Pârghii flexibile
- Vârfuri ascuțite

Din fig. 1 se observa că întreg ansamblu al instalației AFM este conectat la un calculator, iar pentru validarea suprafețelor scanate se va utiliza mediul de programare LabView.

În continuare se prezintă schemele bloc al programului LabView pentru instalația AFM

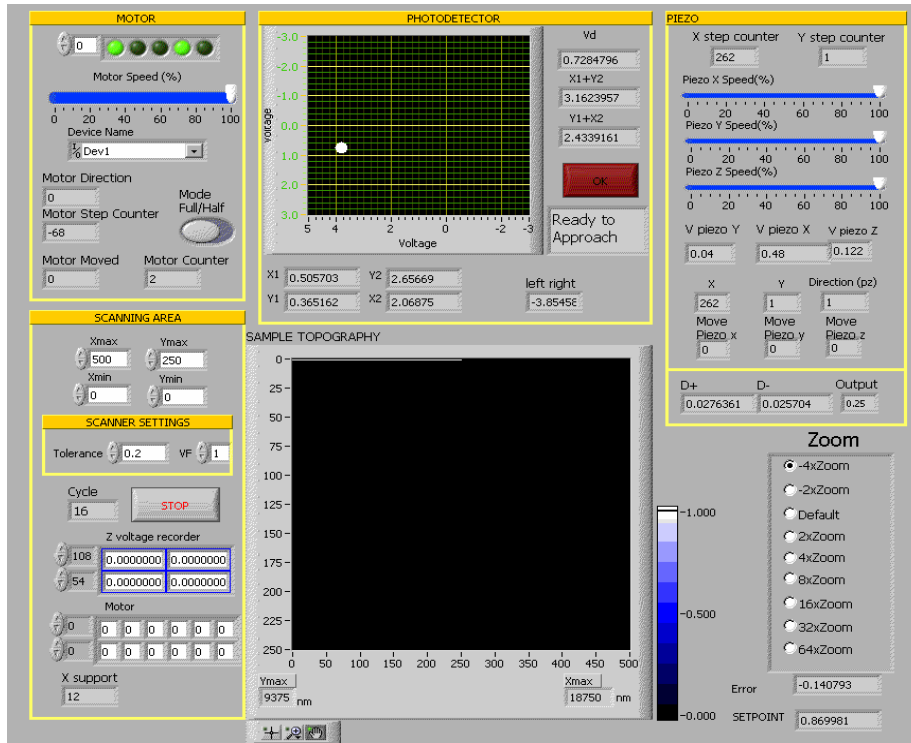


Fig. 3 Interfața softului LabView, adaptată instalației AFM

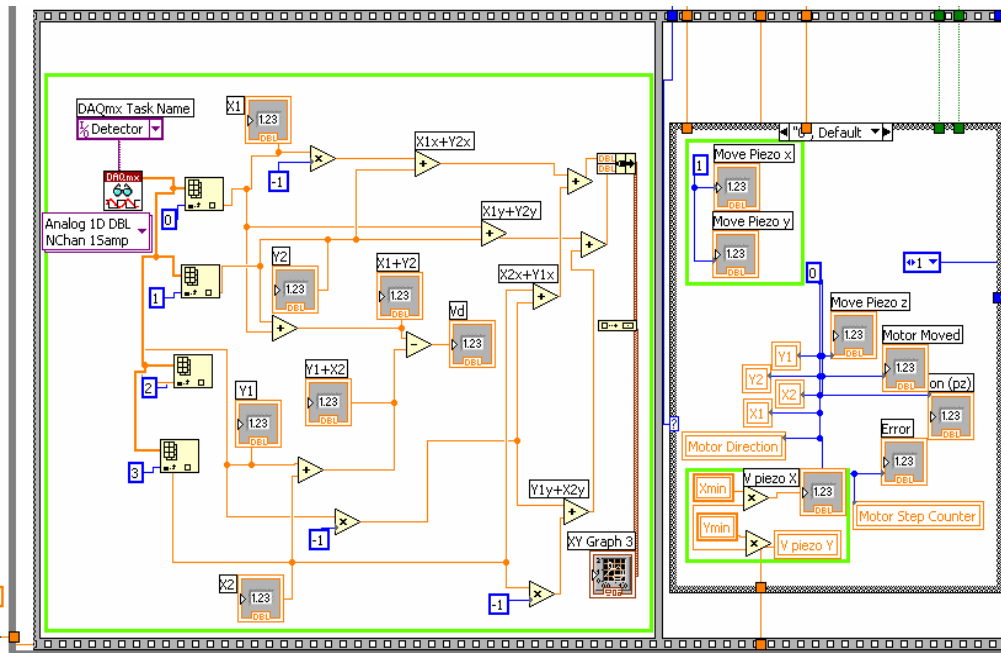


Fig. 4 Prima diagramă LabVIEW pentru aplicație

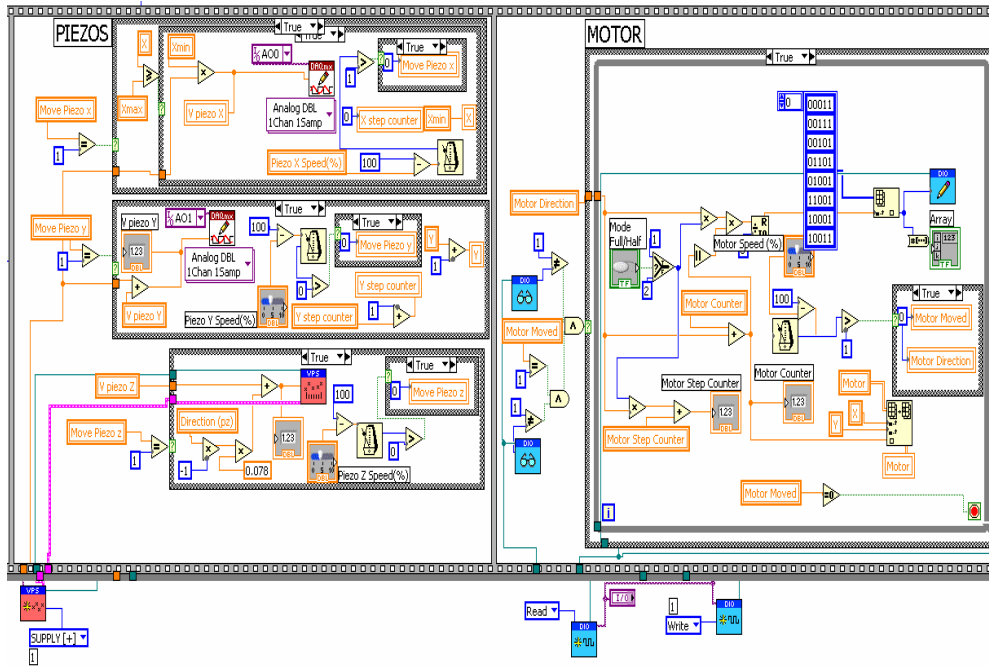


Fig. 5 A doua diagramă LabVIEW pentru aplicație

Caracterizarea diferitelor materiale metalice este necesară deoarece servește la calibrarea parametrilor tehnologiilor de difuzie, astfel încât straturile obținute să fie uniforme fără porozități și fără “pete”. În cele ce urmează pot fi observate caracterizarea unor suprafețe cu ajutorul programului LabView.

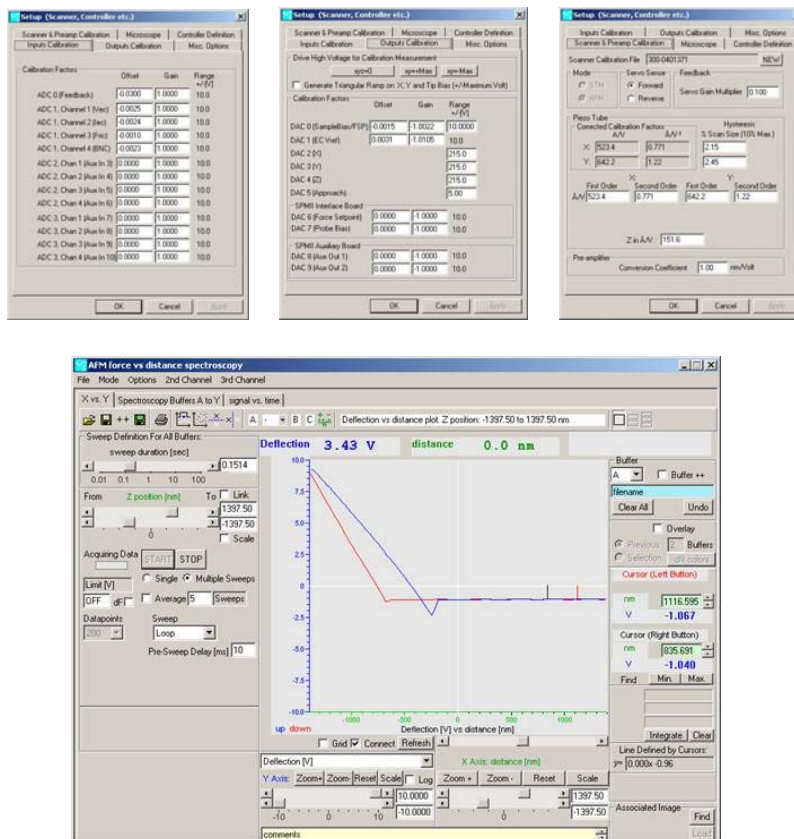


Fig. 6 Interfața calibrării parametrilor tehnologici de difuzie

Concluzii:

AFM-ul permite studiul atât al suprafețelor conductoare cât și a celor izolante. Cu detectoare adecvate pot fi obținute imagini tridimensionale și observarea rugozității ce depășește zecimea de milimetru. poate fi utilizat în două moduri: cu feedback/răspuns; fără controlul feedback-ului/răspunsului. Forța este calculată măsurând deflexia pârghiei și știind rigiditatea ei. AFM-ul poate măsura elasticitatea cu ajutorul vârfului care este montat la capătul unui arc sau al unei pârghi flexibile.

Bibliografie:

1. R. Wiesendanger, Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy, Cambridge University Press, Cambridge 1994;
2. D. Sarid, Scanning Force Microscopy, Oxford Series in Optical and Imaging Sciences, Oxford University Press, New York 1991;
3. W. Cross SPM – Scanning Probe Microscopy Website;
4. F. Giessibl, Advances in Atomic Force Microscopy, Reviews of Modern Physics 949-983 2003;
5. P. M. Hoffmann, A. Oral, R.A. Grimbale, H. O. Ozer, S. Jeffery, J.B. Pethica, Proc. Royal Soc. 2001;
6. Binnig, G., Quate, C.F., and Gerber, Ch. (1986) Atomic force microscope. Phys. Rev. Lett. 56(9), 930-933
7. Meyer, G. and Amer, N.M. (1988) Novel optical approach to atomic force microscopy. Appl. Phys. Lett. 53(12), 1045-1047
8. Binnig, G., Quate, C.F., and Gerber, Ch. (1986) Atomic force microscope. Phys. Rev. Lett. 56(9), 930-933
9. [www. agilent/find/afm](http://www.agilent/find/afm).

---

\*Bența Marius Dan – Drd. ing. Universitatea “Transilvania” din Brașov, [mariusbenta@yahoo.com](mailto:mariusbenta@yahoo.com)

\*\*Ene Viorel – Prof. Dr. ing. Universitatea “Transilvania” din Brașov

## POSSIBILITĂȚI DE REALIZARE A FILTRELOR ACTIVE CU MOD DE LUCRU ÎN CURENT DIN FILTRE DE ACELAȘI TIP CU MOD DE LUCRU ÎN TENSIUNE

Octavian-Ioan BOGDAN\*

### **Abstract**

*The paper shows the possibility of application of adjoint transformation method for the scheme achievement of current-mode Stephensen active network, using the voltage-mode scheme. The both circuits have the same transfer function. The circuit parameters is calculated, and the response curves is presented.*

### **I. Introducere**

Modul de lucru în tensiune a fost și a rămas deocamdată dominant în circuistica analogică de procesare a semnalelor. Acest lucru s-a datorat, în principal, faptului că acest mod de lucru a dus la soluții atractive și elegante pentru realizarea circuitelor integrate, care apoi să fie utilizate la construcția majorității tipurilor de circuite analogice. Unul dintre aceste circuite integrate, cu o răspândire extrem de largă, este amplificatorul operațional [1].

Odată cu apariția conveiorului de curent (1966) s-a deschis o nouă posibilitate de realizare a circuitelor electronice analogice. Lupta inegală pe care a trebuit să o ducă de-a lungul timpului cu amplificatorul operațional, principala componentă integrată cu mod de lucru în tensiune, folosită la construcția circuitelor electronice analogice, a făcut ca aceste circuite să răzbată greu, în pofida unor avantaje nete ca domeniu dinamic mai larg, bandă mai largă, consum mai mic de putere, timpi de comutare mai mici, flexibilitate și versatilitate sporite. Dintre toate tipurile de conveioare de curent s-a remarcat **conveiorul de curent de generația a doua negativ, CCII-** (Negativ Second Generation Current Conveyor), considerat ca fiind un bloc constructiv potrivit pentru realizarea unor circuite analogice cu mod de lucru în curent, cum ar fi: oscilatoarele RC sau filtrele active.

Un alt bloc constructiv cu mod de lucru în curent, dar apărut mult mai târziu, este **blocul nulor cu patru borne flotante, FTFN** (Four Terminal Floating Nullor), mai flexibil și mai versatil decât amplificatorul operațional sau decât conveiorul de curent, prin faptul că realizează o combinație între avantajele modului de lucru în tensiune și cele ale modului de lucru în curent. Din acest motiv, multe circuite se recomandă să fie realizate cu FTFN.



În lucrarea de față vom încerca să prezentăm modul de aplicare a unei metode de realizare a circuitelor cu mod de lucru în curent, din circuite similare dar cu mod de lucru în tensiune. Metoda este cunoscută sub numele de **metoda de transformare conjugată** (Adjoint Transformation Method) [2].

## II. Blocuri constructive cu mod de lucru în curent

### 2.1. Conveiorul de curent de generația a doua (CCII)

Conveiorul de curent de generația a II-a (CCII) este un triport (Fig. 1) caracterizat prin relația matricială (1) [3].

$$\begin{bmatrix} i_Y \\ v_X \\ i_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_Y \\ i_X \\ v_Z \end{bmatrix}. \quad (1)$$



Fig. 1: Schema bloc a CCII

Borna Y prezintă o impedanță de intrare infinită. Tensiunea de la borna X o urmărește pe cea aplicată pe Y, astfel încât X prezintă o impedanță de intrare zero. Curentul injectat în X este transmis la borna de ieșire de înaltă impedanță Z, cu polaritate pozitivă pentru CCII+ sau negativă pentru CCII-. Din ecuația matricială (1) se deduc relațiile:

$$v_X = v_Y; \quad (2)$$

$$i_Z = \pm i_X. \quad (3)$$

CCII-poate fi reprezentat ca nului ca în figura 2 [3].

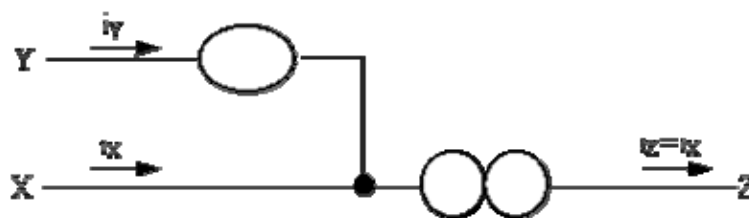


Fig. 2. Schema echivalentă (reprezentare ca nului) a CCII-

## 2.2. Nulorul cu patru borne flotante (FTFN)

Se știe că nulorul este un diport patologic, format dintr-un nulator la intrare și un norator la ieșire [4]. Un nulor poate modela un amplificator operațional dacă se impun anumite restricții și anume: borna X se consideră borna inversoare, borna Y se consideră borna neinversoare, iar borna W se leagă la masă [2], dar el poate modela și un FTFN, așa cum este prezentat în figura 1,a. În figura 1,b este reprezentat simbolul FTFN [5].

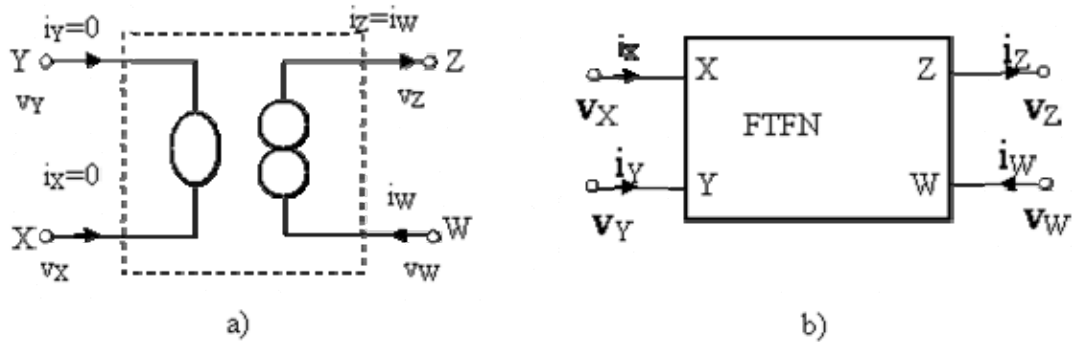


Fig 3. Reprezentarea FTFN:

a) ca nulor (perechea nulator-norator); b) simbolul.

F

$$\begin{bmatrix} i_X \\ i_Y \\ v_X \\ i_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_W \\ v_Y \\ v_W \\ v_Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

Din ecuația matricială se deduc următoarele relații [1]:

$$i_X = i_Y = 0; \quad (5)$$

$$v_X = v_Y; \quad (6)$$

$$i_Z = i_W. \quad (7)$$

Impedanțele de ieșire „văzute” în bornele W și Z sunt arbitrare.

## III. Metoda de transformare conjugată

În lucrarea [5] este prezentată o metodă de transformare a circuitelor cu mod de lucru în tensiune în circuite de același tip, dar cu mod de lucru în curent, cunoscută sub numele de **metoda de transformare conjugată**. Aplicarea acestei metode este ușoară, dacă elementele active din circuit sunt modelate prin nuloare. Această metodă se exprimă prin următoarele:

- În perechea nulator-norator care formează nulorul, cele două elemente se schimbă între ele.
- Elementele pasive din circuit rămân neschimbate.
- Sursa care furnizează tensiunea de intrare se înlocuiește cu un scurtcircuit, iar curentul prin acest scurtcircuit este curentul de ieșire în noul circuit.
- La poarta de ieșire se conectează o sursă de curent care va furniza curentul de intrare în noul circuit.
- Sursele de tensiune comandate se înlocuiesc prin surse de curent comandate.

## IV. Rețea activă Stephensen cu mod de lucru în curent

### 4.1. Rețea cu mod de lucru în tensiune

În figura 4 este prezentată o rețea RC activă de tip Stephensen, construită cu amplificatoare operaționale [4]:

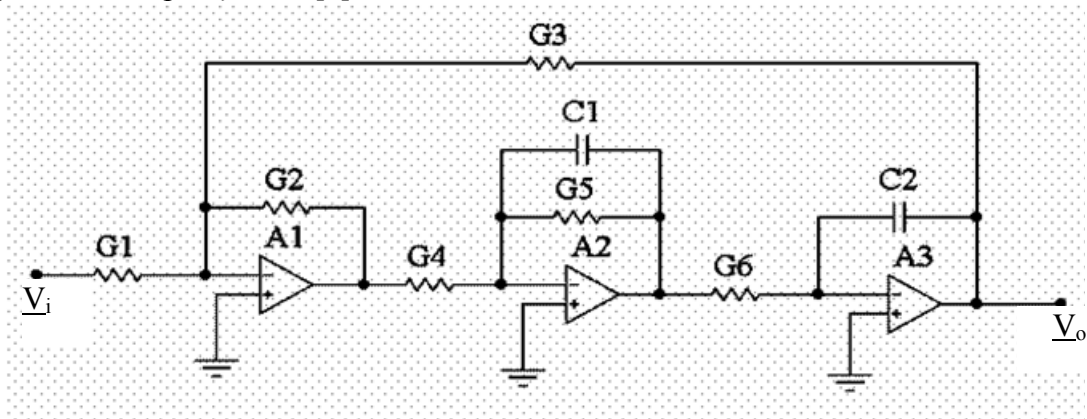


Fig. 4. Rețea RC activă tip Stephensen, realizată cu amplificatoare operaționale

### 4.2. Aplicarea metodei de transformare conjugată

Pentru a construi rețeaua Stephensen cu mod de lucru în curent, se înlocuiesc amplificatoarele operaționale cu nuloare, rezultând schema din figura 5, după care se aplică metoda de transformare conjugată, rezultând schema din figura 6.

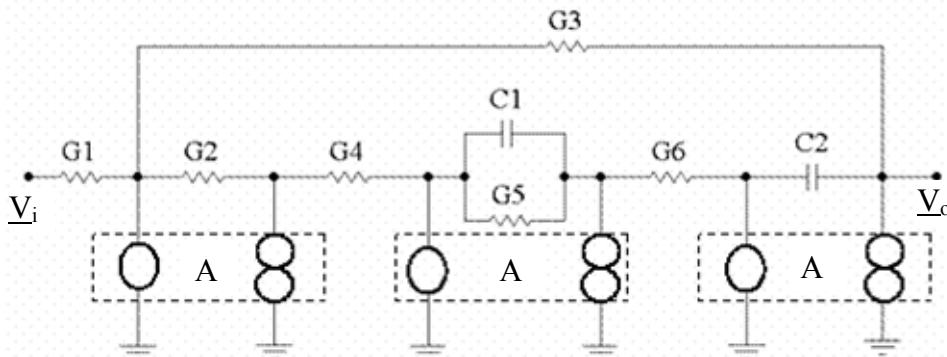


Fig. 5. Schema cu nuloare a rețelei din fig. 4

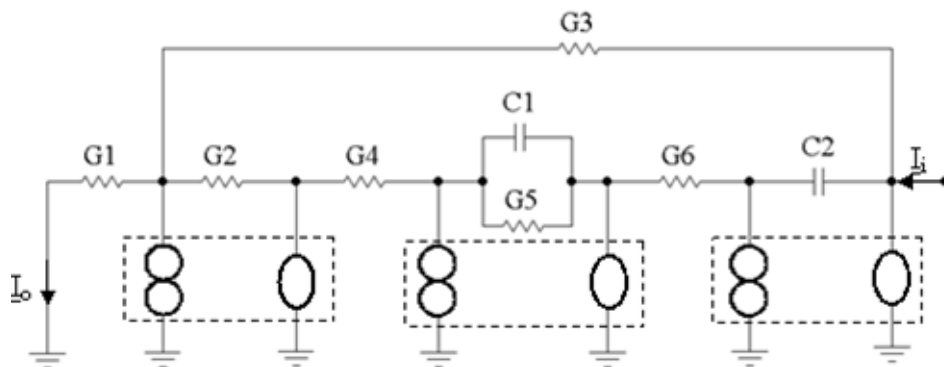


Fig. 6. Schema conjugată a schemei din figura 5

Plecând de la schema din figura 6, se pot pune în evidență trei nuloare, cu intrarea dinspre dreapta. Utilizând schema echivalentă din figura 2, se pot înlocui nuloarele cu blocuri CCII-, obținându-se pentru rețeaua activă schema din figura 7. Utilizând schema echivalentă din figura 3,a, se pot înlocui nuloarele cu blocuri FTFN, obținându-se pentru rețeaua activă schema din figura 8.

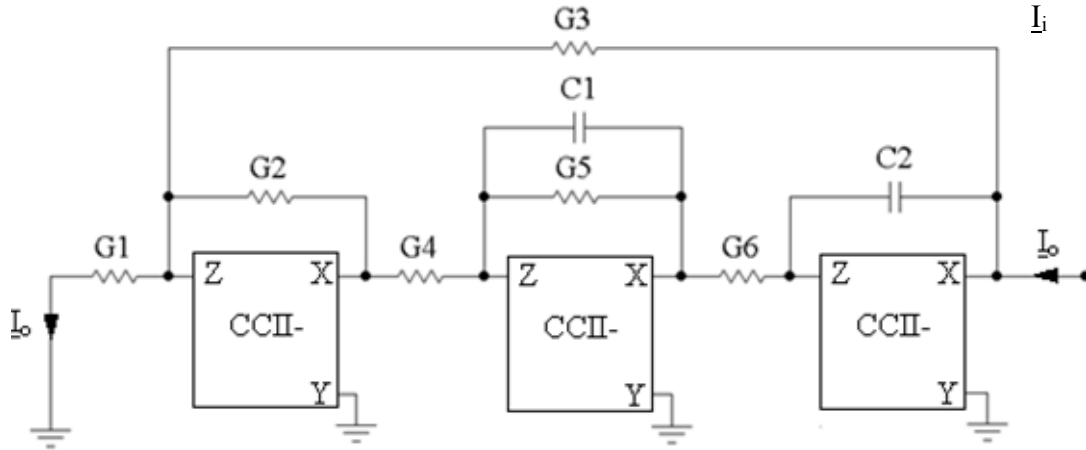


Fig. 7. Rețea RC activă tip Stephensen, realizată cu blocuri CCII-

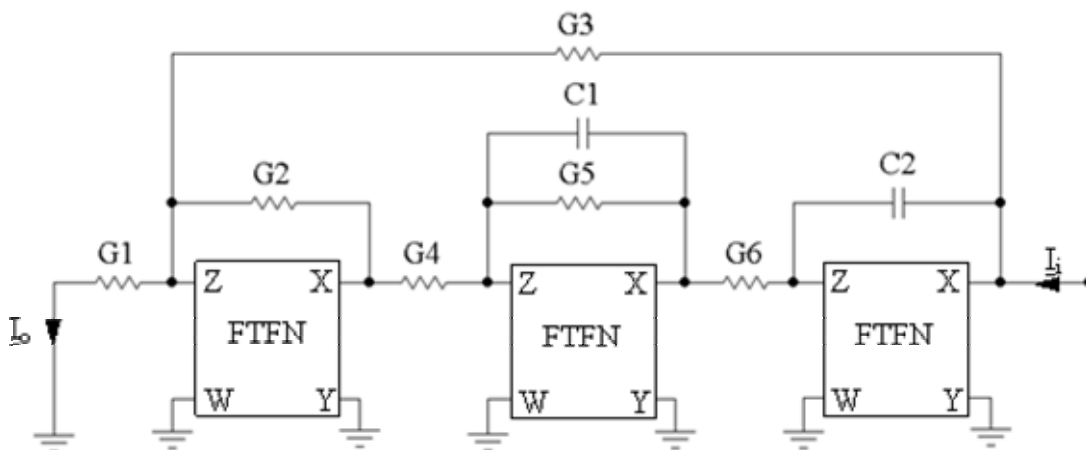


Fig. 8. Rețea RC activă tip Stephensen, realizată cu blocuri FTFN

## V. Analiza rețelei

### 5.1. Funcția de transfer și parametrii rețelei

Conform [1] rețelele cu mod de lucru în tensiune, respectiv cele cu mod de lucru în curent, obținute prin aplicarea metodei de transformare conjugată, sunt interreciproce. În consecință, ele au aceeași funcție de transfer, dată de expresia din relația (8) [4]:

$$\frac{V_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{-G_1 G_4 G_6}{s^2 G_2 C_1 C_2 + s G_2 G_5 C_2 + G_3 G_4 G_6}. \quad (8)$$

Din expresia funcției de transfer se deduce că filtrul este de tip trece-jos.

Frecvența unghiulară a filtrului are următoarea expresie [7]:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{G_3 G_4 G_6}{G_2 C_1 C_2}}. \quad (9)$$

Senzitivitățile filtrului sunt:

$$-S_{G_2}^{\omega_0} = S_{G_3}^{\omega_0} = S_{G_4}^{\omega_0} = S_{G_6}^{\omega_0} = -S_{C_1}^{\omega_0} = -S_{C_2}^{\omega_0} = \frac{1}{2}. \quad (10)$$

Din relația (10) se observă că sensibilitățile filtrului în raport cu componentele pasive care intră în alcătuirea sa sunt mici.

## 5.2. Rezultatele simulării

Pentru simulare considerăm următoarele valori pentru conductanțele și capacitățile din circuit:  $G_1=5$  mS,  $G_2=G_3=G_4=G_5=G_6=1$  mS,  $C_1=50$  nF,  $C_2=100$  nF. Simularea s-a făcut cu ajutorul programului Electronics Workbench, varianta Multisim 9. Pentru modelarea schemelor din figurile 7 și 8 s-au utilizat circuitele echivalente ale CCII- [8], respectiv FTFN [9], realizate cu amplificatorul operațional AD844. În figurile 10-15 sunt reprezentate caracteristicile amplitudine-frecvență și fază-frecvență pentru rețelele realizate cu amplificatoare operaționale, conveioare de curent și blocuri nului cu patru borne flotante.

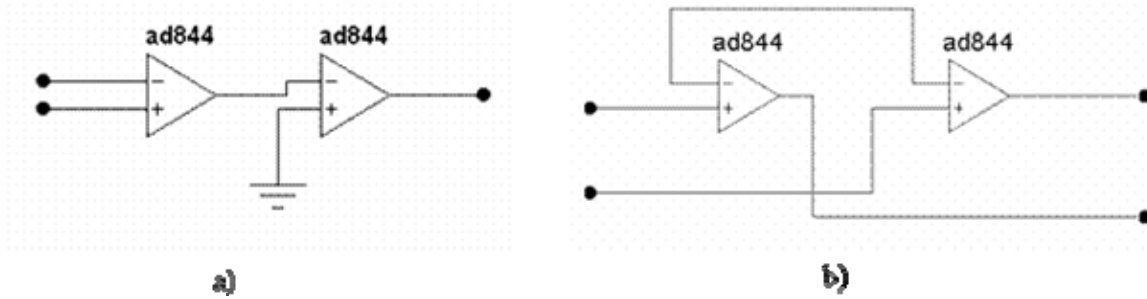


Fig. 9. Circuitele echivalente realizate cu AD844 ale: a) CCII-; b) FTFN

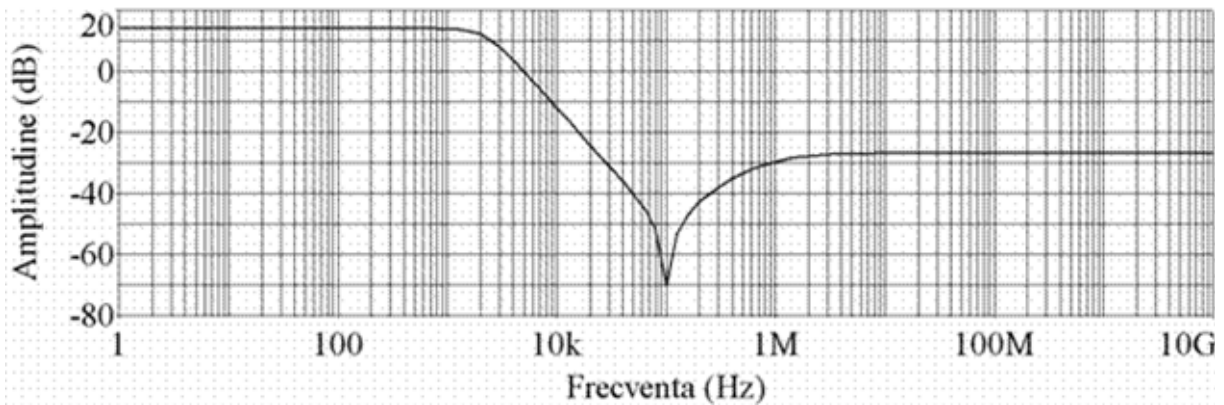


Fig. 10. Caracteristica amplitudine-frecvență a rețelei cu amplificatoare operaționale

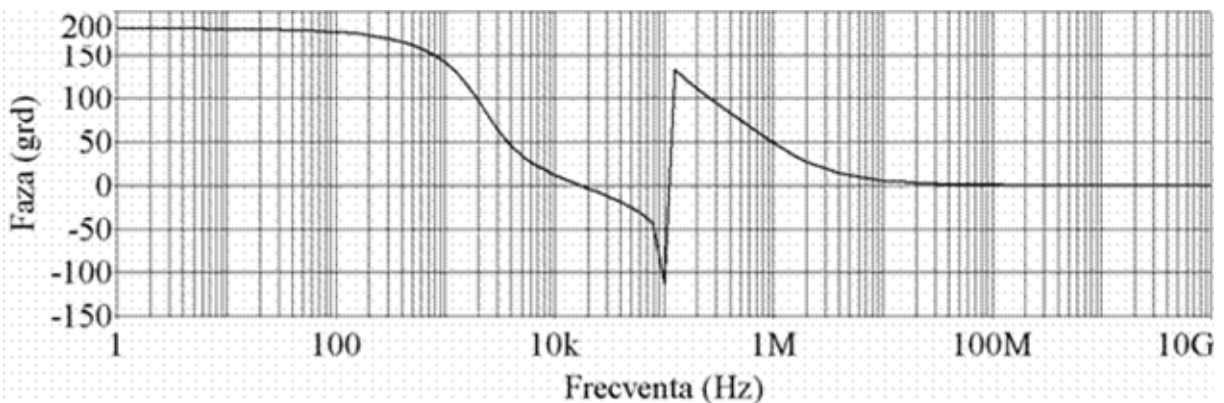


Fig. 11. Caracteristica fază-frecvență a rețelei cu amplificatoare operaționale



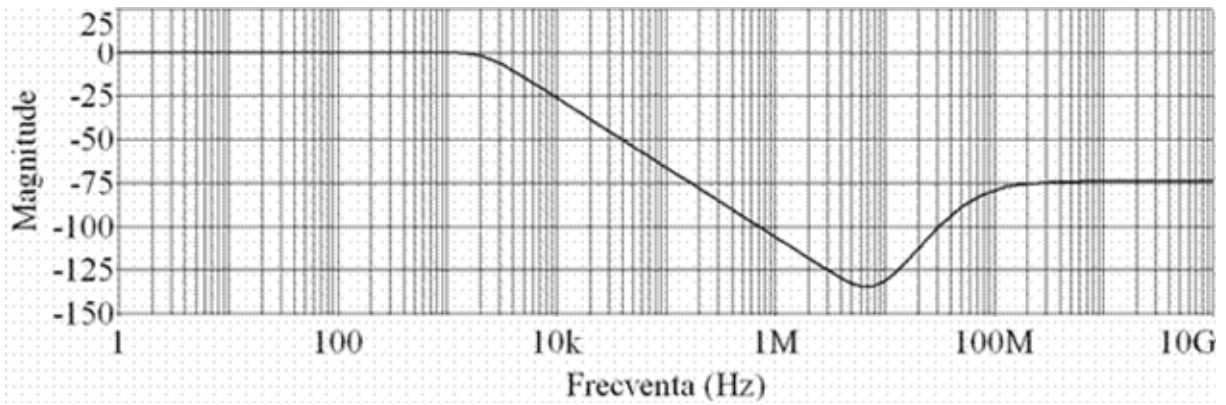


Fig. 12. Caracteristica amplitudine-frecvență a rețelei cu blocuri CCII-

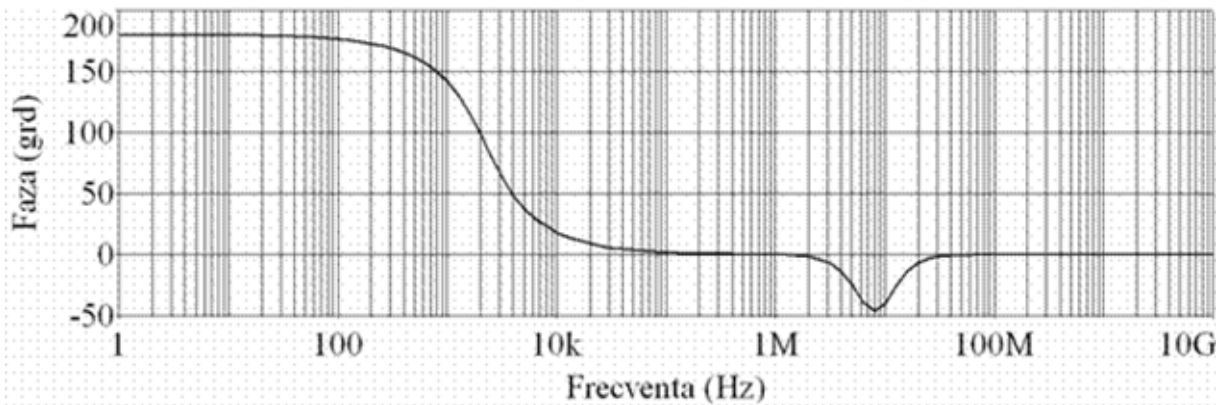


Fig. 13. Caracteristica fază-frecvență a rețelei cu blocuri CCII-

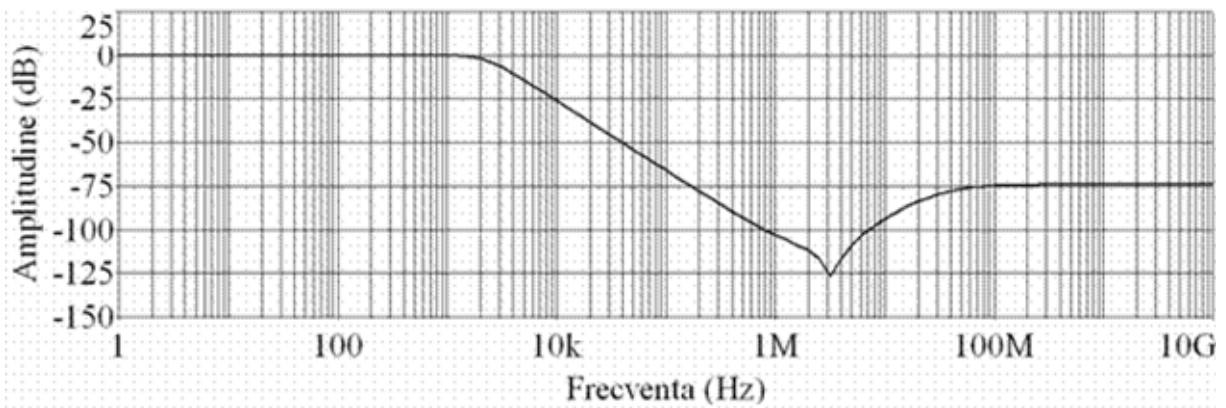


Fig. 14. Caracteristica amplitudine-frecvență a rețelei cu blocuri FTFN

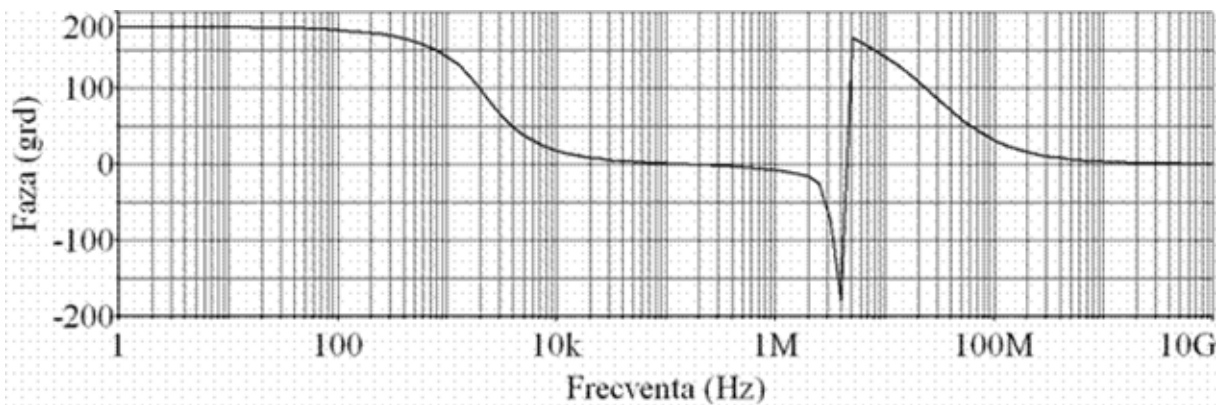


Fig. 15. Caracteristica fază-frecvență a rețelei cu blocuri FTFN

Frecvența unghiulară a filtrului are valoarea  $\omega_0=14,2 \cdot 10^3$  rad/s.

## VI. Concluzii

Articolul prezintă o modalitate de realizare a filtrelor active cu mod de lucru în curent cu ajutorul conveioarelor de curent (CCII-) și a blocurilor nului cu patru borne flotante (FTFN). Filtrul prezentat este de tip trece jos, iar pentru realizarea lui sa folosit metoda de transformare conjugată. Sensitivitățile filtrului au valori mici, ceea ce demonstrează o bună stabilitate funcțională a acestuia.. Analizând caracteristicile de frecvență, se observă că atât filtrele cu mod de lucru în curent cât și cel cu mod de lucru în tensiune sunt de același tip, având frecvențe de tăiere apropiate, dar cu anumite diferențe de formă și de valori ale unor parametri. În schimb, cele două filtre cu mod de lucru în curent au caracteristici asemănătoare și valori apropiate ale parametrilor..

## Bibliografie

- [1] Toumazou C., Lidgey F.J., Haigh D.G., *Analogue IC design: the current mode approach*, Peter Peregrinus Ltd., p. 116, 1990
- [2] Günay E., Uzunhisarcikli E., Kiliç. Alçi M, *A Realization of SC-CNN-Based Using FTFN*, Turk J Elec Engin., vol 13, No. 1, p.39-50, 2005
- [3] Sedra A.S., Roberts G.W., Gohn F., *The current conveyor: history, progress and new results*, IEE Proceedings, vol. 137, Pt. G, No. 2, p. 80, 1990
- [4] Mateescu A., *Analiza și sinteza circuitelor electrice*”, Editura Didactică și Pedagogică, p. 635, Bucuresti, 1975
- [5] Uzunhisarcikli E., *The Use of Adjoint Transformation Method to Transformation Current Mode from Voltage Mode in Universal Active Element Based Filters*, G.U. Jurnal of Science, Vol. 17, No. 3, p. 179-187, 2004
- [6] Shah N. A., Malik M.A., *Implementation of High Input Impedance Multifunction Filter Using FTFNs*, Jurnal of Active and Pasive Electronic Devices, Vol.1, p. 53-59, 2005
- [7] Bogdan O., *Considerations on accomplishment of active filters with current mode circuits*, Proceedings of the National Conferences with International Participation ECO-EIC'05, p.35-38, 23-24 septembrie 2005
- [8] Prakobnoppakao S., Chipipop B., Surakamponorn W., Watanabe K., *Design of Current-Mode CCII-Based Filter from Immittance Function Simulator using Commercial Available CCII (AD844)*, ITC-CSCC2002, p. 743-746, 16-19 iulie, Phuket, Thailanda
- [9] Liu S.I., Yang C.Y., *High-input impedance filters using FTFNs*, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRONICS, Vol. 84, No. 6, p. 595-598, 1998

---

\* Bogdan Octavian-Ioan, profesor univ. dr. ing., Academia Forțelor Terestre, Revoluției nr. 3-5, tel. 0269 432990, e-mail: obogdan@armyacademy.ro



## EVALUAREA STATISTICĂ A PROPRIETĂȚII DE DIFUZIE A ALGORITMILOR DE TIP BLOC

Gigi-Daniel BUDARIU \*  
Constantin GROZEA \*\*  
Mihai MARIN \*\*\*

### Rezumat:

*Algoritmii de tip bloc au o utilizare largă în aplicațiile criptografice. Evaluarea lor din punct de vedere criptografic constituie o problemă de complexitate ridicată, care nu poate fi rezolvată eficient prin metode exacte de evaluare. În această lucrare prezentăm o metodă statistică de evaluare a securității algoritmilor de tip bloc. În cadrul acestor teste algoritmul este tratat ca o cutie neagră, structura sa internă nefiind luată în considerare. Testele au fost aplicate în cazul câtorva algoritmi publici (AES, Camellia, etc.), iar rezultatele sunt prezentate într-un tabel.*

### I. Introducere

Algoritmii de tip bloc reprezintă funcții care transformă (criptează) blocuri de text clar de dimensiune  $n$  biți, în blocuri de text criptat de dimensiune  $n$  biți, folosind o cheie secretă de lungime  $k$  biți - furnizată de utilizator. Aceste funcții trebuie să fie inversabile, pentru a putea permite efectuarea transformării inverse (decriptarea), folosind aceeași cheie secretă. Pentru fiecare cheie  $K$ , deoarece fiecare text clar este transformat într-un text de aceeași lungime, funcția de criptare  $E_K$  poate fi considerată o permutare de vectori de dimensiune  $n$ .

Procesul de testare a securității algoritmilor de tip bloc este foarte complex și costisitor, iar dificultatea testării crește odată cu dimensiunea blocului și a lungimii cheii.

Întrucât chiar și pentru valoarea de 64 biți nu se pot efectua teste exacte (iar astăzi se utilizează curent valorile de 128 biți, respectiv 256 biți), se apelează la metode statistice. Prin urmare rezultatul testării este unul relativ, trecerea cu succes a testelor reprezentând doar o condiție necesară, dar nu și suficientă, pentru ca algoritmul să fie considerat sigur.

Procesul de testare se desfășoară în mai multe etape. Mai întâi se face o analiză de ansamblu de tip blackbox, fără a lua în considerare structura internă a algoritmilor de tip bloc, după care - dacă este cazul - se trece la efectuarea analizei particulare complexe de tip whitebox, care constă în verificarea modelului matematic al algoritmului și procesul de criptanaliză propriu-zis. În cadrul acestei lucrări ne vom limita doar la primul tip de analiză și anume cel de tip blackbox. Această analiză verifică doar îndeplinirea proprietăților lor fundamentale ale algoritmilor de tip bloc: aleatorismul, difuzia și confuzia. Întrucât problematica este vastă, în cadrul lucrării vom aborda doar una dintre proprietăți, și anume

difuzia. În secțiunea a treia propunem o metodă generală de verificare a proprietății difuziei printr-o serie de teste statistice. Testele au fost implementate în software, sub forma unor programe scrise în limbajul C, folosind mediul de programare Visual .NET. Pentru verificare, testele au fost apoi aplicate în cazul unor algoritmi cunoscuți (AES și Camellia), iar rezultatele experimentale au fost reprezentate sub forma unui tabel la punctul 4.

## II. Preliminarii

Unul dintre principiile fundamentale ale securității algoritmilor de tip bloc, difuzia se referă la faptul că fiecare bit al textului criptat trebuie să depindă de fiecare bit al textului clar și al cheii. Orice schimbare minoră a textului clar sau a cheii ar trebui să determine o schimbare majoră și în același timp aleatoare a textului criptat. În caz contrar, criptanalizii pot face observații sau chiar deduce relații între aceste elemente care să conducă la reducerea semnificativă a spațiului de căutare a cheilor. Pentru evaluarea îndeplinirii acestui criteriu fundamental au fost definiți mai mulți parametri de măsură corespunzători. Astfel, Kam și Davida au introdus proprietatea de completitudine ca măsură a difuziei, iar Feistel pe cea de avalanșă. Ulterior, conceptele de completitudine și avalanșă au fost combinate de Webster și Tavares pentru a fi definiți criteriul de avalanșă strictă (SAC). Tot ei au mai introdus și criteriul independenței biților (BIC), iar Aras criteriul distribuției ponderii avalanșă (AWD).

O funcție criptografică este considerată completă dacă fiecare bit de ieșire (a textului criptat) depinde de fiecare bit de intrare (a textului clar). Criteriul avalanșă este considerat îndeplinit dacă la schimbarea unui singur bit de intrare rezultă o schimbare în medie a jumătate din biții de ieșire. SAC înseamnă că schimbarea unui singur bit de intrare implică schimbarea fiecărui bit de ieșire cu o probabilitate de 50% pentru toate valorile posibile ale textului clar și ale cheii. Satisfacerea criteriului SAC trebuie evaluată atât pentru criptare, cât și pentru decriptare. O funcție satisface BIC dacă la inversarea unui bit de intrare rezultă schimbarea independentă a oricăror doi biți de ieșire. Criteriul AWD verifică dacă pentru oricare două texte clare, care diferă doar printr-un singur bit, ponderea Hamming a vectorului avalanșă corespunzător este suficient de apropiată de distribuția binomială în jurul valorii  $n/2$ .

Există mai multe implementări posibile de verificare a acestor criterii. În cadrul concursului AES [1], accentul s-a pus în principal pe faptul că algoritmul de tip bloc trebuie să fie un bun generator de numere pseudoaleatoare și s-au efectuat doar teste statistice de aleatorism. Totuși, deși nu s-a stipulat explicit, verificarea proprietății de difuzie s-a realizat cumva mascat prin generarea de seturi speciale de date supuse testelor (avalanșă text clar, avalanșă cheie, corelație text clar/cheie etc.). În cazul concursului NESSIE [2], s-a făcut o delimitare clară, iar difuzia s-a verificat în cadrul testului separat de dependență. În [3] au fost propuse teste de verificare a difuziei pentru una din componentele algoritmilor de tip bloc (e.g. cutiile S). Încurajat de faptul că unul din aceste teste (și anume SAC) a fost propus în [4] și ca test general de verificare a difuziei, în această lucrare am implementat statistic testele avalanșă, SAC, BIC și AWD din [3] pentru verificarea generală a difuziei. Aceste teste sunt prezentate în continuare.

## III. Testele statistice

### 3.1 Criteriul avalanșă

Pentru evaluarea efectului avalanșă în cazul textului clar, se generează aleator o singură cheie și un număr  $m$  de blocuri de text clar. Pentru fiecare bloc de text clar se calculează  $n$  ( $n$ =dimensiunea blocului clar) vectori avalanșă, câte unul pentru fiecare bit.

Vectorii avalanșă reprezintă rezultatul operației XOR între textul criptat rezultat folosind cheia fixă și textul clar aleator, respectiv textul criptat rezultat folosind cheia fixă și textul clar perturbat cu bitul de intrare de pe poziția „i” inversat,  $1 \leq i \leq n$ . Pentru fiecare poziție în parte, se însumează în continuare ponderea vectorilor avalanșă corespunzători și în final se calculează media. În modul ideal (e.g. calculat pentru întreg spațiul valorilor posibile ale blocului de text clar - în cazul acesta  $2^n$ ), pentru o funcție care respectă criteriul avalanșă media obținută ar avea valoarea 0.5. Întrucât se face o evaluare statistică, ne așteptăm ca rezultatele obținute să prezinte o abatere de la valoarea ideală. Prin urmare, se calculează maximumul acestei erori relative și, dacă are o valoare acceptabilă (sub 1%), se consideră că testul a fost trecut cu succes. Prin similitudine, inversând rolurile cheii și al textului clar, se obține și testul verificării efectului avalanșă al cheii.

### 3.2 Criteriul SAC

Cazul SAC este similar celui avalanșă, cu deosebirea că se investighează efectul inversării bitului „i” de intrare asupra bitului „j” de ieșire. Este vorba deci de o analiză mai profundă a efectului avalanșă și rezultă astfel, în loc de un vector, o matrice bidimensională  $n \times n$  de coeficienți, care se calculează tot din vectorii avalanșă.

În mod ideal, toți coeficienții matricii ar trebui să fie egali cu 0.5, însă ca și în cazul efectului avalanșă, ne așteptăm ca acești coeficienți să aibă nu valoarea exactă de 0.5, ci valori apropiate. Se calculează prin urmare eroarea maximă relativă și în funcție de valoarea obținută se ia decizia corespunzătoare. Valoarea prag aleasă pentru acest test este de 5%.

Acest test îl înglobează și pe cel mai simplu de completitudine. În cazul acestui test s-ar fi verificat doar dacă există vreun element nul în cadrul matricii bidimensionale. Pentru acest motiv, nu s-a mai făcut pentru completitudine un test separat.

### 3.3 Criteriul BIC

Pentru măsurarea conceptului de corelație a biților, se calculează coeficienții de corelație dintre vectorii avalanșă generați de fiecare poziție în parte. Este o analiză și mai profundă, care implică analiza unei matrici tridimensionale  $n \times n \times n$  de coeficienți. Se calculează valoarea maximă a elementelor acestei matrici, denumit coeficientul de corelație BIC, cu valori între 0 și 1. În mod ideal, are valoarea 0.

Ca și cazul celorlalte teste, se calculează eroarea relativă și dacă este în limita acceptată (5%), are loc validarea testului.

### 3.4 Criteriul AWD

În cadrul acestui test, se calculează mai întâi ponderile vectorilor avalanșă și apoi se calculează vectorul distribuției acestor ponderi. Acest vector ar trebui să aibă o distribuție binomială. Acest lucru se poate verifica fie grafic (prin reprezentarea și vizualizarea histogramei corespunzătoare), fie computațional, calculând parametrii statistici (media și dispersia) ai abaterii față de distribuția binomială. A fost aleasă ultima variantă. Valorile statistice obținute ale mediei și dispersiei ar trebui să fie apropiate de valoarea 0 (cazul ideal).

## IV. Rezultate experimentale

Pentru verificare, au fost aleși algoritmi deja testați și cu proprietăți criptografice recunoscute și oarecum apropiate: câștigătorii concursurilor AES și NESSIE, Rijndael și respectiv Camellia, cu cheie de 256 de biți. Testele au fost aplicate atât pentru textul clar, cât și pentru cheie. În cadrul testelor au fost generate seturi de câte 100.000 de valori aleatoare.

Rezultatele sunt prezentate în tabelul următor:

Test	AES		CAMELLIA	
	Text clar	Cheie	Text clar	Cheie
<b>Avalanșă</b>	0.081422 %	0.073422 %	0.097328 %	0.108266 %
<b>SAC</b>	1.384000 %	1.188000 %	1.272000 %	1.310000 %
<b>BIC</b>	1.493030 %	1.841811 %	1.542629 %	1.557944 %
<b>AWD</b>	<b>media</b>	0.006517	0.006601	0.006620
	<b>dispersia</b>	0.000001	0.000001	0.000001

Tabelul I. Erorile maxime relative (în cazul avalanșă, SAC, BIC) și media, respectiv dispersia (în cazul AWD)

Din tabelul I se poate constata că cei doi algoritmi înregistrează valori bune și în același timp apropiate din punct de vedere al proprietății difuziei.

## V. Concluzii

În cadrul acestei lucrări ne-am propus investigarea statistică a proprietății de difuzie a algoritmilor de tip bloc. Au fost implementate patru tipuri de teste: avalanșă, SAC, BIC și AWD. Acestea au fost aplicate pentru algoritmi AES și Camellia, iar rezultatele obținute au fost tabelate. În viitor ne propunem să studiem celelalte proprietăți ale algoritmilor de tip bloc (e.g. confuzia, aleatorismul, etc).

## Bibliografie

- [1] Soto J., L. Bassham, "Randomness Testing of the Advanced Encryption Standard Finalist Candidates", NIST, 2000
- [2] NESSIE Project - "New European Schemes for Signatures, Integrity and Encryption", <http://cryptonessie.org>, 2000
- [3] S. Kavut and M. D. Yücel, "On Some Cryptographic Properties of Rijndael", Springer-Verlag, 2001
- [4] D. Toz, A. Doğanaksoy, M. S. Turan, "Statistical Analysis of Block Ciphers", 2005

\* Gigi-Daniel BUDARIU, Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehn. Mil., ACTTM, [gbudariu@acttm.ro](mailto:gbudariu@acttm.ro)

\*\* Constantin GROZEA, Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehn. Mil., ACTTM, [cgrozea@acttm.ro](mailto:cgrozea@acttm.ro)

\*\*\* Mihai MARIN, Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehn. Mil., ACTTM, [marin\\_mihai2001@yahoo.com](mailto:marin_mihai2001@yahoo.com)

## AVANTAJELE INTRODUCERII COMENZII NUMERICE LA COMANDA ANTENELOR ORIENTABILE

Aurelian CRĂCIUNESCU\*

Valentin NĂVRĂPESCU\*\*

Cornel Ovidiu BADEA \*\*\*

*Lucrarea tratează problematica legată de modernizarea unui sistem analogic de comandă a antenelor orientabil, prin implementarea comenzii numerice a mișcării antenelor, prezentând și o abordare etapizată a implementării acesteia și evidențiind aspecte ce țin de construcția, parametrii tehnici de funcționare și posibilitățile de modernizare.*

*Pe baza analizei comparative între cele două sisteme de comandă, în baza criteriilor de evaluare, sunt reliefate principalele avantaje ce decurg din implementarea comenzii numerice a mișcării antenelor orientabile, insistându-se pe cele ce țin de îmbunătățirea performanțelor, creșterea siguranței în exploatare a sistemului, simplificarea și reducerea operațiunilor de mentenanță și ergonomia în exploatare.*

### I. O perspectivă asupra controlului digital. Soluții constructive moderne

Controlul sistemelor fizice cu ajutorul computerelor sau al microcontrolerelor a devenit din ce în ce mai utilizat în dezvoltarea de noi soluții constructive în cele mai multe domenii tehnice, inclusiv în domeniul servomecanismelor electrice de acționare a antenelor sistemelor radarelor de tragere. Printre avantajele abordării controlului digital se regăsește flexibilitatea ridicată a programelor de control și capacitatea de a lua decizii a sistemelor digitale, care pot fi combinate cu funcțiile controlului dinamic pentru a corespunde cerințelor unei game variate de sisteme. În plus, un design hardware care poate fi utilizat cu variante diferite de soft într-o categorie largă de aplicații simplifică și reduce timpul necesar proiectării.

Arhitectura sistemelor de acționare și interconectarea acestora derivă din schema generală a unui sistem de acționare controlat de un calculator, prezentată în figura 1. Schema prezentată în figura de mai jos ne ajută să definim notațiile de bază și să introducem câteva facilități care deosebesc sistemele digitale de cele analogice. Instalația care trebuie controlată poate fi reprezentată de orice instalație fizică al cărei răspuns satisfăcător necesită procesul de control.

Prin „răspuns satisfăcător” se înțelege aceea că mărimea de ieșire a instalației,  $y(t)$ , trebuie să fie forțată să urmeze mărimea de intrare de referință,  $r(t)$ , în condițiile prezenței intrărilor perturbatoare în instalație,  $w(t)$ , și a erorilor senzorilor din bucla de reacție,  $v(t)$ . Este

esențial ca instalația să urmeze intrarea chiar și în cazul în care dinamica instalației trebuie modificată puțin pe timpul lucrului. Un sistem a cărei mărime de ieșire,  $y(t)$ , urmărește îndeaproape mărimea de intrare,  $r(t)$ , incluzând cazul în care  $r = 0$ , este definit ca fiind un sistem de reglaj. Un sistem de reglaj performant este caracterizat de :

- Rejecția bună - un bun reglaj în prezența semnalelor perturbatoare;
- Sensibilitate scăzută la parametrii sistemului - un bun reglaj bun în prezența schimbărilor în parametrii instalației;
- Robustețe – o bună rejecție a perturbațiilor și o sensibilitate scăzută.

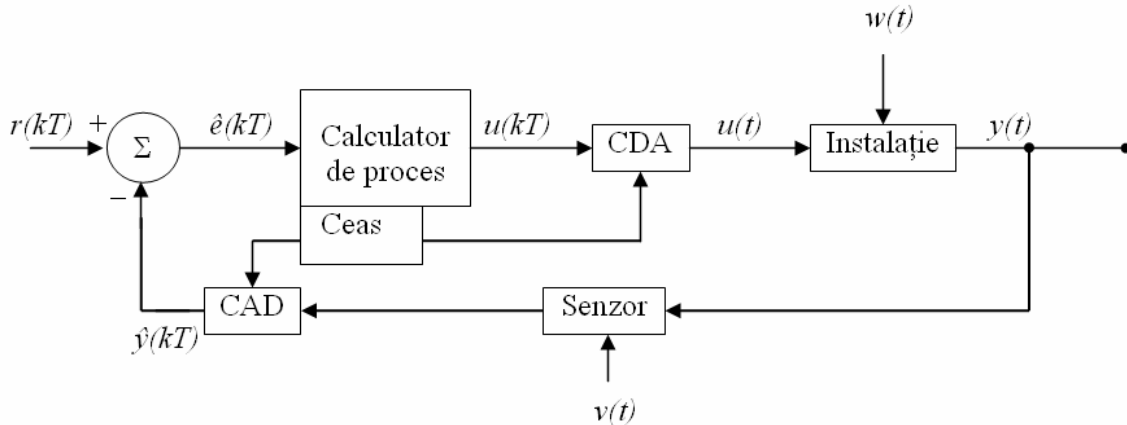


Figura 1: Schema bloc simplificată a unui sistem de control digital.

În figura 1 s-au utilizat următoarele notații:

- $r$  = referința sau comanda de intrare;
- $u$  = semnalul de comandă;
- $y$  = semnalul de ieșire;
- $\hat{y}$  = ieșirea senzorului de reacție, instantanee sau estimarea valorii lui  $y$ ;
- $\hat{e} = r - \hat{y}$  = eroarea indicată;
- $e = r - y$  = eroarea sistemului;
- $w$  = perturbația instalației;
- $v$  = perturbația sau zgomotul senzorului;
- CAD = convertorul analog-digital;
- CDA = convertorul digital-analog;

Modernizarea sistemelor de poziționare a celor două antene orientabile ale unui radar de tragere implică abordarea tuturor aspectelor tehnice și economice ce țin de implementarea de noi soluții constructive, bazate pe arhitectura modernă a sistemelor de acționare conduse prin intermediul calculatoarelor de proces.

Abordarea procesului de modernizare începe cu identificarea elementelor componente prezentate mai sus și a mărimilor ce caracterizează sistemul digital prezentat, ținându-se totodată cont de principala particularitate a acestui tip de sisteme, determinată de gruparea elementelor componente ale sistemului în două locații: în pupitrul de comandă (consola de lucru a operatorului) respectiv în instalația de antene, ceea ce impune dezvoltarea unei legături de date viabile și sigure între cele două locații. Dezvoltarea soluției moderne are ca punct de plecare schema actuală simplificată a sistemului, prezentată în figura 2.

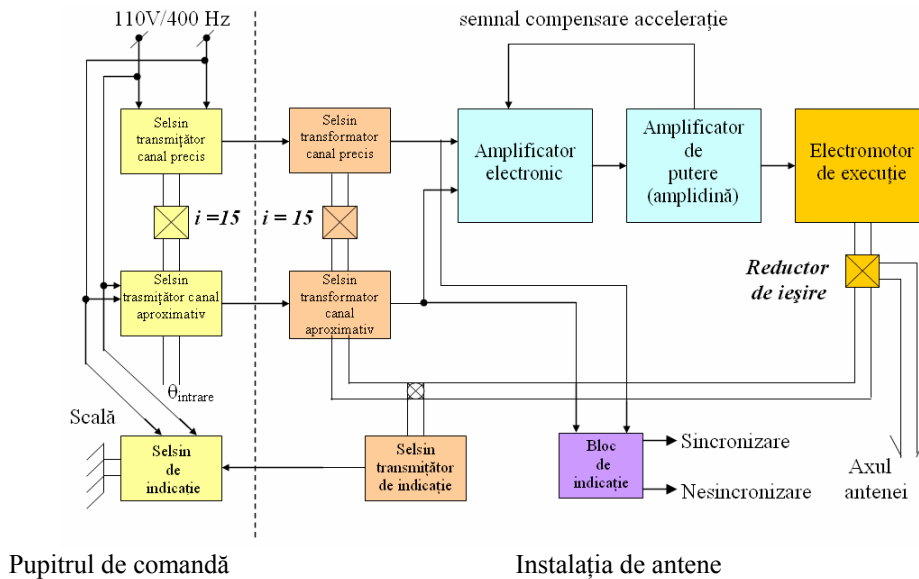


Figura 2: Schema bloc simplificată a sistemului de acționare a antenei pentru un plan.

Analizând schema bloc simplificată prezentată mai sus, deducem că sistemul de comandă a mișcării antenelor orientabile ce va fi modernizat este dezvoltat în jurul unui grup generator-motor format din amplidină (motor de antrenare + generator) și electromotorul de execuție cuplat, prin intermediul unui reductor, la axul antenei. Comanda grupului generator-motor este asigurată de un amplificator electronic ce are rol de sumator al semnalelor de eroare corespunzătoare celor două canale, demodulator al semnalului însumat și amplificator al semnalului însumat, având integrată o buclă de reacție de viteză.

Formarea semnalelor de eroare este realizată prin intermediul legăturii electrice între selsinele celor două canale, semnalul însumat fiind obținut sub forma unei tensiuni cu frecvența de 400 Hz, proporțională cu sinusul diferenței dintre poziția comandată și poziția la un moment dat a antenei.

Principalele elemente sunt dispuse în două locații: pupitrul de comandă al operatorului și instalația de antene.

## II. Modernizarea elementelor dispuse în pupitrul de comandă

Arhitectura unui sistem modern de comandă numerică a antenelor orientabile are ca element de bază, în jurul căruia se vor dezvolta soluțiile constructive moderne, un calculator de proces care este creierul întregului sistem. La nivelul acestuia se realizează întreg ansamblul de operațiuni necesar implementării procedurilor de comandă a antenelor, achiziția de date despre poziția aeronavei, formarea și transmiterea comenzilor și rapoartelor, precum și o mare parte din operațiunile de inițializare și mentenanță a sistemelor.

Calculatorul este elementul ce se conectează, prin intermediul porturilor de care dispune, la celelalte elemente componente ale radarului, în scopul achiziției datelor necesare poziționării antenelor și al transmiterii informațiilor referitoare la poziția antenelor în sistemul de coordonate utilizat (*sistemul de coordonate sferice* –  $\beta, \varepsilon, D$ ). Calculatorul de proces funcționează interconectat cu sistemele de acționare electrică a antenelor radarului, prin intermediul unei interfețe de comunicație cu elementele sistemului dispuse în instalația de antene.

Pe baza informației despre unghiurile pe care trebuie poziționate antenele, culese de la celelalte elemente componente ale radarului ( $\beta_i, \varepsilon_i$ ), și a informațiilor despre poziția unghiulară actuală a antenelor ( $\beta_r, \varepsilon_r$ ), calculatorul determină valoarea semnalelor de comandă a mișcării antenelor, ( $\beta_{cd\bar{a}}, \varepsilon_{cd\bar{a}}$ ), necesare poziționării acestora la unghiurile impuse.



Calculate cu ajutorul programului dedicat, semnalele de comandă se transmit, prin interfața de comunicație și legătura de date, către convertorul digital-analog dispus în instalația de antene. În consecință, calculatorul de proces va prelua, în totalitate, funcția de formare a semnalelor de comandă, eliminând selsinele transmițătoare și transformatoare, selsinele de indicație, scalele și elementele de interfațare cu alte sisteme din compunerea radarului..

### III. Modernizarea instalației de execuție

Instalația de execuție este reprezentată de ansamblul compus din elementele enumerate mai jos, ce se păstrează (elementele figurate cu ocră în figura 2) sau se înlocuiesc (elementele figurate cu bleu în figura 2):

- elementele de conversie mecanică a mișcării – reductoarele demultiplicatoare de turație. Asupra elementelor de conversie mecanică a mișcării *nu se va interveni* în niciun fel, acestea fiind montate în spațiile special amenajate din instalație de antene, o eventuală modificare a parametrilor cinetici ai acestora fiind foarte costisitoare.
- elementele de conversie electromecanică a mișcării – electromotoarele de execuție. Ca și în cazul elementelor de conversie mecanică a mișcării, asupra electromotoarelor de execuție *nu se va interveni* în niciun fel din aceleași considerente economice dar și din considerente ce țin de faptul că randamentul global al sistemelor de mișcare poate fi îmbunătățit considerabil, nu prin înlocuirea motoarelor ci prin eficientizarea elementelor de conversie a energiei ce le alimentează.
- elementele de conversie electrică a energiei – convertoarele statice de putere împreună cu dispozitivele de comandă a elementelor comandabile ale acestora. Convertoarele statice de putere sunt acele elemente din lanțul de execuție care determină, în cea mai mare măsură, randamentul global al sistemului de acționare electrică. Din acest motiv amplidina și amplificatorul electronic *vor fi înlocuite* cu convertoare statice de putere performante cu randamente mari de conversie a energiei, comandate după logica de comandă a dispozitivelor semiconductoare.

Schema bloc a instalației de execuție ce va fi dezvoltată este prezentată în figura 3.

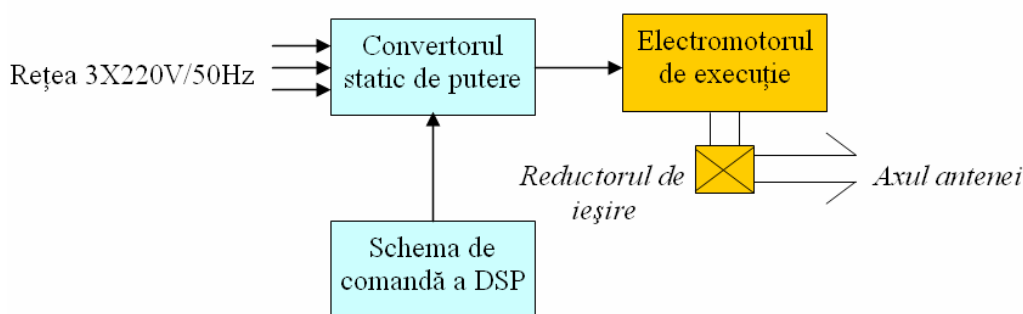


Figura 3: Schema simplificată a instalației de execuție.

### IV. Ansamblul de formare și transmitere a informației despre poziția unghiulară a antenei, în sistemul de coordonate sferic

Pentru a putea comanda electromotoarele de acționare în scopul poziționării corecte a celor două antene la valorile impuse este necesară cunoașterea permanentă a poziției acestora față de sistemul de axe de referință. Pentru cele două planuri, în sistemul de coordonate sferic, valoarea 0 a unghiului este reprezentată de:

- poziția orizontală a sistemului de antene, pentru planul elevației, și
- direcția Nord, pentru planul azimutal,

așa cum este prezentat în figura 4.

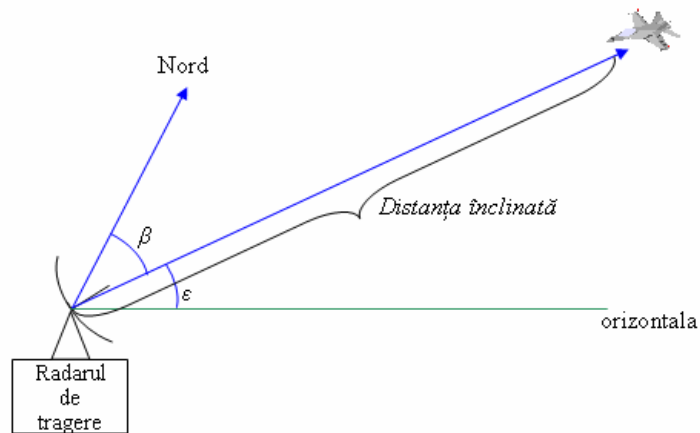


Figura 4: Sistemul de coordonate sferice.

Având ca referință pozițiile de 0, traductoarele de poziție (encodere optice absolute) vor comunica permanent către calculator poziția sistemului de antene, sub formă de semnal digital, implementarea bazându-se pe o soluție modernă ce simplifică logica de comandă prin eliminarea canalelor aproximativ și precis (figurate în schema simplificată cu galben respectiv maro) și utilizarea unui singur canal pentru fiecare din cele două planuri. Pentru a putea realiza conversia poziției unghiulare în semnal electric, cele două traductoare sunt cuplate mecanic la cele două axe ale antenelor, corespunzătoare celor două planuri.

Transmiterea informațiilor despre pozițiile unghiulare ale celor două antene presupune și conversia optimă a mărimilor unghiulare în semnale electrice adaptate protocoalelor de comunicație pe unul din porturile calculatorului. Aceasta se va realiza direct, prin intermediul interfețelor de comunicație dedicate ale encoderele având la bază protocolul de comunicație asignat tipului de encoder și modului de lucru utilizat. Afișarea poziției unghiulare se va face la instalația de antene prin utilizarea afișajului digital cu ecran LCD, adaptat tipului de encodere utilizate. Dezvoltarea se va face în baza schemei prezentate în figura 5.

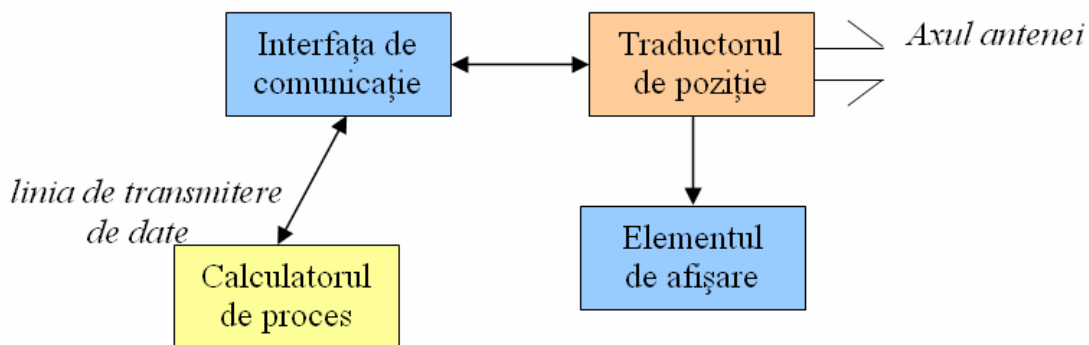


Figura 5: Schema simplificată a ansamblului de formare și transmitere a informației despre poziția unghiulară a antenei.

## V. Convertorul digital-analog și buclele de reglaj

Pentru a putea comanda electromotorul de acționare de curent continuu este necesar un lanț de conversie a semnalului de comandă, transmis digital, în semnal de comandă analogic continuu, bazat pe conversia digital-analogică a semnalului. Metoda are la bază transformarea unei valori numerice într-o tensiune al cărei nivel să fie proporțional cu valoarea numerică transmisă.

Pentru a putea fi îndeplinite criteriile de stabilitate impuse sistemului, acesta va fi prevăzut cu două bucle de reglaj – o buclă de reglaj a vitezei și o buclă de reglaj a curentului, dezvoltate în condițiile absenței traductorului de viteză. Montajul unui traductor de viteză la reductorul de ieșire al electromotorului de curent continuu ar implica o intervenție anevoioasă și costisitoare în sistemele mecanice existente. Din acest motiv, pentru implementarea celor două bucle de reglaj – de curent și de viteză se va utiliza ca mărime de feed-back, valoarea curentului prin indusul electromotorului de acționare. Traductorul de curent, intercalat între convertorul static de putere și electromotorul de acționare, furnizează la ieșire o tensiune continuă a cărei lege de variație urmărește întocmai legea de variație a curentului prin indus, care, filtrată prin intermediul filtrului de curent, se aplică regulatorului de curent și prin intermediul unui circuit de integrare regulatorului de turație.

De la ieșirea regulatorului de curent, tensiunea rezultată, în urma reglajului, comandă schema de comandă a dispozitivelor semiconductoare de putere ce compun convertorul static de putere. Sintetic, elementele componente ale lanțului de reglaj pot fi reprezentate ca în figura 6.

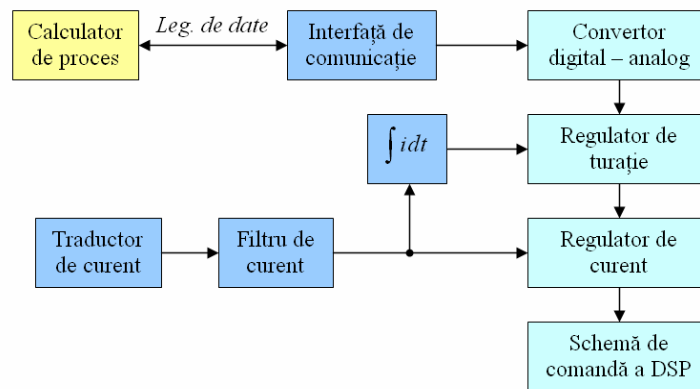


Figura 6. Ansamblul de conversie și reglaj.

## VI. Interfețele de comunicație, de formare a comenzilor și rapoartelor și elementele de cuplare a alimentării de la distanță

Pentru a putea controla de la distanță întreg sistemul, este nevoie de interfețele dedicate care să permită transformarea semnalelor captate de la senzori în semnale electrice adaptate protocoalelor de comunicație pe porturile calculatorului. În acest scop, în instalația de antene se vor implementa interfețele care să facă conversia semnalelor primite de la senzori în semnale cu nivele de tensiune compatibile transmiterii printr-o linie de comunicație digitală. Pentru a se putea transmite aceste semnale către calculatorul din consola de lucru a operatorului se vor dezvolta interfețele de comunicație adaptate transmisiei digitale a semnalelor prin porturi. Softul calculatorului de proces va permite transmiterea comenzilor și a semnalelor de comandă către elementele dispuse în instalația de antene, precum și primirea informațiilor despre pozițiile unghiulare ale antenelor și a rapoartelor din sistem, în spațiul de timp alocat fiecărei operații. Semnalele de comandă, necesare pentru poziționarea antenelor pe pozițiile comandate se formează în calculatorul de proces, ca diferență între pozițiile achiziționate de calculatorul de proces și pozițiile antenelor la momentul transmiterii datelor. Interfața va face adaptarea dintre calculator și adaptoarele de impedanță.

Interfața va transmite comenzile și semnalele de comandă a poziționării antenelor, codificate de către softul calculatorului de proces, astfel încât acestea să poată fi interpretate corect de către subsistemul de comandă. De asemenea, va recepționa informațiile despre pozițiile unghiulare ale antenelor și rapoartele din sistem, pe care le va transmite calculatorului de proces în vederea afișării pe monitorul acestuia.

În instalația de antene se dispun magistrale de date paralele și seriale ce au rolul de suport pentru transmiterea datelor. Pentru a se putea sincroniza timpii de transmitere cu cei de recepție, este utilizat un sincronizator local.

Cuplarea secvențială, de la distanță, a alimentării întregului sistem este asigurată de interfața de cuplare, a cărei secvență de cuplare este optimizată în scopul evitării avariilor și a cuplării alimentării convertorului static în absența tensiunii de excitație.

Monitorizarea permanentă și eficientă a stării întregului sistem este facilitată de prezența circuitelor de formare a rapoartelor și a interfeței dedicate ce asigură transmiterea rapoartelor către calculatorului de proces.

Întreg fluxul informațional va fi transmis între cele două locații de dispunere a elementelor sistemului prin utilizarea unui mediu de transmitere adecvat – fibra optică, care să satisfacă cerințele de lucru. Fluxul de date este bidirecțional, ceea ce impune prezența a două canale de comunicație – unul dinspre pupitrul de comandă spre instalație de antene și celălalt dinspre instalația de antene spre pupitrul de comandă.

## VII. Schema de proiectare simplificată a sistemului de acționare electrică

În baza celor prezentate anterior în lucrare, se poate contura o schemă bloc simplificată pentru fiecare din cele două planuri, cu specificația că există diferențe între planuri, datorate limitelor fizice în care instalația de antene poate fi mișcată. Schema bloc simplificată a sistemului pentru un plan este prezentată în figura 7.

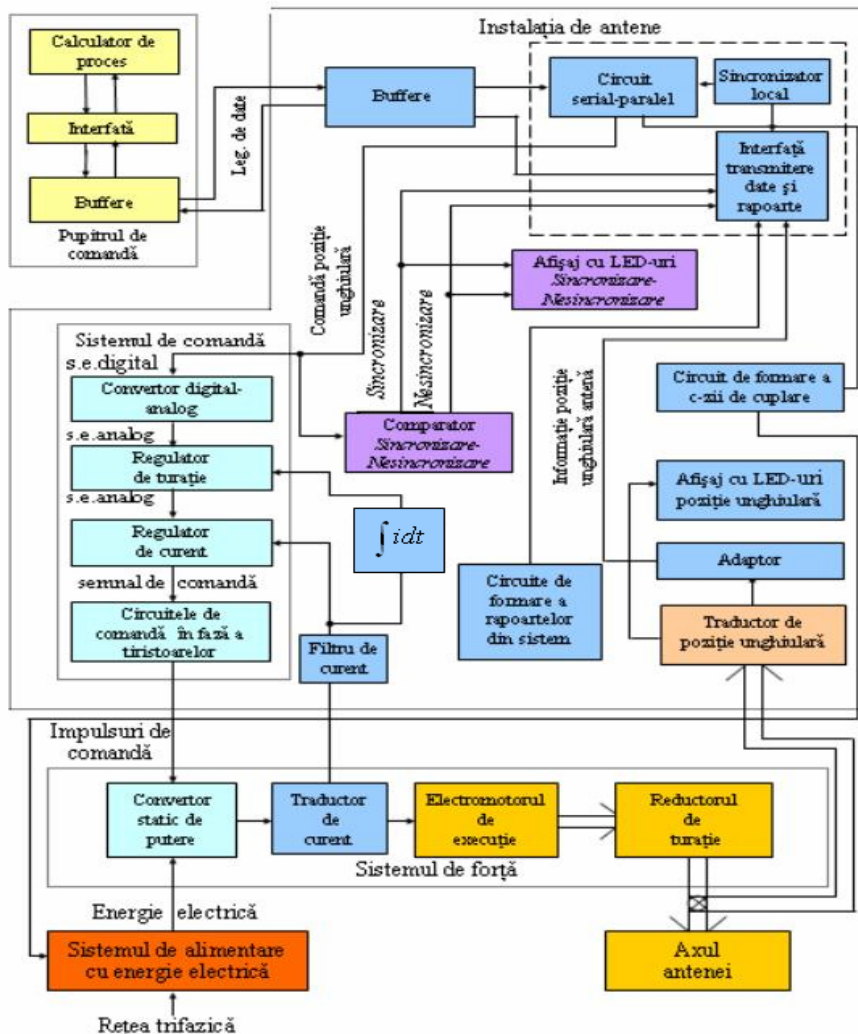


Figura 7: Schema de proiectare simplificată pentru un plan.

### VIII. Avantajele introducerii comenzii numerice la comanda antenelor orientabile

Principalul avantaj al introducerii comenzii numerice la comanda antenelor orientabile este reprezentat de îmbunătățirea considerabilă a performanțelor sistemului.

Un design bazat pe utilizarea convertoarelor statice de putere comandabile are ca principal avantaj *o creștere substanțială a randamentului global de conversie a energiei* (de la 40÷50 % la 70÷85%). Adaptarea logicii de comandă a sistemului la logica de comandă a dispozitivelor semiconductoare previne suprasolicitările și suprasarcinile accidentale, evitând uzura prematură a elementelor din compunerea instalației de forță și conducând la *o creștere a siguranței în exploatare*.

Utilizarea encoderelor absolute ca traductoare de poziție unghiulară are ca principal avantaj *asigurarea funcționării sistemului de comandă a antenelor orientabile în absența tensiunii cu frecvența de 400 Hz*, astfel că nu mai este necesară conversia de frecvență a tensiunii pentru alimentarea selsinelor și a altor elemente din compunerea sistemului.

Simplitatea achiziției de date este argumentul forte al comenzii numerice. Dacă într-un sistem analogic, achiziția informațiilor despre unghiurile pe care trebuie poziționată antena la un moment dat se face prin utilizarea mai multor scheme de formare a semnalului de eroare cu selsine, într-un sistem cu comandă numerică, *achiziția de date se face direct pe porturile calculatorului în format digital*.

De regulă la același mecanism de mișcare a selsinelor transmițătoare dedicate instalației de antene sunt conectate, prin intermediul legăturilor mecanice, și selsinele transmițătoare care asigură poziționarea a 6÷8 instalații de lansare. Spre deosebire de aceasta, conectarea la portul serial a unei magistrale de comunicație și achiziție de date permite realizarea comunicației și citirea poziției unui număr maxim de 15 encodere, ceea ce asigură citirea poziției unghiulare a unei instalații de antene și a 6 instalații de lansare. Eliminarea selsinelor conduce la *eliminarea operațiunilor de mentenanță, a unora dintre operațiunile specifice ce se execută la schimbarea poziției de tragere și la creșterea ergonomiei în exploatare*.

*Flexibilitatea ridicată a programelor de control și capacitatea de a lua decizii a sistemelor digitale* pot fi combinate cu funcțiile *controlului dinamic* pentru a corespunde cerințelor unei game variate de sisteme și cerințe, astfel că un design hardware optimal poate fi utilizat cu variante diferite de soft într-o categorie largă de aplicații *simplificându-se și reducându-se considerabil timpul necesar proiectării*.

#### Bibliografie:

- [1] V. Năvrăpescu, M. Popescu, M. Covrig, P. Todos – "Acționări electrice de curent continuu", Editura ICPE, București, 1999;
- [2] D. Fodor, Ph. Delarue, F. Ionescu, D. Floricău – "Convertoare statice de putere speciale", Editura Printech, București, 1997;
- [3] \*\*\* – "Digital control of dynamic systems – third edition", Editura IEEE, 2005;
- [4] [www.usdigital.com](http://www.usdigital.com);
- [5] [www.analogdevices.com](http://www.analogdevices.com);

---

\* Aurelian CRĂCIUNESCU, prof. univ. dr. ing., Universitatea Politehnică, București, Splaiul Independenței nr. 313, e-mail:[aurelian\\_craciunescu@yahoo.com](mailto:aurelian_craciunescu@yahoo.com);

\*\* Valentin NĂVRĂPESCU, prof. univ. dr. ing., Universitatea Politehnică, București, Splaiul Independenței nr. 313, e-mail:[valentin\\_navrapescu@gmail.com](mailto:valentin_navrapescu@gmail.com);

\*\*\* Cornel Ovidiu BADEA, drd. ing., Universitatea Politehnică, București, Splaiul Independenței nr. 313, tel. 0724.546.476, e-mail:[cornelovidiu.badea@gmail.com](mailto:cornelovidiu.badea@gmail.com).

## THE DISTURBANCE IN THE AIRCRAFT ELECTRIC SYSTEM

Eleonora Darie\*  
Emanuel Darie\*\*  
Garibald Popescu\*\*\*

*Abstract. This work presents the problems related to power quality in the aircraft electric systems, the problems related to internal electromagnetic compatibility (wire-to-wire coupling) and lightning indirect effects on the quality of the electricity supply in aircraft electric system. The disturbance's generation and propagation is described for to guarantee reliability and safety in aircraft performances.*

### I. Introduction

The use of new materials and the enlargement of electromagnetic environment underlined the need of paying greater attention to the electromagnetic interference in the design of modern aircrafts. For an aircraft to fulfill its tasks reliably and satisfactorily, the following problems, must be solved [3]: Internal electromagnetic compatibility (the avionic equipment must not interfere with the electric and electronic systems on aircraft); External electromagnetic compatibility (the satisfactory performance of the electric and electronic systems must be ensured even when exposed to external radiations); Lightning protection; Nuclear electromagnetic pulse (NEMP) [4].

The aircraft structure may be built with the following materials: Pure metal structure: aluminum; Mixed structure: aluminum structure with avionic; access doors or panels made of carbon fiber; composite (Carbon Fiber Composite, CFC). The materials used in modern aircrafts are more sensible to electromagnetic environment compared to the ones used in the past.

The problems related to electromagnetic effects increase very much as time goes on and technology advances. The problems concerning lightning protection become relevant, while the ones relating EMC (electromagnetic compatibility) appear to increase less strongly, the aircrafts are more dependent on the electronics.

### II. Problems due to wire-to wire coupling

Because of the limited space on aircraft, wires in close proximity in cable bundles interact to produce wire-to-wire coupling.



The currents flowing along the wires of a circuit create magnetic fields that couple to another circuit inducing signals in both of them. The unintended interaction between two or more circuits via electromagnetic fields can cause interference problems. This phenomenon is called *crosstalk* [1]. The task in modeling crosstalk is the prediction of these signals and whether they will cause the respective loads to malfunction in order to reduce this phenomenon.

The analytical procedure to predict the induced terminal voltages of the receptor circuit is reported in [1], [2], [3], [4] with reference to the *Multiconductor Transmission Line (MTL) theory*. The induced terminal phasor voltages of the receptor circuit are the sum of a component due to the mutual inductance between the two circuits (*inductive coupling*) and the component due to the mutual capacitance between the two circuits (*capacitive coupling*). Generally one component dominates the other.

The inductive coupling dominates capacitive coupling for “low impedance loads” and the capacitive loads for “high impedance loads”. The sensitivity of the coupling depends on the variations in relative wire position in cable bundles [4], [5].

## II. Problems due to atmospheric electricity

There are two major naturally-occurring phenomena that could be responsible of mishaps to aircraft in flight. Those are lightning and static electrification [5]. Static electrification processes are shown in Figure 1 and the related interference problems are shown in Figure 2.

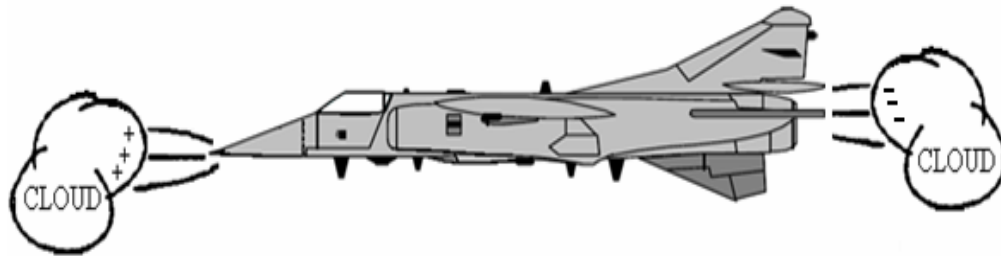


Fig.1: Static electrification processes.

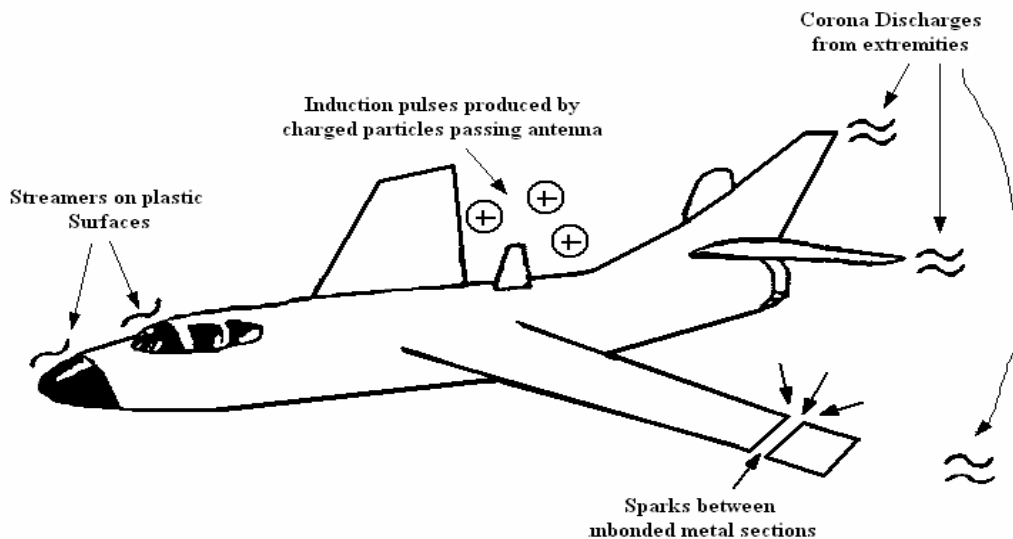


Fig.2: Interferences problems due to static electrification.



When the lightning stepped-leader attaches to one of the streamers emanating from the aircraft extremities, and enters the aircraft skin, the currents are about a thousand amperes, but when the lightning channel approaches the ground they may reach 30000 A (return-stroke).

The Lightning effects [6] on aircraft are classified as: *Direct Effects*, which include the physical damage at the point of arc attachment, and *Indirect Effects*, which are electromagnetically induced by field coupling to wires or avionic equipment. The indirect effects could also be produced by lightning, which did not directly contact the aircraft, but these would not be significant.

The Lightning currents induce voltages in aircraft electrical circuits, thus inducing strong magnetic fields surrounding the conductive aircraft. Some of this magnetic flux may leak inside the aircraft through apertures such as windows and joints. These internal fields pass through aircraft electrical circuits and induce voltages between both wires of a two-wire circuit (*differential mode voltages*) or between both wire and the airframe (*common mode voltages*).

As lightning current flows through the aircraft resistive voltage drops may appear between circuit wires and the airframe. For metallic airframe made of highly conductive aluminum these voltages may be significant when the lightning current must flow through resistive joints. The resistance of titanium and composite materials is ten times and hundred times that of aluminum, so resistive voltages in future aircraft employing these materials may be significantly higher. The newer materials do not provide the degree of electromagnetic shielding in the 10 kHz to 1 MHz frequency band as has been afforded by conventional all-aluminum aircraft.

Increasing use of plastic of solid state electronics, further miniaturization of solid state electronics, and greater dependence of electronics to perform flight critical functions, greater congestion in terminal airways requiring more frequent flight through adverse weather conditions at altitudes where lightning strikes frequently occur (6000 m), could increase the problems due to indirect effects.

Another phenomenon that can affect an aircraft is the NEMP, which produces an electromagnetic field fifty times greater than the one produced by lightning and a thousand times faster to reach its peak value. Protection against its effects isn't much different from that used against lightning effects.

### III. Protection against electromagnetic disturbances

The grounding and the shielding are very important actions for limiting the coupling mechanism of the system with electromagnetic fields. In order to reduce crosstalk to tolerable levels either a shield can be placed around the generator or the receptor wire (or both), or one of them (or both) can be replaced with a twisted pair of wires. If the metallic conductors were replaced with fiber-optic cables, the aircraft performance would be improved because of their light weight, immunity to electromagnetic interference (which also reduces the cost of shielding), high bandwidth and sensitivity. However a complete conversion to fiber-optic cables is unrealistic to expect since metallic conductor cables are in considerable use.

The first step in the protection design is to assess the possible induced voltage or current levels in a conductor or shield, and that can be done knowing the magnetic field levels inside the aircraft. The method consists in dividing the aircraft into magnetic field zones in order to estimate the transient voltages and currents that will appear between unshielded conductors (or between the shield and the airframe) and the airframe.

Shielding against magnetic fields requires the shield to be grounded at both ends in order to carry a circulating current which cancels the magnetic fields that produce common mode voltages.

Every electric and electronic system essential for the aircraft safety must guarantee their performances even during adverse conditions such as lightning. Protection against lightning indirect effects can be applied either by designing the aircraft structures to minimize wiring susceptibility to the lightning induced effects, or by applying protective methods to the avionic equipment.

The lightning shield can usually consist of an overall braided shield on a group of conductors, being grounded to the aircraft structure at least at the ends.

#### IV. Numerical simulations for the disturbance analysis and propagation

The electrical power system's aircraft, used for numerical simulations consists of a three-phase 115/200 V, 400Hz constant frequency AC system and a 28 V DC system [7]. Each of the aircraft [7] three generators can supply the whole network. There are two main AC engine generators which can be replaced, one or both, at any time by means of an APU (Auxiliary Power Unit) generator. An external power connector near the nose wheel allows power system to be supplied to all bus bars when the aircraft is at ground. If all normal AC generation is lost, an emergency generator can supply AC power. Even if this latter fails, the conversion system can transform DC power from the batteries into AC power.

On simulated: Lightning indirect effects and Wire-to-wire coupling.

##### 4.1. Lightning indirect effect

On considered a lightning having a peak voltage of 30 kV, and the induced voltages on the wires have been calculated either for all-aluminum aircraft either for mixed structure aircraft.

The induced voltages on some wires close to the airframe in the first assumption are shown in Figure 3. The cable bundle is simulated without shielding and the induced over voltages on the wire can reach hundred of volts in the areas close to the airframe [6].

With the second assumption (aluminum and CFC structure) the induced voltages were higher, in accordance with the fact that the structure made of CFC is more susceptible to electromagnetic effects compared to all aluminum structure. Changing the loads (the curves 1, 2 and 3) supplied by the wires proved that interference depends on the load and the relative position of the wires inside the cable bundle; in fact the inner ones are less susceptible to electromagnetic effects.

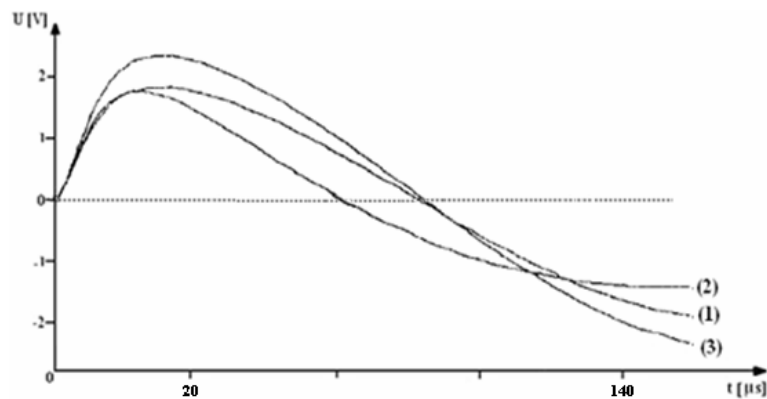


Fig.3: Lightning induced voltages on wires of a cable bundle close to the airframe.

## 4.2. Wire to wire coupling

It has been assumed that a wire in the cable bundle [7] was supplied with the alternate sinusoidal voltage source 115 V, 400 Hz and the induced effects on the other wires in the proximity have been calculated by means of the numerical simulation. The induced voltages on the adjacent wires are shown in Figure 4, while the induced voltage on the ground conductor is reported in Figure 5. The values of the induced voltages vary from few hundreds of mV to 2÷3 V. These voltage values can be dangerous depending on the susceptibility of the loads (the curves 1, 2 and 3) supplied by the wires [4].

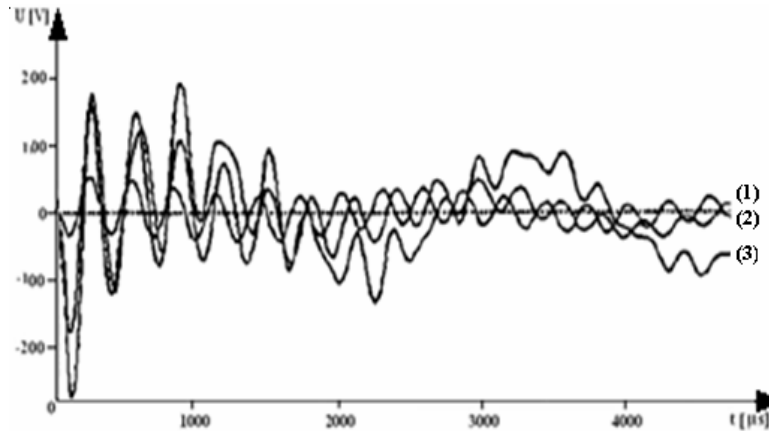


Fig.4: Wire-to-wire coupling, induced voltages in wires close to the one supplied at the rated power voltage.

Concerning the induced voltage on the ground conductor, that reaches the value of 400  $\mu$ V, it must be considered its level of disturbance associated to equipment and electronic controlled devices.

This kind of interference is more relevant compared to the lightning effects because is a permanent phenomenon while the second is transient and does not often occur.

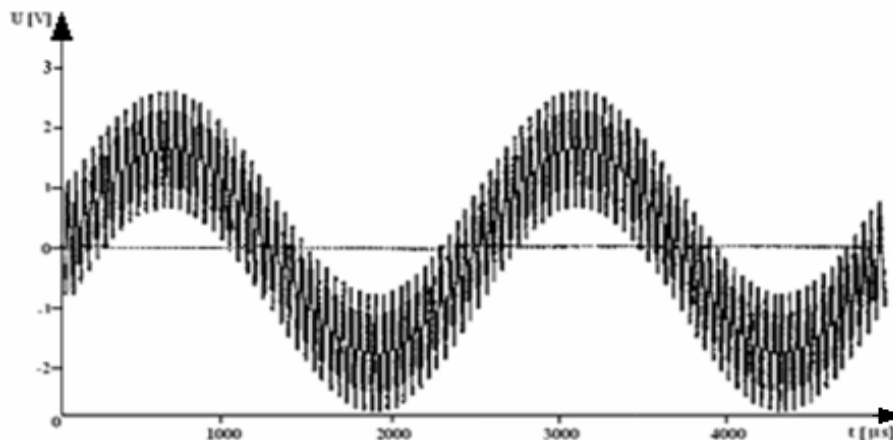


Fig.5: Induced voltage on the ground conductor.

## V. Conclusions

This work presents the problems related to internal electromagnetic compatibility (wire-to-wire coupling) and lightning indirect effects on the quality of the electricity supply in aircraft power systems.

The disturbance generation and propagation are briefly recalled and a protection system design is described in order to guarantee reliability and safety in aircraft performances.

### References

- [1] Clayton, R.P., *Cables and crosstalk*, International Conference on Electric power quality on aircraft: analysis and propagation of disturbances, Proceedings of IEEE (Milano) 2001, Vol. 1, Page(s): 222 - 227.
- [2] Middlebrock, R.D., *Input Filter Consideration in Applications of Switching Regulators*, Proceedings of the IEEE Industry Applications Society, 2000, pages 91-97.
- [3] Braidotti, D., Zanini A., *Power Quality studies on aircraft electric systems*, International Conference on Harmonics and Power Quality Orlando (Florida, USA), 2000.
- [4] Braidotti, D., *Cables and electromagnetic compatibility into aircraft*, International Conference on Insulated Power Cable, Versailles, France, 1999.
- [5] Albert, E.H., *Stability and Dynamics of Power Systems with Regulated Converter*, Proceedings of the IEEE Symposium on Circuits and Systems, Society, 1998, pages 143-145.
- [6] Jaeger, D., *Increasing significance of electromagnetic effects in modern aircraft development*, International Aeronautical Conference on Research and Technology, Melbourne, 1998.
- [7] *Airbus A320*, Volare Airlines, Flight Operation Manual.

\*Eleonora Darie, Conf. univ. dr. ing. Univ. Tehnică de Construcții București, Catedra de Electrotehnică, București, Pache Protopopescu nr. 66, e-mail: eleonora\_darie@yahoo.com

\*\*Emanuel Darie, Conf. univ. dr. ing. Lt. Col., Academia de Poliție „Alexandru Ioan Cuza”, București, Privighetorilor nr.1, tel. 021 2304833, e-mail: edarie@yahoo.com

\*\*\*Garibald Popescu, Lector univ. dr. ing. Lt. Col., Academia de Poliție „Alexandru Ioan Cuza”, București, Privighetorilor nr.1, tel. 021 2304833.

## TEHNOLOGII SI SOLUȚII CONSTRUCTIVE DEDICATE RĂCIRII PROCESOARELOR DIN COMPONENTA NOTEBOOK-URILOR

Petre-Daniel Dinescu\*

Dinu Comănescu\*\*

Adriana Comănescu\*\*\*

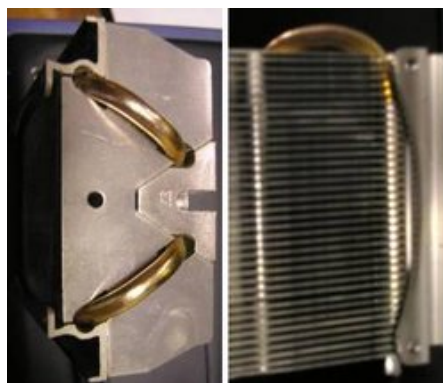
*O dată cu creșterea exponențială a dispozitivelor electronice a apărut o problemă extrem de spinoasă - răcirea siliciului. Sistemele de răcire ale procesoarelor din cadrul notebook-urilor au rolul de a păstra temperatura optimă pentru funcționarea procesorului și de a-i asigura răcirea cu condiția producerii unui nivel de zgomot foarte redus.*

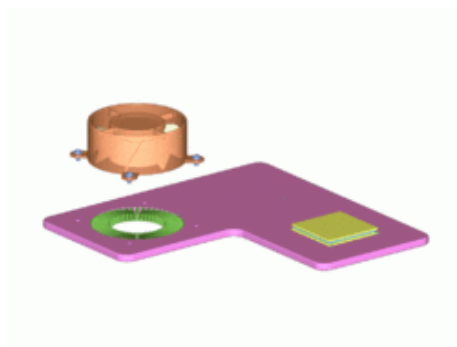
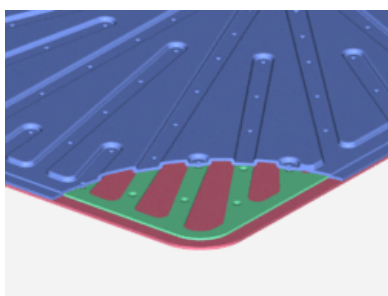
*Lucrarea prezintă o serie de tehnologii și soluții constructive dedicate răcirii, înseosebi a răcirii procesoarelor din compunera notebook-urilor. Se pun în evidență originea acestor soluții, evoluția acestora, descrierea, compunerea, funcționarea și limitările acestora precum și domeniile de aplicare.*

### 1. Considerații teoretice

Prin termenul de țevă de căldură înțelegem un mecanism cu rol de transfer de căldură, care poate transporta cantități semnificative de căldură cu diferențe infime de temperatură între interfețele mai fierbinți sau mai reci.

Într-o țevă de căldură, la interfața fierbinte, fluidul se transformă în abur iar gazul curge și se condensează în mod natural pe interfața rece. Lichidul cade sau este transferat de acțiunea capilară înapoi la interfața fierbinte pentru a se evapora din nou și astfel ciclul se repetă.





A. Secțiune transversală printr-o țevă de căldură plată groasă de 500 (alimentator de căldură) cu chiuvetă de micrometri, cu capilar plan subțire căldură izolată și ventilator (acva-colorat).

A-B Componentele și mecanismul unei țevi de căldură cu fitil

O țevă de căldură caracteristică constă dintr-un tub gol sigilat. Pentru confecționarea tubului se folosește un metal termoconductor precum cuprul sau aluminiul. Țeava conține o cantitate relativ mică de "lichid de lucru" sau de răcire (precum apă, etanol sau mercur), iar restul țevii este umplut cu faza de abur a lichidului de lucru, toate celelalte gaze fiind excluse.

Pe partea internă a pereților verticali ai tubului, structura de fitil exercită o forță capilară asupra fazei de lichid a lichidului de lucru. De obicei, acesta este un praș de metal concreționar sau o serie de caneluri paralele cu axa tubului, dar, în principiu, poate fi orice material capabil să exercite o presiune capilară asupra lichidului condensat pentru a-l conduce înapoi către capătul încălzit. Țeava de căldură poate să nu necesite o structură de fitil dacă gravitatea sau orice altă sursă de accelerație este suficientă pentru a depăși tensiunea de suprafață și pentru a determina lichidul condensat să curgă înapoi înspre capătul încălzit.

O țevă de căldură nu este un termosifon, deoarece nu are sifon. Termosifoanele transferă căldură prin convecție într-un singur sens (ex: Tubul lui Perkins, după Jacob Perkins.)

Țevile de căldură nu conțin părți care se mișcă și de obicei nu necesită întreținere, deși gazele non-condensatoare care se difuzează prin pereții țevii rezultă din căderea lichidului de lucru, există ca impurități în materialele de construcție, sau pot reduce, în cele din urmă, eficiența transferului de căldură. Acest lucru este acut atunci când presiunea aburului lichidului de lucru este scăzută.

Materialele de răcire alese depind de condițiile de temperatură în care țeava de căldură trebuie să acționeze, cu materiale de răcire variind de la heliu lichid, pentru aplicațiile de temperatură foarte scăzută (2-4K) la mercur (523-923K) și sodiu (873-1473K) și chiar indiu (2000-3000K) pentru condiții de temperatură foarte ridicată. Totuși, marea majoritate a țevilor de căldură pentru aplicații la temperaturi foarte scăzute utilizează combinații de amoniac (213-373K), alcool (metanol (283-403K) sau etanol (273-403K)) sau apă (303-473K) ca lichid de lucru.

Avantajul țevilor de căldură este eficiența lor ridicată în transferul de căldură. De fapt, ele reprezintă un conductor de căldură mult mai bun decât o secțiune echivalentă de cupru solid.

Încălzirea unui lichid volatil la un volum fix poate fi o operațiune periculoasă din moment ce presiunea poate depăși foarte ușor puterea containerului. Țeava trebuie proiectată astfel încât să reziste în siguranță la presiunea care apare atunci când tot fluidul este în faza de



abur la temperatură ridicată. Cel mai important aspect este acela că presiunea maximă în țeava de căldură trebuie limitată prin restricționarea atentă a masei totale de lichid de lucru.

Controlul activ a fluxului de căldură poate fi eficientizat prin adăugarea unui rezervor de lichid cu volum variabil la secțiunea de evaporare. Țevile de căldură cu conductibilitate variabilă utilizează un rezervor imens de gaz inert imiscibil atașat la secțiunea de condensare. Varierea presiunii rezervorului de gaz schimbă volumul gazului încărcat în condensator care, în schimb, limitează zona disponibilă pentru condensarea aburului. Astfel, o mai mare paletă de fluxuri de căldură și variații de temperatură poate fi ajustată printr-un singur proiect.

O țeavă de căldură cu rezervor care nu are conexiuni capilare la țeava de căldură de la capătul evaporatorului poate fi utilizată, de asemenea, ca diodă termică. Această țeavă de căldură va transfera căldură într-o singură direcție, acționând ca un izolator pentru ceilalți.

Țevile de căldură plane au aceleași componente de bază precum țevile de căldură tubulare. Aceste componente sunt un recipient gol sigilat ermetic, un fluid de lucru și un sistem de recirculare capilară cu circuit închis.

În comparație cu o țeavă de căldură tubulară de o singură dimensiune, lărgimea unei țevi de căldură de două dimensiuni permite o secționare corectă pentru fluxul de căldură chiar și cu un dispozitiv foarte subțire. Aceste țevi de căldură subțiri și plane se găsesc în cadrul calculatoarelor. Se pot produce țevi de căldură subțiri de 0.5 mm.

Țevile de căldură utilizează răcire de evaporare pentru a transfera energia termică de la un punct la altul prin evaporarea și condensarea unui lichid de lucru sau de răcire. Țevile de căldură se bazează pe diferența de temperatură dintre capetele țevii și nu pot scădea temperaturile la niciunul din capete mai mult decât temperatura ambientală (prin urmare, acestea tind să egalizeze temperatura din țeavă).

Atunci când unul din capetele țevii este încălzit, lichidul de lucru din interiorul țevii de la acel capăt se evaporă și mărește presiunea aburului din interiorul cavității țevii de căldură. Căldura latentă de evaporare absorbită de vaporizarea fluidului de lucru reduce temperatura la capătul fierbinte al țevii.

Presiunea aburului asupra fluidului lichid fierbinte la capătul fierbinte al țevii este mai mare decât presiunea aburului de echilibru asupra fluidului de lucru de condensare la capătul mai rece al țevii, iar această diferență de presiune conduce la un transfer rapid de masă către capătul de condensare unde aburul în exces se condensează, își eliberează căldura latentă și încălzește capătul rece al țevii. Gazele necondensatoare (de exemplu, cele cauzate de contaminare) din abur întârzie fluxul de gaz și reduc eficiența țevii de căldură, în special la temperaturi scăzute, unde presiunile aburilor sunt scăzute. Viteza moleculelor dintr-un gaz este aproximativ egală cu viteza sunetului, iar în absența gazelor necondensatoare, aceasta este cea mai ridicată viteză cu care acestea ar putea trece prin țeava de căldură. În practică, viteza aburului prin țeava de căldură depinde de rata de condensare la capătul răcit.

Ulterior, fluidul de lucru condensat curge înapoi înspre capătul fierbinte al țevii. În cazul țevilor de căldură orientate vertical, fluidul poate fi mutat de forța de gravitate. În cazul țevilor de căldură care conțin fitile, fluidul este întors de acțiunea capilară.

Atunci când de fabrică țevile de căldură, nu este necesară cearea unui vid în țeavă. Trebuie doar fiert fluidul de lucru în țeava de căldură până ce aburul rezultat epurează gazele necondensatoare din țeavă și apoi sigilează capătul.

O trăsătură interesantă a țevilor de căldură este temperatura peste care acestea sunt eficiente. La prima vedere, putem suspecta că o țeavă de căldură umplută cu apă ar funcționa doar atunci când capătul fierbinte atinge 100 °C și apa fierbe, declanșând transferul de masă care reprezintă secretul țevii de căldură. Totuși, punctul de fierbere al apei depinde de presiunea la care este ținută. Într-o țeavă evacuată, apa va fierbe chiar la 0 °C. De aceea, transferul de căldură va începe atunci când capătul fierbinte este mai cald decât capătul rece.



În mod similar, o țevă de căldură cu apă ca fluid de lucru poate funcționa bine până la 100 °C.

Eficiența țevilor de căldură se datorează evaporării și condensării fluidului de lucru, care eliberează mult mai multă energie decât simpla schimbare de temperatură. În cazul apei, energia necesară pentru evaporarea unui gram de apă este echivalentă cu cantitatea de energie cerută pentru ridicarea temperaturii aceluiași gram de apă cu 540 °C. Aproape toată acea energie este transferată rapid la capătul "rece" atunci când fluidul se condensează acolo, creând un sistem foarte eficient de transfer de căldură fără elemente care se mișcă.

## 2. Origini

Principiul general al țevilor de căldură care folosesc gravitatea (clasificate drept termosifoane în două faze) datează din epoca motoarelor cu aburi. Conceptul modern de țevă de căldură condusă de capilare a fost introdus pentru prima dată de R.S. Gaugler de la General Motors în 1942, care a patentat ideea. Avantajele utilizării acțiunii capilare au fost dezvoltate independent și demonstrate pentru prima dată de către George Grover la Laboratorul Național Los Alamos în 1963 și publicate ulterior în Jurnalul de Fizică Aplicată în 1964.

Între anii 1964 și 1966, RCA a fost prima companie care a efectuat cercetări și a dezvoltat țevile de căldură pentru aplicații comerciale. În anii 1960 NASA și-a manifestat interesul pentru sistemele de răcire a țevilor de căldură, date fiind greutatea lor scăzută, fluxul ridicat de căldură și consumul de putere zero. Prima aplicație a țevilor de căldură în programul spațial a fost în echilibrările termice ale transponderilor de sateliți.

Publicațiile din 1967 și 1968 ale lui Feldman, Eastman, & Katzoff au tratat în primul rând aplicațiile țevilor de căldură în zonele dinafara razei de competență a guvernului și nu s-au situat sub nivelul clasificării de temperatură ridicată după cum urmează: aer condiționat, răcirea motorului și a componentelor electronice. Publicațiile anului 1969 au introdus conceptul de țevă de căldură rotativă cu aplicații în răcirea lamei de turbină și primele discuții despre aplicațiile țevilor de căldură în procesele de criogenie.

Începând din anul 1980, Sony a început încorporarea țevilor de căldură în schemele de răcire pentru unele din produsele lor electronice de uz comercial, în locul tradiționalei chiuvete de căldură cu ventilator cu sau fără convecție forțată. Aplicațiile inițiale s-au referit la tunere și amplificatoare, dar s-au răspândit repede la alte aplicații electronice cu flux înalt de căldură. Spre sfârșitul anilor 1990, CPU-urile de microcomputer din ce în ce mai moderne au stimulat o creștere triplă a numărului de aplicații patentate ale țevilor de căldură în SUA.

Pe măsură ce țevile de căldură au devenit din componente industriale specializate de tranfer de căldură, utilități ale consumatorului, majoritatea cercetării și producției s-au mutat din SUA în Asia. Țevile moderne de căldură CPU sunt în mod obișnuit făcute din cupru și folosesc apa ca fluid de lucru.

## 3. Aplicații

Țevile de căldură au o utilizare semnificativă în multe sisteme informatice moderne, unde solicitările din ce în ce mai mari de putere, și, implicit, creșterile de emisii de căldură au avut drept consecință solicitări mai numeroase de sisteme de răcire. Țevile de căldură sunt folosite în general pentru scoaterea căldurii din componente precum CPU și GPU.

Țevile de căldură sunt, de asemenea larg utilizate în aplicațiile solare de încălzire termică a apei. În aceste aplicații, apa distilată este de obicei utilizată drept fluid de transfer de căldură în interiorul unui tub sigilat de cupru situat în cadrul unui tub de sticlă evacuat și orientat către soare.

Țevile de căldură sunt folosite pentru a disipa căldură în Sistemul de Conducțe Trans-Alaska. Căldura produsă prin fricțiune și turbulență în uleiul aflat în mișcare ar conduce în jos picioarele de susținere a țevii și ar topi permafrostul care le fixează. Țevile de căldură cu radiatori la vârf sunt utilizate pe fiecare picior pentru a le menține reci astfel încât să nu topească permafrostul și să lase conducta să cadă.



În aplicațiile de încălzire solară termică a apei, un tub colector golit poate avea până la 40% mai multă eficiență în comparație cu tradiționalii încălzitori solari de apă "plani și drepți". Colectorii de tuburi evacuați elimină nevoia de a adăuga aditivi anti-îngheț pe măsură ce vacuumul ajută la prevenirea pierderilor de căldură. Aceste tipuri de încălzitori solari termici de apă sunt protejați împotriva înghețului până la mai mult de  $-3^{\circ}\text{C}$  și sunt utilizați în Antarctica pentru încălzirea apei.

#### 4. Limitări

Țevile de căldură trebuie adaptate la anumite condiții de răcire. Alegerea materialului, a dimensiunii și a răcitorului țevii influențează împreună temperaturile optime la care funcționează țevile de căldură.

Atunci când este încălzit peste o anumită temperatură, întregul fluid de lucru din țeava de căldură se va evapora, iar procesul de condensare nu mai are loc. În asemenea condiții, conductibilitatea termică a țevii de căldură este eficient redusă la proprietățile de transmitere de căldură ale metalului său solid care se autoizolează. Dat fiind că majoritatea țevilor de căldură sunt fabricate din cupru (metal cu conductibilitate ridicată de căldură), o țeavă de căldură supraîncălzită va continua, în general, să conducă căldura la aproximativ 1/80 din conductibilitatea originală.

În plus, sub o anumită temperatură, fluidul de lucru nu se mai evapora deloc, iar conductibilitatea termică va fi redusă la nivelul celei de izolare a metalului solid. Unul din criteriile esențiale pentru selectarea fluidului de lucru este gradul de temperatură operațională dorit al aplicației. Limita mai scăzută de temperatură apare de obicei la câteva grade deasupra punctului de îngheț al fluidului de lucru.

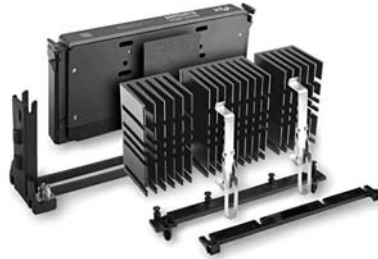
#### 5. Răcirea componentelor din cadrul notebook-urilor folosind țevile de căldură

Vremurile când țevile de căldură erau folosite majoritar pentru egalizarea temperaturii în tehnologia spațială și sateliți au luat sfârșit. În zilele noastre, țevile de căldură se utilizează cel mai frecvent în tehnologia calculatoarelor, pentru console de jocuri și chiar integrate în răcitoarele normale pentru procesoare.

Un sistem termic de evacuare a căldurii slab proiectat va declanșa temperaturi de operare ridicate pentru echipamentele electronice, ducând la numeroase potențiale probleme

sau la eșecuri premature. De aceea, este necesară intensificarea termică adițională pentru disiparea căldurii.

Cel mai cunoscut modul de răcire pentru un procesor este format din radiator și un set de ventilatoare extinse cu rol de disipare a căldurii.

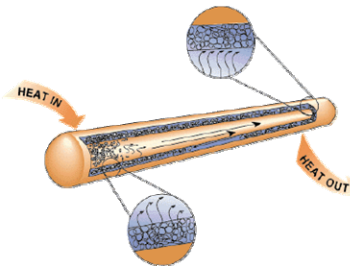


Când e vorba de răcirea unui PC, "țevă de căldură" este un cuvânt cu rezonanță. O țevă de căldură este un dispozitiv cu conductibilitate termică foarte ridicată, utilizat pentru a transporta căldură. Pe măsură ce lichidul se evaporă, energia sub formă de căldură trebuie luată din mediu. De aceea, un lichid care se evaporă va răci zona ce îl înconjoară. Acesta este modul în care o țevă de căldură răcește efectiv sursa de căldură. Totuși, acesta nu scapă de căldură întrucât căldura se deplasează cu aburul. Ca țintă pentru transportul de căldură, țeava de căldură trebuie să fie răcită, folosind de exemplu o chiuvetă de căldură. În acest caz, are loc efectul invers: lichidul se condensează, și deci, emite căldură. Folosind acest efecte, este posibil să construim țevi de căldură cu conductibilitate termică de mii de ori mai mare decât o piesă din cupru de aceeași dimensiune.



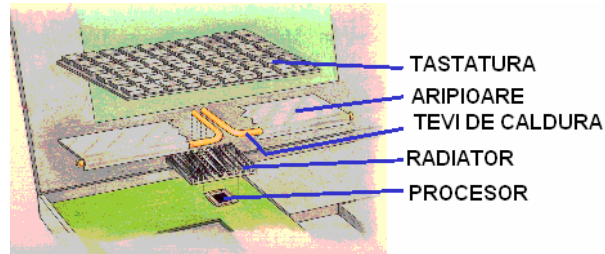
Țevă de căldură fabricată de Thermacore

Din păcate, chiuvetele de căldură sunt de obicei voluminoase și nu pot fi folosite în sisteme unde spațiul este limitat, ca de exemplu un laptop. De aceea, sunt necesare alte dispozitive de intensificare a transferului de căldură pentru a reduce temperatura unui laptop CPU. Candidatul pentru atingerea acestui scop este tehnologia țevii de căldură. O țevă de căldură este un sistem condensator-evaporator sub forma simplă de tub gol cu straturi de ecrane de sârmă de-a lungul peretelui care servește drept fitil, după cum se poate vedea în figura următoare.



Căldura este transferată în secțiunea evaporatorului pentru a evapora lichidul. Aburul revine în secțiunea condensatorului și eliberează căldură într-o chiuvetă de căldură prin condensarea la celălalt capăt. Lichidul se întoarce pentru a începe procedura din nou, printr-o

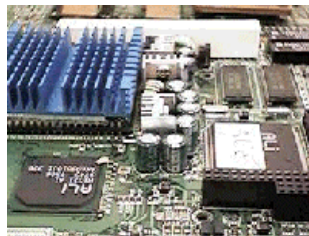
structură de fitil pe interiorul țevii de căldură. Țeava de căldură are avantajul de a avea rezistență termică foarte scăzută, iar performanțele ei sunt insensibile la lungimea acesteia. În consecință, poate fi aranjată în multe forme pentru a primi diferite configurații. A fost implementată cu succes în aplicațiile pe laptop. Mai jos se poate vedea o țeavă de căldură conectată la un sistem de răcire de laptop.



## 6. Soluția țevilor de căldură pentru notebook

Tehnologia țevilor de căldură inițial folosite pentru aplicațiile spațiale a fost aplicată la răcirea laptopului. Reprezintă o soluție ideală, cu cost eficient. Greutatea mai redusă (în general mai puțin de 40 grame), profilul mic, compact și operarea pasivă întrunesc cerințele unui laptop. Pentru un CPU de 8 wați cu o temperatură ambientală care nu e mai mare de 40°C, oferă o rezistență termică de 6.25°C/watt, permițând procesorului să ruleze la viteză maximă în orice condiții ambientale prin păstrarea temperaturii interne la 90°C sau mai puțin.

Un capăt al țevii de căldură este atașat la procesor cu o platoșă subire. Celălalt este atașat la chiuveta de căldură, cu un scut de tastatură special proiectat. Această abordare utilizează părțile existente pentru a minimaliza greutatea și complexitatea. Țeava de căldură ar mai putea fi atașată la alte componente fizice potrivite precum chiuveta de căldură pentru a disipa căldura.



Dat fiind că nu există părți care se mișcă, nu e necesar service-ul și nu este nimic de spart. Unii sunt îngrijorați de posibilitatea ca fluidul să se scurgă din țeava de căldură în componentele electronice. Cantitatea de fluid dintr-o țeavă de căldură de acest diametru este foarte mică. Într-o țeavă de căldură corect proiectată, apa este reținută total în structura capilară de fitil și există mai puțin de 1 atmosferă de presiune. Dacă integritatea vasului unei țevi de căldură ar fi vreodată compromisă, aerul s-ar prelinge în țeava de căldură, în loc ca apa să se scurgă afară. Apoi fluidul s-ar evapora încet pe măsură ce atinge punctul de fierbere atmosferică.

Țevile de căldură au demonstrat că reprezintă un mijloc excepțional prin care se furnizează controlul termic al desktop-ului și al sistemelor laptopului. Țevile de căldură pot mișca și disipa căldura generată de CPU în mod selectiv prin sistem, fără a afecta componentele sensibile la temperatură. Țevile de căldură cu puțini wați (sub 20 wați) au plăcuțe de alimentare standard la țeava de căldură. Conectarea la schimbătorul de căldură prin țeava de căldură poate avea orice număr de configurații pentru a înlesni plasarea componentelor, nivele multiple de putere și opțiuni de ventilator.

## 7. Soluții de răcire a procesoarelor

Soluțiile țevilor de căldură pentru controlul termic la acest nivel este o componentă și o cerință generală a sistemului. Nu numai că țeava de căldură ia o configurație diferită cu multiple țevi de căldură și ventilatoare de răcire, dar fluxul de aer devine factorul critic de proiectare. Țevile de căldură proiectate pentru 75 wați sunt de obicei plane cu multiple ventilatoare de la 3-6 inch, în cele mai multe cazuri cu ventilatoare montate pe fiecare a CPU.

Interioarele sunt standard și utilizează suporturi, orbite de tranziție și platoșă de sprijin la baza plăcii de bază. Agrafele de resort utilizate pe combinația ventilator/chiuveță de căldură nu vor funcționa în acest caz. Managementul fluxului de aer este important în eficiența generală a țevii de căldură și trebuie calculată odată cu proiectarea țevii de căldură dorite.

Pentru stațiile de lucru de la 75 la 100 wați, soluțiile termice sunt în mod normal proiectate cu multiple țevi de căldură, flux de aer și zonă maximă de alimentare. Teancurile de ventilatoare se extind de obicei de-a lungul celor două părți ale CPU. Atașarea alimentării la CPU se face fără suport, orbită de tranziție sau platoșe de sprijin.

Pentru sistemele de operare la 500 mhz , se utilizează două produse termice, țevi de căldură pentru a transfera căldura CPU (de la 100 la 300 wați) și o sursă secundară de răcire internă sau externă. Puterea de alimentare este generată de multiple CPU și componente cu țevi de căldură singulare sau multiple. Temperaturile de răcire la nivelul de ieșire sunt între - 0° C și - 40° C. Acest sistem solicită izolare termică datorită considerațiilor inițiale.

## 7. Concluzii

Costul țevilor de căldură proiectate pentru laptop este foarte competitiv în comparație cu alte alternative. Costul este parțial compensat și justificat de siguranța sistemului îmbunătățit și mărirea duratei de viață a componentelor de funcționare ale răcitorului. Cantitativ, țevile de căldură costă fiecare câțiva dolari, în timp ce întregul sistem de răcire va costa între \$5 - \$10 în cantități de producție, în funcție de proiectarea finală. Produsele de proiectare standard sunt disponibile pentru a reduce și mai mult costurile. Fabricarea țevilor de căldură a reprezentat un domeniu cu care e dificil de concurat. Simplă în concept, dar greu de aplicat comercial, țeava de căldură reprezintă o tehnologie foarte alunecoasă și care deține cheia aplicațiilor pentru transferul de căldură și alte aplicații.

### Bibliografie :

- [1] Jim Danneskiold, Los Alamos-developed heat pipes ease space flight. Los Alamos News Release, April 26, 2000.
- [2] Gaugler, Richard (1944), *Heat Transfer Devices*, Dayton, Ohio: U.S. Patent Office, pp. 4, 2350348.
- [3] Jim Danneskiold, Los Alamos-developed heat pipes ease space flight. Los Alamos News Release, April 26, 2000.
- [4] Grover, G.M., T. P. Cotter, and G. F. Erickson (1964). "Structures of Very High Thermal Conductance". *Journal of Applied Physics* 35 (6): 1990-1991
- [5] Heat Pipe research at LANL

---

\* Petre-Daniel Dinescu, Mr.drd.ing., Agentia pentru Sisteme si Servicii Informatice Militare, București, B-dul Drumul Taberei nr.7-9, sector 6, tel. 021 319 59 59, 0745 590 865, e-mail: ddp\_ro@yahoo.com

\*\* Dinu Comănescu, conferențiar univ. dr. ing., Universitatea POLITEHNICA București, Catedra de Mecanică Fină, București, Splaiul Independenței nr.313, tel. 021 316 95 84, 0744 580 541, e-mail: dinucomanescu@yahoo.com

\*\*\* Adriana Comănescu, profesor univ. dr. ing., Universitatea POLITEHNICA București, Catedra de Teoria Mecanismelor și a Roboților, București, Splaiul Independenței nr.313, tel.021 402 9 632, 021 316 95 84, e-mail: adrianacomanescu@yahoo.com

## ACHIZIȚIA ȘI PRELUCRAREA DATELOR MĂSURATE LA INTERACȚIUNEA SENZOR-SUPRAFAȚĂ AL DIVERSELOR SUPRAFEȚE

ENE Viorel,\*  
BENȚA Marius Dan\*\*

### **Abstract:**

*Prezentul articol tratează problema achiziției și prelucrării datelor la interacțiunea senzor –suprafață al unor suprafețe.*

*S-a optat pentru o soluție tehnologică cu senzor piezo – electric, deoarece la ora actuală există un volum considerabil de date experimentale privind folosirea senzorilor la tehnologii ale materialelor feromagnetice; tehnologii ale materialelor piezo – ceramice; tehnologii ale microelectronicii și microsistemelor, tehnologii ale straturilor subțiri, tehnologii ale straturilor groase; tehnologii pentru materialele sinterizate, tehnologii ale filmelor subțiri.*

### Efectul piezoelectric [1]

Frații Pierre și Jaques Curie au observat în anul 1880 apariția sarcinilor electrice pe fața anumitor cristale ( cuarț, SiO<sub>2</sub> cristalin) supuse solicitărilor mecanice (presiune, deformare). Descoperirea efectului piezoelectric a fost precedată și chiar favorizată de efectul piroelectric, cunoscut încă din secolul al-XVII-lea, la cristalul de turmalină.

Piezoelectricitatea apare numai în anumite materiale izolatoare și se manifestă prin apariția sarcinilor electrice pe suprafețele unui monocristal care este deformat mecanic, ca în fig. 1.



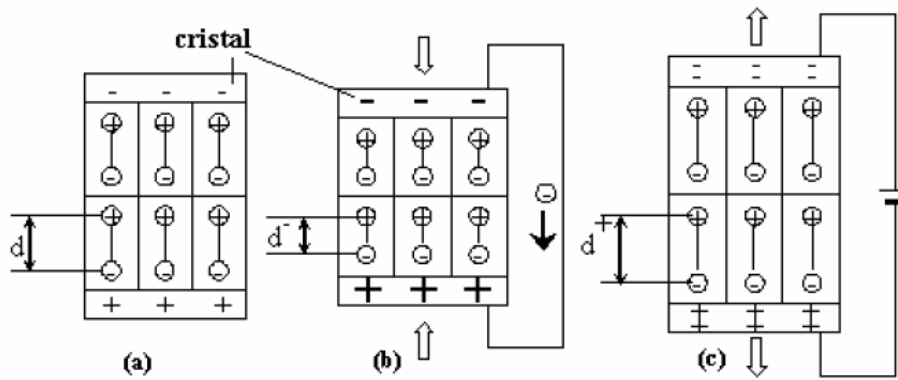


Fig. 1 Ilustrare schematică a efectului piezoelectric: (a) în stare inițială; (b) generarea curentului electric prin comprimare (efect piezoelectric direct); (c) dilatare la aplicarea curentului electric (efect piezoelectric invers) .

Prin aplicarea tensiunii mecanice, se produce o separare a centrelor de greutate a sarcinilor electrice, negative și pozitive, ceea ce dă naștere unui dipol electric, caracterizat printr-un moment electric dipolar.

În efectul piezoelectric direct aplicarea unei tensiuni mecanice conduce la redistribuirea sarcinilor electrice în volum, rezultând o polarizare electrică volumică și implicit o sarcină electrică indusă pe suprafață.

Efectul piezoelectric invers este produs prin aplicarea unui câmp electric cristalului, având ca rezultat deformarea cristalului sau apariția unei forțe (cauza este electrică, efectul este mecanic).

Dintre cele 32 de clase de cristale existente numai 20 pot prezenta efect piezoelectric. Majoritatea materialelor piezoelectrice importante sunt și feroelectrice. Materialele feroelectrice prezintă o fază de înaltă simetrie cristalină care apare deasupra unei temperaturi critice (temperatură Curie = TC) și care nu se poate polariza spontan. Faza de la temperatură scăzută prezintă în general efect piezoelectric. După descoperirea piezoelectricității, s-a considerat multă vreme că efectul piezoelectric este limitat doar la monocristale, deoarece materialele policristaline au grăunți orientați în mod întâmplător, astfel încât efectele lor se anulează reciproc, rezultând un efect global nul. În deceniul al-V-lea al secolului XX s-au descoperit materialele piezoceramice, cu constante dielectrice,  $K'$ , foarte ridicate. Constanta dielectrică este definită drept raportul dintre permitivitatea electrică a dielectricului respectiv ( $\epsilon$ ) și cea a vidului ( $\epsilon_0$ ):

$$k' = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1)$$

în care:

$$\epsilon_0 = 8,84 * 10 \text{ C}^2/\text{N} * \text{m}^2. \quad (2)$$

Aplicând o sarcină electrică materialului, se induce o stare mecanică de tensiuni și deformații, fenomenul fiind cunoscut ca efect piezoelectric de conversie.

Ambele efecte sunt interesante din punctul de vedere al controlului structural, efectul direct fiind util în cazul senzorilor din cadrul unui lanț de control, iar cel de conversie poate fi utilizat pentru generarea forțelor de control. Fig. 2 se arată modul de comportare al unui material piezoelectric la dezvoltarea forțelor de control. Aplicând o tensiune electrică  $V$  în direcția  $Z$  apar deformațiile  $\epsilon_x$  și  $\epsilon_y$ , respectiv tensiunile normale de întindere  $\sigma_x$  și  $\sigma_y$ , după



direcția lui X și Y. Modul de comportare contrar apare când materialul este sollicitat în planul X-Y.

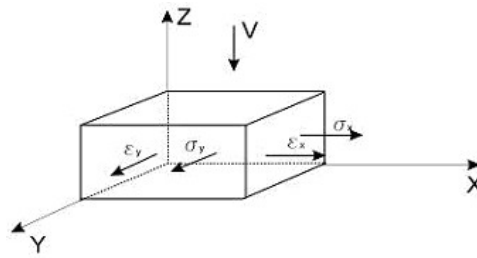


Fig. 2 Efectul electro-mecanic al unui material piezoelectric

Aplicațiile acestor materiale au început la controlul sistemelor aerospațiale și au continuat în robotică, micro-mecanica sistemelor și la elementele structurale de tipul grinzilor, plăcilor, grinzilor cu zăbrele sau la structurile cu pânze subțiri.

Există două tipuri principale de materiale piezoelectrice, ceramice și polimerice. Cele mai multe materiale ceramice piezoelectrice sunt pe bază de zirconat de titanu, alcătuind așa numita familie a PZT. Sunt utilizabile ca senzori de deformare (mai ales ca detectori acustici) și surse mecanice (ca actuatori piezoelectrice), în controlul deplasărilor și a surselor acustice aeriene (sisteme de înaltă frecvență până la  $10^6$  Hz). Datorită impedenței mecanice foarte mare, pentru anumite câmpuri de deplasări sensibilitatea lor este redusă. Prin combinarea cu alte materiale, de obicei polimeri, se realizează compozitele piezoelectrice în scopul amortizării impedenței și sensibilității câmpului de distribuție a deformațiilor.

Materiale cu activitate piezoelectrică de mare capacitate se pot modela ușor în timpul preparării în diferite forme, din care plăcile, straturile laminate compozite și cilindrii cu goluri sunt cele mai importante.

În fig. 3 sunt ilustrați actuatori liniari piezoelectrice de diferite mărimi, construiți pe baza PZT, aceștia putând dezvolta forțe de control până la 30 kN, timpul de răspuns fiind de câteva milisecunde. Acest tip de actuator este alcătuit dintr-un compozit sandwich realizat prin combinarea de plăci PZT așezate vertical și rășini epoxidice, și care se introduce într-o carcasă cilindrică la care se atașează conectori de curent. În funcție de forța dezvoltată între 2,8-30 kN, diametrul variază între 2-25 cm, iar lungimea între 7-80 cm.

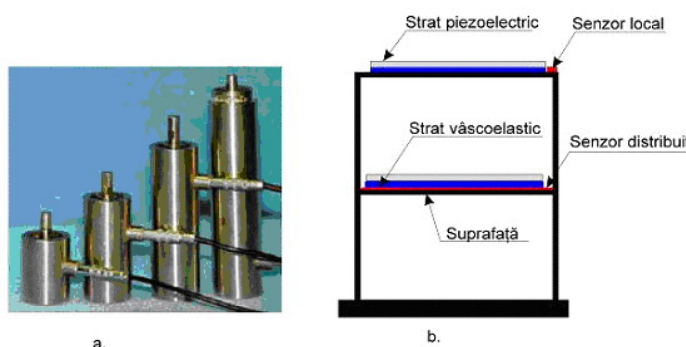


Fig. 3 Actuatori piezoelectrice

Efectul piezoelectric stabilește o relație între:

- **mărimile mecanice**

- deformarea relativă  $S = s/l$  ,  $[S]_{SI} = m/m$  (3)

unde :  $s$  = elongație și  $l$  = lungime inițială ;

- tensiune mecanică  $T = F/A$  ,  $[T]_{SI} = N/m^2$  , (4)

unde  $F$  = forța și  $A$  = suprafața;

➤ **mărimile electrice**

- intensitatea câmpului electric  $E = U/l$  ,  $[E]_{SI} = V/m$  (5)

unde  $U$  = diferența de potențial și  $l$  = distanța dintre armături;

- polarizarea electrică  $P = Q/A$  ,  $[P]_{SI} = C/m^2$  , (6)

unde  $Q$ =sarcina electrică și  $A$  = suprafața;

Mărimile mecanice sunt legate între ele de legea lui Hooke:

$$T = Y \cdot S \quad (7)$$

unde  $Y$  este modulul de elasticitate al lui Young, iar mărimile electrice satisfac relația:

$$D = \varepsilon \cdot E = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E = \varepsilon_0 \cdot E + P \quad (8)$$

unde  $D$  este inducția electrică,  $\varepsilon$  permitivitatea electrică a materialului,  $\varepsilon_0$  permitivitatea vidului, iar  $\varepsilon_r$  permitivitatea relativă.



Fig. 4 Selecție dintr-o mulțime de elemente piezo, cu adeziv folosit pentru unirea straturilor [ 31]

Avantaje oferite de elementele piezo:

- Rezoluție subnanometrică;
- Generare de forță foarte mare (până la 50.000 N și mai mult);
- Răspuns în domeniul microsecundelor;
- Fără joc sau frecare;
- Imunitate la câmpuri magnetice;
- Putere de consum scăzută în regim staționar;
- Compatibilitate cu vid;
- Posibilitate de operare cu temperatură criogenică;

Aplicații ale elementelor piezo:

**Știință, Medicină, Biologie**

Scanare microscopică, manipulare genetică, micromanipulare , penetrare celulară, microdispersie;

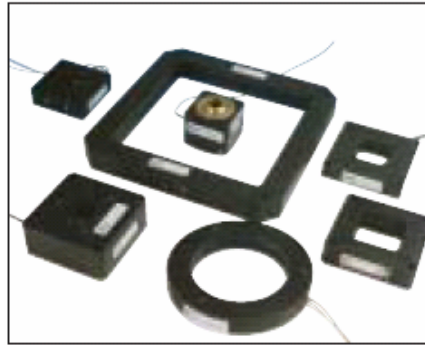


Fig. 5 Selecție din sisteme piezo nanopozitionate

**Semiconductori, Microelectronice**

Nanometrologie, măsurarea dimensiunilor critice, microlitografie, verificarea sistemelor, neutralizarea vibrațiilor;

**Mecanică Precisă și Inginerie Mecanică**

Neutralizarea vibrațiilor, rapiditatea servomecanismelor, găurire necirculară, foraj, rotații, structuri aspre/deformare structurală, corectarea uzării, acțiunea acului obturator (vână inelară), micropompe, acțiuni ale motoarelor liniar-piezoelectrice, controlul muchiei tăietoare în instrumentele de execuție, microgravarea sistemelor, generarea undelor de șoc;

**Optică, Fibre optice și Metrologie**

Întreruperea și legarea fibrei optice, stabilizarea imaginii, optică adaptativă, scanarea microscopică, sisteme auto-centrate nano, interferometrie, sisteme optice active și adaptive, reglaj laser, generare vibrații;

Concluzii:

Piezoelectricitatea apare numai în anumite materiale izolatoare și se manifestă prin apariția sarcinilor electrice pe suprafețele unui monocristal care este deformat mecanic.

În efectul piezoelectric direct aplicarea unei tensiuni mecanice conduce la redistribuirea sarcinilor electrice în volum, rezultând o polarizare electrică volumică și implicit o sarcină electrică indusă pe suprafață.

Efectul piezoelectric invers este produs prin aplicarea unui câmp electric cristalului, având ca rezultat deformarea cristalului sau apariția unei forțe (cauza este electrică, efectul este mecanic).

Există două tipuri principale de materiale piezoelectrice, ceramice și polimerice.

Cele mai multe materiale ceramice piezoelectrice sunt pe bază de zirconat de titaniu, alcătuind așa numita familie a PZT. Sunt utilizabile ca senzori de deformare (mai ales ca detectori acustici) și surse mecanice (ca actuatori piezoelectrice), în controlul deplasărilor și a

surselor acustice aeriene (sisteme de înaltă frecvență până la  $10^6$  Hz). Datorită impedanței mecanice foarte mare, pentru anumite câmpuri de deplasări sensibilitatea lor este redusă.

Bibliografie:

- [1] BARLEA Nicolae-Marius, Fizica senzorilor; Cluj-Napoca: Editura Albastră, 2000;
- [2] VASIU Dan, ROȘCA Ileana, OLTEANU Ciprian, Senzori și traductoare : Vol. I: Traductoare giroscopice; Brașov: Reprografia Universității Transilvania, 1994;
- [3] BUCȘAN Constantin, DEMIAN Traian, DUMITRU Adrian, Senzori și traductoare pentru roboți; Medro, 1996;
- [4] PANTELIMON Brândușa, ILIESCU Constantin, ANGHEL Florin; Senzori și traductoare: Experimentări/ București: Tritonic, 1995;
- [5] AGOSTON Katalin, Senzori și traductoare: Îndrumar de laborator, Targu-Mures: Universitatea „Petru Maior”, 2005;
- [6] AGOSTON Katalin, Senzori și traductoare: Note de curs, Targu-Mureș: Universitatea „Petru Maior”, 2001;
- [7] STROE Ioan, Senzori și traductoare: Brașov: Universitatea "Transilvania" din Brașov, 2000;
- [8] TODOS Petru, GOLOVANOV Carmen; Senzori și traductoare: Chișinau: Editura Tehnica-Info, 1998.

---

\*Ene Viorel – Prof. Dr. ing. Universitatea “Transilvania” din Brașov

\*\*Bența Marius Dan – Drd. ing. Universitatea “Transilvania” din Brașov, [mariusbenta@yahoo.com](mailto:mariusbenta@yahoo.com)

## METODE DE MĂSURARE A DIFERITELOR SUPRAFETE PRIN INTERACȚIUNI DE TIP AFM

Csilla FARKAS \*  
Marius Dan BENȚA \* \*  
Cătălin PLOSCARIU \*\*\*

Abstract:

*Prezentul articol prezintă diferite metode prin care se pot investiga topografia diferitelor suprafețe aplicând tehnologia de tip AFM (Microscopia de Forță Atomică).*

*Metoda AFM ne permite studiul atât al suprafețelor conductoare, cât și al celor izolante putându-se obține imagini de o rezoluție foarte bună.*

*AFM-ul încorporează o serie de îmbunătățiri care îi permit să atingă scara atomică: detecție sensibilă, vârfuri ascuțite, poziționare de mare precizie a vârfului pe eșantion și feedback.*

Microscopia bazată pe forțe atomice are la bază legea lui Hooke [6]. În AFM o pârghie flexibilă cu un vârf ascuțit la un capăt scanează pe planul XY și detectează interacțiunea forțelor dintre vârf și eșantion. O rază de laser concentrată în spatele pârghiei și o fotodiodă sunt utilizate pentru detectarea mișcării pârghiei. Schimbările în deflexie în timpul unui minut pot fi cauzate de variația de forțe care acționează pe axul vârfului și pe eșantion care sunt detectate cu o diodă fotodetectoare. Sunt folosite semnale electrice care vin de la fotodiodă pentru măsurarea forțelor apărute în timpul scanării pe axa Z [8]. În general se colectează două feluri de informații, topografia și forțele laterale (frecarea laterală). Topologia eșantionului reflectă corugarea vârfului pe suprafața corespunzătoare cu schimbarea mișcării pe axa z a pârghiei. Aplicând curent alternativ, voltaj alternativ piezoceramicii AFM-ul poate fi folosit și în modul mandrină; alte moduri de scanare sunt schimbarea de fază, frecvența, rezonanța, amplitudinea care monitorizate pot să formeze o imagine 3D [2,1].

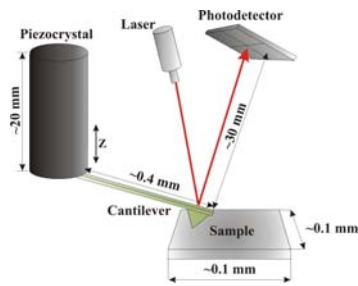


Fig. 1 Principil AFM-ului

### Interacțiunea vârf – eșantion

Există mai multe feluri prin care se poate obține contrastul imaginii. Trei clase principale ale interacțiunii sunt modul de contact, modul cu mandrină și modul non-contact [5].

**Modul de contact** este cea mai întâlnită operație a AFM-ului. Vârful rămâne în contact cu eșantionul în timpul scanării. Prin contact se înțelege în regimul repulsiv al forței intermoleculare a curbei. Regiunea repulsivă a curbei este deasupra axei X.

**Operațiunile Non contact** sunt o altă metodă care poate fi folosită de către AFM.

Vârful canteliverului trebuie să oșcileze asupra suprafeței de eșantionare ne fiind în regimul repulsiv al curbei intermoleculare. Această metodă este greu de utilizat în condiții normale ambientale de către AFM deoarece apar erorile provenite de la mediul inconjurător. Până și un strat foarte subțire de apă între vârf și eșantion poate să provoace o sărire de contact (un fel de scurtcircuit) [6].

O geometrie diferită este posibil de obținut prin utilizarea microscopelor care folosesc forța de tăiere, de forfecare.

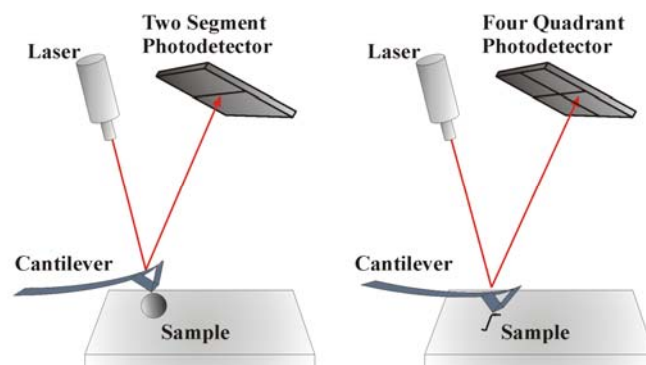


Fig. 2. AFM-urile pot să măsoare elasticitatea prin apăsarea cu vârful pe eșantion și măsurarea parghiei optice.

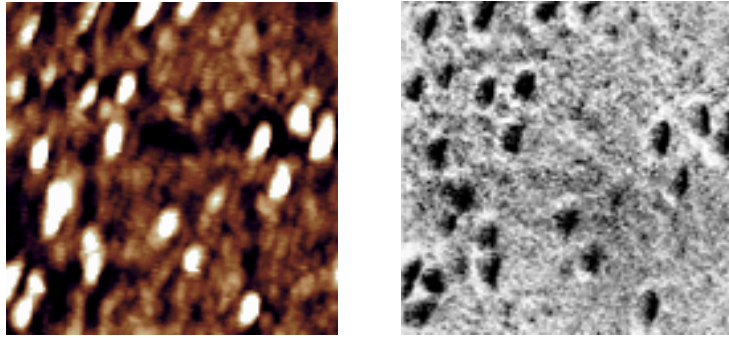


Fig. 3. 1 x 1 μm aici se poate vedea obținerea simultană a topografiei (stanga) și a elasticității(dreapta).

Măsurarea forțelor - Forța este calculată măsurând deflexia pârghiei și știind rigiditatea ei. Hook's ne dă  $F = -kz$ , unde F e forța, k coeficientul de rigiditate al pârghiei și z distanța de indoire a pârghiei.

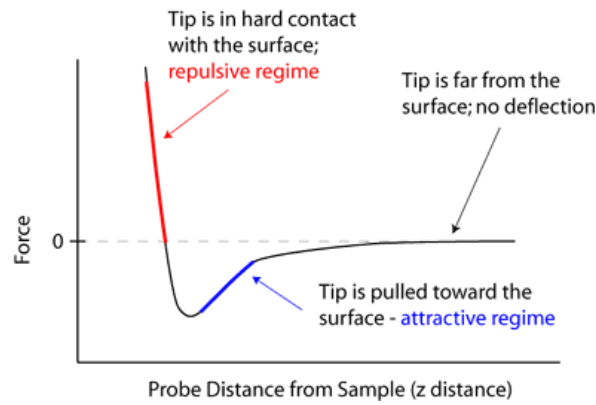
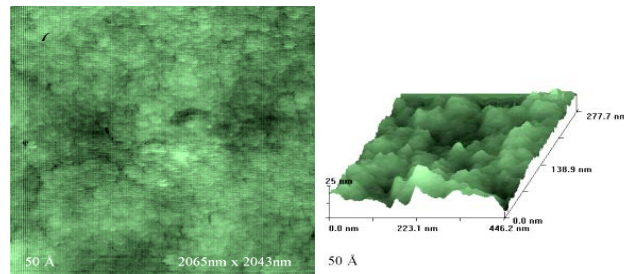


Fig. 4 influența forțelor

Forța de tip menisc este o influență importantă în interacțiunea vârf-șantion când imaginea se efectuează în aer. [9]

Imagini AFM:



(a)

(b)

Fig. 5 imagini AFM pentru un strat Si/SiO<sub>2</sub>/Py(5 nm); (a) suprafața probei; (b) aspectul tridimensional al suprafeței probei [9]

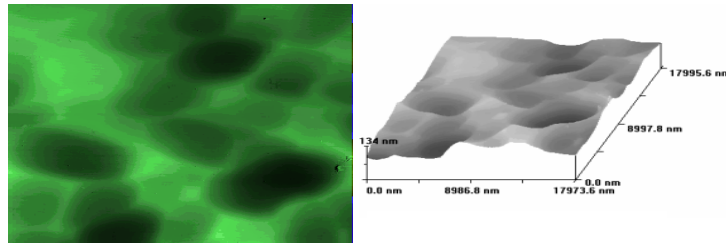
Suprafața scanată 2065x2043 nm<sup>2</sup>



Valoarea maximă a rugozității: 10,7 nm

Valoarea pătratică medie a denivelărilor (rms): 1,096 nm

Valoarea medie a rugozității: 0,88 nm



(a)

(b)

Fig. 6 imagini AFM pentru un strat Si/SiO<sub>2</sub>/Py(100 nm); (a) suprafața probei; (b) aspectul tridimensional al suprafeței probei [9]

Suprafața scanată 17974x17996 nm<sup>2</sup>

Valoarea maximă a rugozității: 133,59 nm

Valoarea pătratică medie a denivelărilor (rms): 15,25 nm

Valoarea medie a rugozității: 12,84 nm

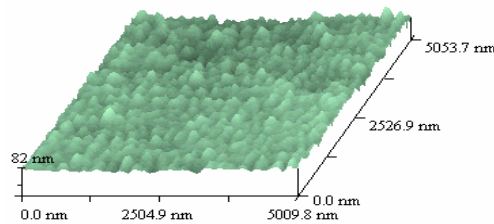


Fig. 7 imagine AFM-3D a suprafeței unui ML Si/SiO<sub>2</sub>/[Py(10 nm)/Cu(4 nm)]<sub>9</sub>- Py(10 nm) depus prin pulverizare magnetron r.f. [9]

Valoarea medie a rugozității suprafeței: 6,43 nm

Mixturi colisionale - regiuni mixte Py-Cu la interfețe

- grosimea efectivă a stratului magnetic micșorată

Medii de măsurare în cazul diferitelor tehnologii de investigare

	air	fluid	vacuum	Special gas
AFM				
TEM				
OPTICAL				
SEM				

Fig. 8 Medii de aplicare

Domenii de măsurare asupra unor tehnologii de investigare al unor suprafețe metalice:

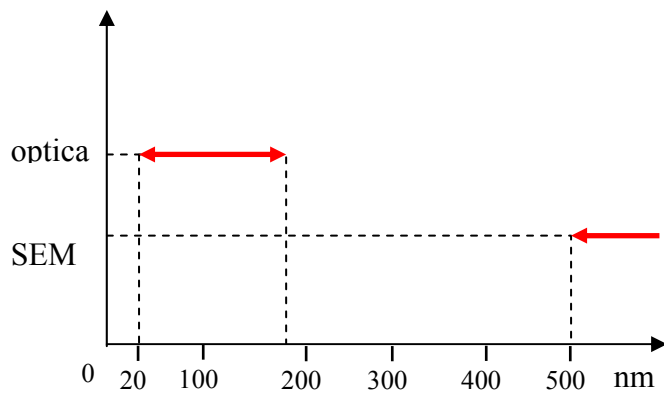


Fig. 9 Domeniul de măsurare pentru SEM și Optical

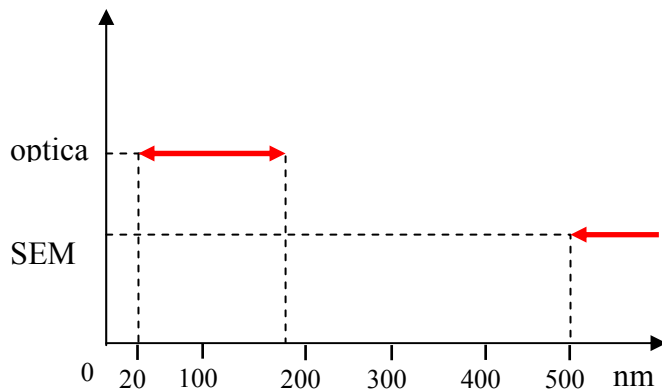


Fig. 10 Domeniul de măsurare pentru AFM și TEM

Concluzii:

Microscopia bazată pe forțe atomice are la bază legea lui Hooke. În AFM o pârghie flexibilă cu un vârf ascuțit la un capăt scanează pe planul XY și detectează interacțiunea forțelor dintre vârf și eșantion. Aplicând curent alternativ, voltaj alternativ piezoceramicii AFM-ul poate fi folosit și în modul mandrină; alte moduri de scanare sunt schimbarea de fază, frecvența, rezonanța, amplitudinea care monitorizate pot să formeze o imagine 3D.

References:

1. R. Wiesendanger, Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy, Cambridge University Press, Cambridge 1994;
2. D. Sarid, Scanning Force Microscopy, Oxford Series in Optical and Imaging Sciences, Oxford University Press, New York 1991;
3. W. Cross SPM – Scanning Probe Microscopy Website;
4. F. Giessibl, Advances in Atomic Force Microscopy, Reviews of Modern Physics 949-983 2003;
5. P. M. Hoffmann, A. Oral, R.A. Grimbale, H. O. Ozer, S. Jeffery, J.B. Pethica, Proc. Royal Soc. 2001;
6. Binnig, G., Quate, C.F., and Gerber, Ch. (1986) Atomic force microscope. Phys. Rev. Lett. 56(9), 930-933

7. Meyer, G. and Amer, N.M. (1988) Novel optical approach to atomic force microscopy. Appl. Phys. Lett. 53(12), 1045-1047
8. Binnig, G., Quate, C.F., and Gerber, Ch. (1986) Atomic force microscope. Phys. Rev. Lett. 56(9), 930-933
9. [www. agilent/find/afm](http://www.agilent/find/afm)

---

\*Farkas Csilla – student Universitatea “Transilvania” din Braşov

\*\*BeŃa Marius Dan – Drd. ing. Universitatea “Transilvania” din Braşov

\*\*\*Ploscariu Cătălin – Drd. ing. Universitatea “Transilvania” din Braşov

## **THE PROTECTION OF CARDS USING BIOMETRIC AND PKI TECHNOLOGIES**

Dan FILIP \*  
Marilena LAZĂR \*\*

### *Abstract:*

*In everyday life we use more and more identity devices (smart cards and other tokens) for different purposes (e-commerce, securing medical records, network identification, online banking) so it became necessary to find a secure form of identification between human strangers, or identification of persons by machines. With no reliable mechanism to confirm any connection between an identity device and its holder, this could be used by another person or worst could be deliberately falsified. To enhance the security of those devices could be used a system that combines biometric technology and PKI.*

*The biometric characteristic tell the security system that an individual who is in possession of the card is really the owner of the card (provide "real" person identification). Public Key Infrastructure, PKI, comprises all necessary functions to achieve nonrepudiation, encryption, digital signing and strong authentication PKI.*

*So the biometric template stored in the smart card validate the user to the card and the private key is used to create a digital signature which sign the "card" (secure the card against falsification).*

*Thus, adding biometric recognition capability to the existing smart card/PKI system can be the best solution to secure a smart card.*

### **I. Introduction**

This paper presents a cryptographically secure identity certification system. This is a modified ID which contain the photo of the pretended person, an arbitrary textual message, and a 2D color bar-code which encodes an RSA signature of the message hash and the compressed representation of the face encompassed by the photo.

The signature is created using the private key of the party issuing the ID. Verification is performed by a simple, intelligent, and off-line scanning device that contains the public key of the issuer. Unlike typical identification methods, which require a person to have something--an identification card, a personal identification number (PIN), or password--biometric information is part of a person. Since biometrics are so closely bound to a person, they are thought to be more reliable and not easily forgotten, lost, stolen, falsified, or guessed. This is because a biometric identifier relies on unique biological information about a person.

Since 2001, there has been a great deal of interest in using biometrics for verification of identity. The interest is particularly acute in the areas of visa and immigration documentation and government-issued identification card programs.

Biometric passports must be interoperable, which means that data must be written on the smart card (chip) in such a way that they can be read by the border authority of any foreign country, regardless of what hardware and software is used at their border crossing points. In order to ensure interoperability, the contents of the data on the chip are strictly defined. Only the data that are also visibly printed in the passport (personal name, nationality, birth date, gender, country of issue, passport number and expiry date) are stored on the chip, as well as the photograph that is in the passport. An european biometric pasport example is presented in the Figure 2.

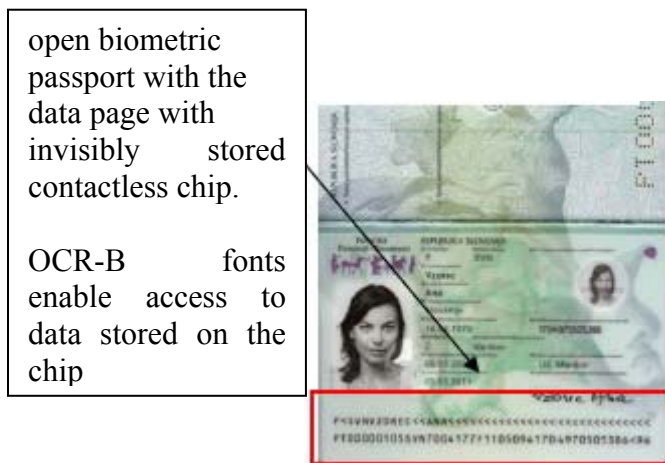


Figure 1: European biometric passport example

The citizens' fears that their data stored on the chip might be read by unauthorised persons if they carry the passport in their handbag or their pocket is ungrounded, as the chip will be locked. Only authorised persons will be able to read the data by unlocking the chip with a special device through the OCR-B text, which will be done by physically placing the passport's data page on the text reader.

During the personalisation of the passport and the chip, data will be protected and encrypted with Public Key Infrastructure (PKI), making the holder of a biometric passport free from risk of changing, deleting or abuse of data.

So commonly a typical identity card such as a passport or an ID card it has printed an arbitrary message, a personal portrait photo and one or more features whose purpose is to guarantee authenticity of document.

There are a set of procedures to assure the authenticity of such documents such as holograms, micro-printing, special print paper, but modern printing technologies have made high-quality printing devices quite inexpensive. The availability of such printers has rendered forging most personal ID documents a relatively simple task with results often perceptually comparable to the originals.

On the other hand, authenticating the stored photograph and the textual message can be made highly reliable using the combined technology of face recognition and public cryptography. Typically, the stored photograph and the textual message are hashed and then signed using the private key of the user at enrolment.

Authentication is performed using the public key of the user by a verification device, which also must display the signed data.

## II. System description

The system which we present has some advantages towards previous presented system. This system is a cryptographically secure, identity certification system. It relies on symmetric and on public-key cryptography for security. The system is illustrated using Figure 2.

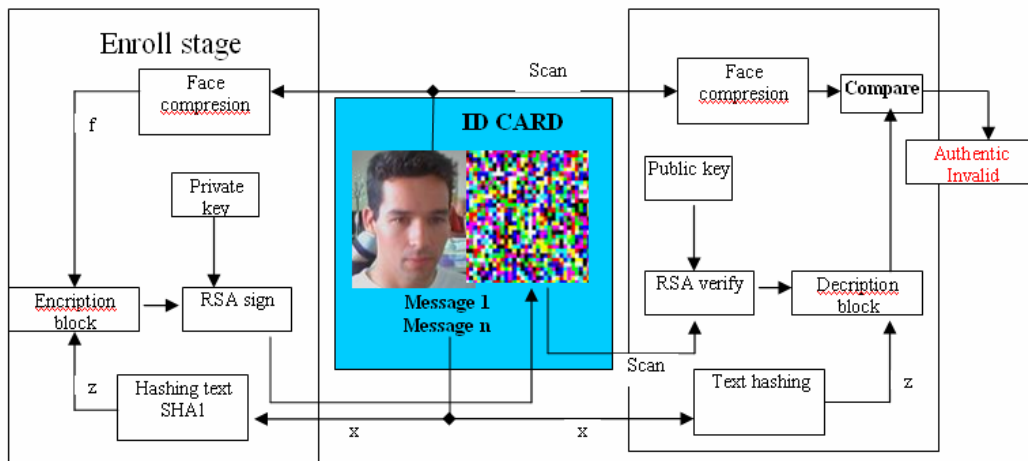


Figure 2. Functional block diagram

Information that is certified is both photographic and textual. The digital photo (is a front face view) and the textual data which is printed on ID can be of arbitrary length.

First the textual data is passed through a cryptographic hash function such as FIPS approved SHA 1. Consider  $x$  the text message and  $z=h(x)$  the resulting 160-bit hash. Facial features on the photo are compressed using an algorithm that identifies the facial structure and compresses its features. We use PCA algorithm for face compression.

Compression quality affects system performance for two main reasons: first, to impose low likelihood of a false negative or positive during detection and second, to set the level of

detail to which an adversary, whose photo has not been taken for the ID, must resemble the facial features of the person on the authentic face.

Consider  $f$  a vector of weights that describe the projection of the original face into the face space. Messages  $f$  and  $z$  are merged into a message  $m$  using a reversible operator such as stream encryption, where message  $m$  is resulted encrypted using  $z$  as a key for  $f$ .

Note that the purpose of using an encryption function is not related to security, it is rather a way to make the final message  $m$  dependant upon  $f$ .

Then,  $m$  is divided into 1023-bit parts, where each of them is signed with the private 1024-bit RSA-key. The signature is encoded and printed as a 2D bar-code onto the ID.

At verification the verifier scans all three printed components: the photo, the text, and the bar-code. The bar-code is decoded into the originally printed signature.

The scanned textual data is also converted into a text-string using reliable optical character recognition. Next, after encrypting the signature with the public RSA key of the issuer, the verifier obtains the signed message  $m$ .

After the verifier hashes the text to obtain  $z$ , it decript  $m$  using  $z$  as key. Then, the verifier decompresses  $f$  into a subimage of the original photo that contains the facial features.

Finally, the verifier quantifies the level of similarity between the decompressed and scanned face. If the two images are similar within the maximum tolerable compression-prints can noise, only then the verifier reports an authentic ID.

The security of system stems from the fact that changing a single bit of the textual message or altering the photo beyond the compression-print-scan noise causes a global change in the bar-code that appears to be random without the knowledge of the issuer's private key.

## References

- [1] Cryptographically secure identity certificates, *Darko Kirovski and Nebojsa Joji'c*, 2004
- [2] Eigenfaces for recognition, Matthew Alan Turk and Alex Pentland, 2004
- [3] R.L. Rivest, et al. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *CACM*, vol.21, no.2, pp.120–6, 1978.
- [4] A.J. Menezes, et al. *Applied Cryptography*. CRC Press, 1996.
- [5] P. Viola et al. A unified framework for face detection and recognition. *Learning workshop, Snowbird*, 2002.
- [6] L. O'Gorman, I. Rabinovich. Secure identification documents via pattern recognition and public-key crypto. *PAMI*, pp.1097–102, 1998.

---

\* Dan Filip, researcher, METRA București, e-mail: danmihai@email.ro

\*\* Marilena Lazăr, researcher, METRA București, e-mail: mnvlazar@yahoo.com



## APLICAȚIILE LEVITAȚIEI MAGNETICE ÎN TEHNICA MILITARĂ

Laurian GHERMAN \*

*Abstract: This paper describes a device capable of throwing metal rings. The apparatus was invented by the American engineer and inventor Elihu Thompson (1853–1937) to demonstrate his pioneering research in alternating current and high frequency. It is possible to transform this apparatus into powerful electromagnetic gun different by railgun and coilgun.*

Este posibilă obținerea levitației magnetice cu ajutorul câmpului magnetic oscilant. Acest fenomen se bazează pe inducerea curenților turbionari într-un conductor aflat într-un câmp magnetic oscilant. Câmpul magnetic oscilant poate fi obținut prin două metode. Prima metodă constă în deplasarea unui conductor într-un câmp magnetic constant în timp. Această metodă este utilizată practic în contoarele de energie electrică unde un disc de aluminiu este rotit într-un câmp magnetic constant generat de un magnet permanent. Curenții turbionari induși în discul de aluminiu frânează mișcarea de rotație a acestuia. Cu cât viteza de rotație a acestuia este mai mare, curenții turbionari sunt mai mari iar forțele care se opun mișcării sunt mai mari.

A doua metodă de obținere a câmpurilor magnetice oscilatorii constă în utilizarea unei bobine alimentată în curent alternativ. Prin plasarea unui conductor în câmpul magnetic generat de bobină, în acesta se induc curenți turbionari. Aceștia creează un câmp magnetic care se opune câmpului magnetic generat de bobină.

Pentru demonstrarea acestui fenomen, inginerul și inventatorul american Elihu Thompson (1853–1937) a realizat un dispozitiv în anul 1887. Acesta era compus dintr-o bobină alimentată în curent alternativ, un miez feromagnetic precum și un conductor sub formă de inel dispus deasupra bobinei ca în figura 1.

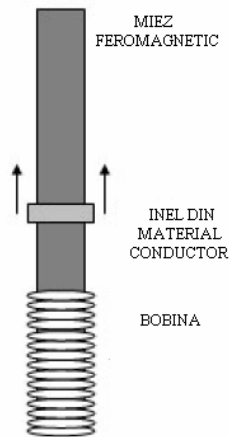


Fig. 1 Dispozitivul inventat de Elihu Thomson în 1887

Acest dispozitiv este folosit astăzi în scop didactic pentru demonstrarea levitației magnetice. Dar acest dispozitiv poate fi folosit atât pentru menținerea inelului în levitație deasupra bobinei cât și pentru aruncarea acestuia. Lucrarea aceasta se referă la două proprietăți ale dispozitivului, aceea de a arunca inelul, ceea ce îl face un posibil candidat pentru utilizarea lui ca și tun electromagnetic.

Dar pentru a înțelege mai bine fenomenele care se produc în cazul aruncării inelului, fenomene care se produc într-un timp relativ scurt, voi prezenta modul cum acest dispozitiv menține în levitație magnetică inelul.

La alimentarea bobinei cu un curent alternativ aceasta produce un câmp magnetic oscilatoriu, polul nord și polul sud se schimbă în funcție de alternanța curentului. Pentru a crește inducția câmpului magnetic generat putem crește intensitatea curentului electric de alimentare, numărul de spire a bobinei sau înlocuirea aerului din interiorul bobinei cu un material feromagnetic conform relației  $B = \mu \frac{NI}{h}$

Unde

- B este inducția magnetică [T];
- $\mu$  este permeabilitatea relativă a miezului feromagnetic [H/m];
- N este numărul de spire;
- h este lungimea bobinei [m];
- I este intensitatea curentului electric [A].

Pentru bobine de lungimi mici se obțin câmpuri magnetice de inducție mare.

În figura 2 se prezintă câmpul magnetic generat de o bobină.

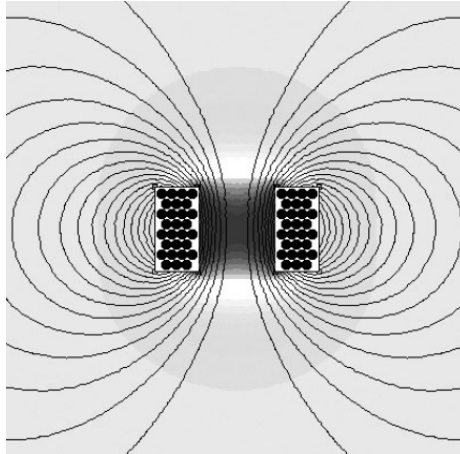


Fig. 2 Câmpul magnetic generat de un solenoid

Prin introducerea unui miez feromagnetic în interiorul bobinei, câmpul magnetic va avea forma prezentată în figura 3.

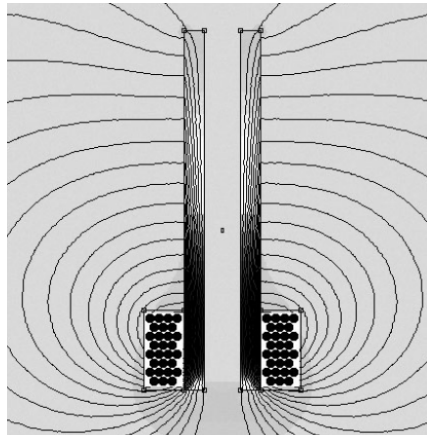


Fig. 3 Solenoid cu miez feromagnetic

Deoarece solenoidul este alimentat în curent alternativ, câmpul magnetic generat este oscilatoriu ceea ce determină inducerea unei tensiuni electromotoare în inel.

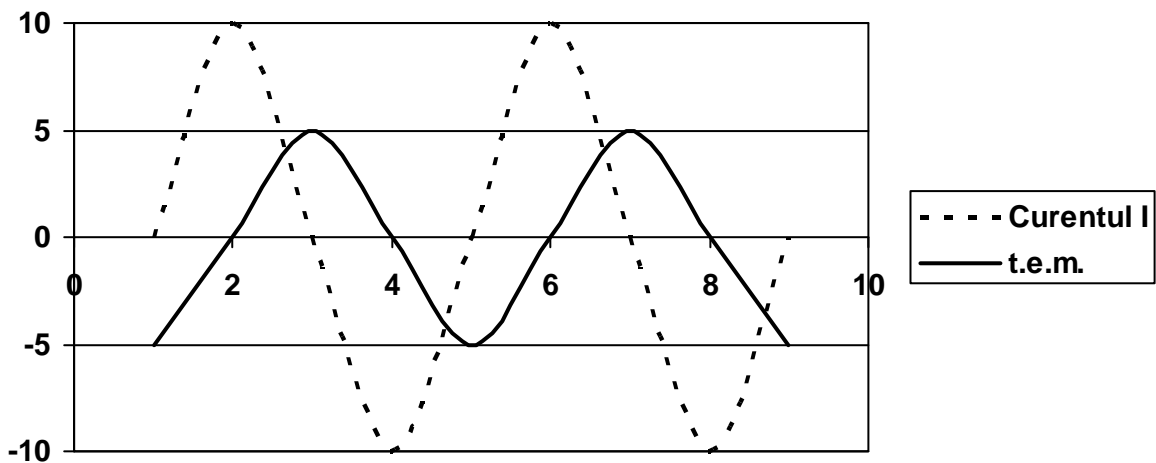


Fig. 3.4. Variația tensiunii electromotoare din inel în funcție de curentul I de alimentare a solenoidului

Se observă din figura 4 că tensiunea electromotoare indusă în inelul conductor se opune variației câmpului magnetic al solenoidului. Dar deoarece rezistența electrică a inelului este mică, pe circumferința acestuia ia naștere un curent. Acesta ar trebui să fie în opoziție de fază cu tensiunea electromotoare indusă ceea ce ar face ca jumătate de timp inelul să fie atras de bobină iar jumătate de timp acesta să fie respins de bobină. Aici intervine inductanța L a inelului care întârzie în timp curentul prin inel.

Pentru calculul defazajului în timp a curentului indus se utilizează relația:

$$\frac{\omega L}{R} = \operatorname{tg} \theta$$

Unde:

- $\omega$  este frecvența curentului [Hz];
- L este inductanța inelului [H];
- R este rezistența inelului [ $\Omega$ ];
- $\theta$  este defazajul curentului indus față de t.e.m.[grade].

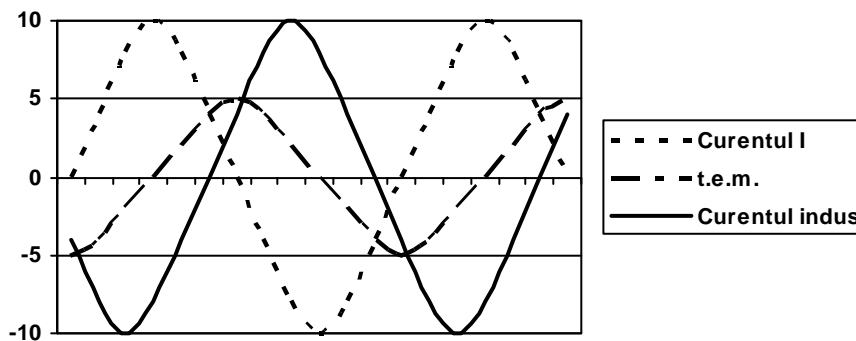


Fig. 5 Defazajul curentului indus față de t.e.m.

Se observă că pentru  $R=0$  (cazul materialelor supraconductoare),  $\theta=90^\circ$ , curentul indus în inel să fie în opoziție de fază față de curentul de alimentare a solenoidului. Acesta face ca cele două câmpuri magnetice cel inductor al solenoidului și cel indus al inelului să se respingă reciproc. Dar deoarece în cazul aluminiului rezistența electrică a acestuia nu este zero și unghiul de defazaj va fi mai mic de  $90^\circ$ . În figura 5 se prezintă defazajul dintre t.e.m și curentul indus. Se observă că pe unele porțiuni cele două câmpuri se atrag iar pe altele se resping. Și totuși inelul levitează. Aceasta datorită faptului că rezultanta celor două forțe (de atracție și de respingere) este o forță de respingere care reușește să învingă greutatea inelului.

Deoarece nu ne propunem utilizarea unor materiale supraconductoare pentru confecționarea inelului, datorită costurilor ridicate dar și condițiilor deosebite ce trebuie îndeplinite pentru menținerea stării de supraconductivitate, întotdeauna pentru orice material conductor cu  $R \neq 0$  avem un unghi de defazaj  $\theta < 90^\circ$ . În figura 6 am reprezentat doar zonele în care curentul indus creează un câmp magnetic ce se opune câmpului magnetic inductor.

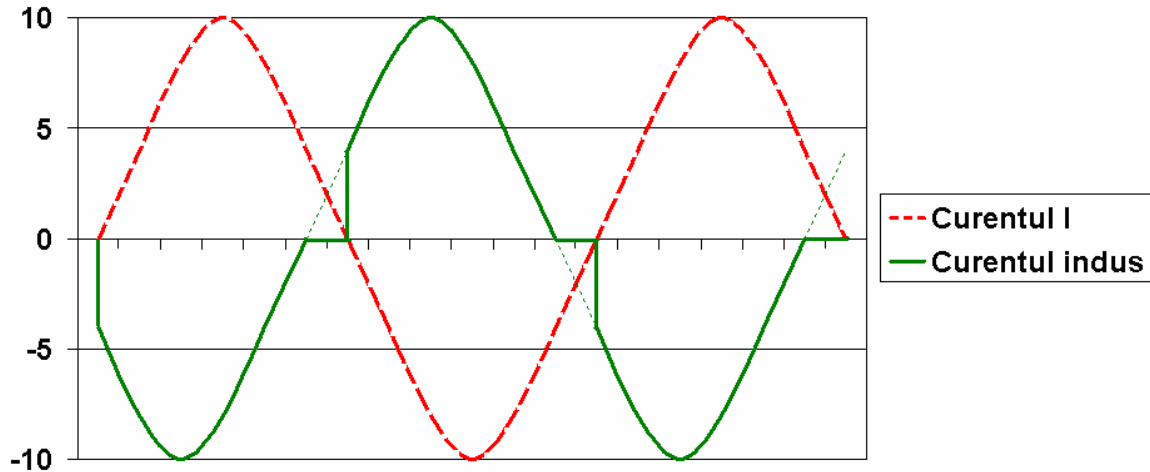


Fig. 6 Zonele de respingere dintre cele două câmpuri

Așa cum se poate observa din figura 6 zonele în care cele două câmpuri se resping sunt mai mari decât zonele în care cele două câmpuri magnetice se atrag. În acest fel inelul poate levita în câmpul oscilatoriu produs de solenoid.

Dar ne propunem să utilizăm acest dispozitiv pentru a arunca aceste inele ca o alternativă la dispozitivul de tip railgun. Pentru aceasta este nevoie ca solenoidul să fie alimentat cu un impuls de curent ca și în cazul dispozitivului railgun. Acest puls de curent poate fi produs cu ajutorul unei baterii de condensatoare sau cu ajutorul generatoarelor alternative de impulsuri. Desigur că aceste dispozitive de producere a impulsului de curent sunt destul de complicate dar și costisitoare în același timp.

Având în vedere aceste considerente, propun o nouă cale de abordare a acestei probleme. Dacă solenoidul este alimentat cu un curent alternativ de intensitate  $I$ , iar inelul de aluminiu este tăiat, atunci rezistența electrică a acestuia tinde la infinit ceea ce face ca să nu existe curenți induși în inel. În lipsa acestor curenți nu există un câmp magnetic de opoziție deci nu există nici levitație. Soluția propusă de mine constă în controlul acestor curenți induși în inel cu ajutorul unui tiristor bidirecțional.

Având în vedere că nu ne propunem să lansăm inele ci proiectile, atunci dispozitivul de comandă al tiristorului bidirecțional poate fi dispus în interiorul proiectilului. Tiristorul bidirecțional controlabil reprezintă un concept nou de tiristoare de mare putere montate în antiparalel în aceeași carcasă. În figura 7 este prezentat un astfel de tiristor.

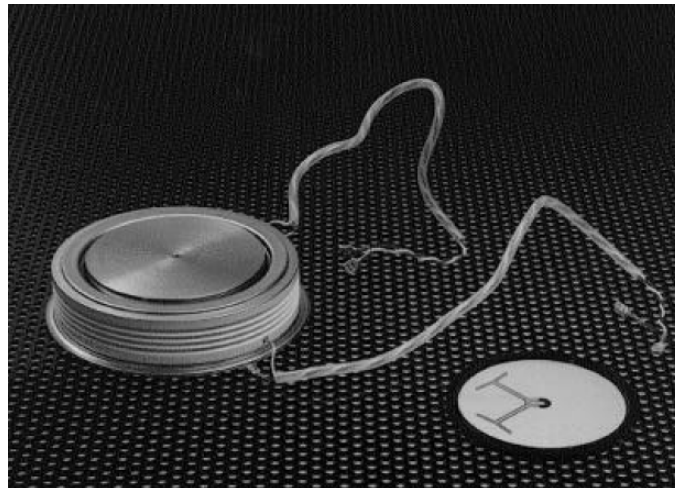


Fig. 7 Tiristor bidirecțional comandat

Cele două tiristoare funcționează complet independent atât în condiții statice cât și în regim dinamic. De asemenea datorită faptului că pot fi comandate se pot elimina zonele în care între solenoid și inel acționează forțe de atracție rezultând astfel o accelerare în impulsuri a inelului. Aplicațiile militare ale unui astfel de dispozitiv sunt remarcabile. Dacă în prezent se lucrează la un sistem care să combată rachetele balistice bazat în principal pe rachete dirijate, va fi foarte dificil de găsit o soluție împotriva unor proiectile ce se deplasează cu viteze de până la 5 mach.

În această configurație solenoidul poate fi alimentat permanent în curent alternativ astfel încât să obținem câmpuri magnetice foarte puternice, iar inelul poate fi lansat atunci când prin comanda tiristorului bidirecțional permitem curentului indus să circule pe circumferința inelului. Schema de comandă a tiristorului bidirecțional este una obișnuită în cazul tiristoarelor.

În cazul de față este necesară comanda tiristorului prin controlul fazei. Sistemul de comandă trebuie să îndeplinească anumite cerințe pentru asigurarea corectă a funcționării tiristorului:

- să asigure impulsuri de comandă cu amplitudine (tensiune și curent) corespunzătoare, pentru a realiza comanda sigură a elementelor de comutație;
- să permită modificarea unghiului de comandă;
- să asigure simetria impulsurilor.

În figura 8 se prezintă un circuit de comandă tipic, care permite definirea tensiunilor și curenților ce caracterizează modalitatea de comandă a tiristorului.

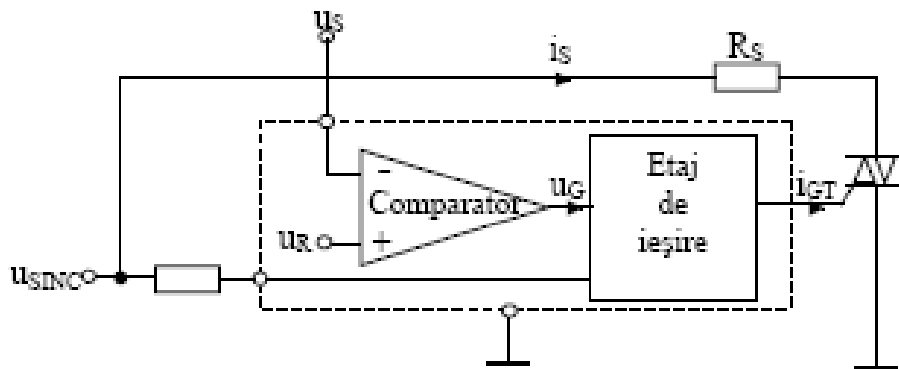


Fig. 8 Schema simplificată a unui circuit de comandă a tiristorului

- $U_S$  : tensiune proporțională cu puterea disipată în sarcină. Această tensiune servește și la realizarea unei bucle de reacție negativă necesare pentru stabilizarea valorii puterii disipate în sarcină.
- $U_R$  : tensiunea de referință cu care se compară tensiunea  $U_S$ ;
- $U_G$  : tensiunea de ieșire a etajului comparator (rezultatul comparării tensiunii  $U_S$  cu  $U_R$ );
- $U_{SINC}$  : tensiunea de sincronizare, de obicei tensiunea (alternativă a) rețelei de alimentare;
- $i_{GT}$  : pulsul de curent de amorsare care este validat sau nu de  $U_G$ .

Deși tiristoarele pot fi comandate atât simetric (unghiurile de comandă ale tiristoarelor sunt egale) cât și asimetric (unghiurile de comandă ale tiristoarelor sunt diferite) în cazul de față se utilizează comanda simetrică.

Formele de undă corespunzătoare comenzii prin controlul fazei sunt prezentate în figura 9.

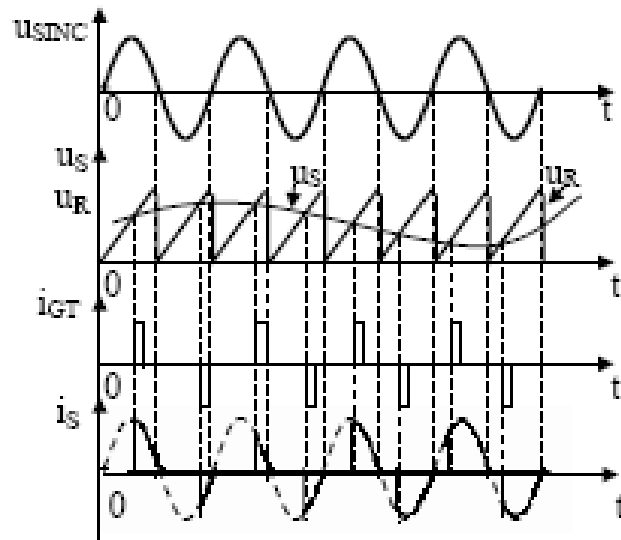


Fig. 9 Formele de undă caracteristice comenzii prin controlul fazei

Pentru a regla curentul prin inel astfel încât să avem conducție numai în zonele în care cele două câmpuri se resping este necesar să se întârzie comanda celor două tiristoare. Astfel se comandă momentul intrării în conducție a tiristoarelor, momentul de blocare al lor fiind realizat natural la căderea curentului la zero. Acest tip de comutație este ușor de realizat, nefiind necesare circuite auxiliare de comutație. Dificultatea este legată de dependența comenzii de caracteristicile sarcinii. În cazul de față sarcina este rezistiv-inductivă ca în figura 10.

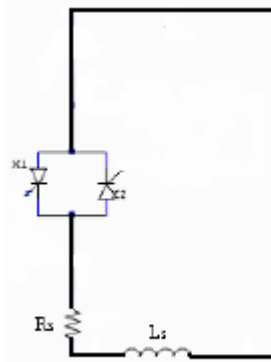


Fig. 10 Schema electrică a inelului

### Bibliografie

1. DAVID ALLAN ADAMS, U.S. Navy, Naval rail guns are revolutionary, 2003;
2. C. LAZU, V. CORLĂȚEANU – Mașini electrice, Ed. Didactică și Pedagogică 1962 vol. 1;
3. C. LAZU, V. CORLĂȚEANU – Mașini electrice, Ed. Didactică și Pedagogică 1962 vol. 2;
4. ION GHEORGHIU, ALEXANDRU FRANSUA – Tratat de mașini electrice, Ed. Academiei R.S.R. – 1968;
5. P. SONEA, AL. FRANSUA, A. NICOLAIDE, C. SAAL – Electrotehnică, mașini și instalații electrice, Ed. Didactică și Pedagogică – 1966;
6. YEADON, W.H.; YEADON, A.W- Handbook of Small Electric Motors, Ed. McGraw-Hill – 2001;



7. J. BACHKOSKY, D. KATZ, R. RUMPF, W. WELDON- Naval Electromagnetic (EM) Gun Technology Assessment- Naval Research Advisory Committee 2004;
8. VITOR MATOS, LUIS SILVA, JOÃO SENA ESTEVES- Induction Coil Gun - 3rd International Conference on Hands-on Science 2006;
9. Thyristor Theory and Design Considerations - Handbook - On Semiconductor- 2006
10. DANIEL VACHTL, DOBROSLAV KOVÁČ, DANIEL MAYER- Forces Calculation Method Of Thompson Levitating Ring During Its Non-Harmonic Feeding- Acta Electrotechnica et Informatica No. 2, Vol. 6, 2006
11. KENNETH M. THOMAS, BJÖRN BACKLUND, ORHAN TOKER, BJÖRN THORVALDSSON- The Bidirectional Control Thyristor (Bct)-1998
12. HARRY D. FAIR,- Progress in Electromagnetic Launch Science and Technology- Ieee Transactions On Magnetics, Vol. 43, No. 1, January 2007;

---

\* Laurian Gherman, Mr. ing. drd., Academia Forțelor Aeriene, Mihai Viteazu nr. 160, tel 0268 423421, e-mail: laurian.gherman@afahc.ro

## CONSIDERAȚII TEORETICE PRIVIND TUNUL ELECTROMAGNETIC

Laurian GHERMAN \*

*Abstract: The use of electromagnetic energy to launch and kinetic energy to achieve lethality affords the opportunity to entirely remove both propellants and explosives from the weapon system, significantly increasing system and survivability. An electromagnetic rail gun uses a large Lorentz force to fire a projectile. The classic configuration uses two conducting rails with armature that fits between and closes the circuit between the two rails. A large current is sent through the rails from one side creating a magnetic field that is perpendicular to the current in the armature and forces the armature to move down the rails away from whichever end the current is being applied. Since the force pushing apart the rails is large as well, they must be built so as to withstand the force developed during firing.*

### 1. Energia electromagnetică vs. energia chimică

Încă din cele mai vechi timpuri omenirea a canalizat o parte importantă a resurselor disponibile pentru producerea de noi arme care să-i asigure superioritatea în cazul unui conflict armat. Direcțiile de dezvoltare au avut întotdeauna în vedere extinderea razei de acțiune concomitent cu obținerea unei precizii cât mai ridicate. Pentru a crește raza de acțiune s-a folosit în primă fază energie mecanică. S-au creat astfel arme precum arcul cu săgeți sau diferite tipuri de catapulte. S-au utilizat de asemenea și diferite platforme de luptă care să sporească mobilitatea acestor arme. Cea mai utilizată platforma de luptă a fost calul. Apoi odată cu descoperirea prafului de pușcă intrăm într-o nouă eră a dezvoltării armelor. Se dezvoltă o serie de arme care utilizează energie chimică. Deși la început armele de foc aveau performanțe mai slabe decât a armelor bazate pe energie mecanică aveau un atu foarte important, care până la urmă le-a impus. Aveau un uriaș potențial de dezvoltare, spre deosebire de celelalte arme care atinseseră deja apogeul dezvoltării lor. În decursul anilor armele de foc au fost dezvoltate, ajungându-se astăzi la limita dezvoltării acestora.

În ultimii ani calculatoarele sunt utilizate din ce în ce mai mult pentru mărirea preciziei armelor. Dar aceasta vine cu o perspectivă mult mai complexă și anume posibilitatea de a conecta în rețea armele dotate cu calculatoare. Dacă luăm în considerare și faptul că un sistem automat este mult mai eficient, putem spune că o armă integrată într-un sistem automat controlat de un calculator conectat în rețea cu alte calculatoare asemenea lui este mult mai eficientă. Dacă dorim să integrăm o armă de foc într-un astfel de sistem, oricât de sofisticat ar fi tot nu vom putea controla forța cu care proiectilul este azvârlit. Iar dacă vom încerca să

creștem raza de acțiune sau viteza proiectilului la gura țevii, vom constata că ajungem la un nivel peste care nu putem trece.

Armele bazate pe energia chimică nu pot accelera un proiectil astfel încât viteza la gura țevii să fie mai mare de 1,5 km/s iar distanța de tragere să fie mai mare de 50 km. Pentru mărirea distanței de tragere s-a găsit soluția realizării unui proiectil propulsat de un motor de rachetă. Această soluție mărește distanța de tragere până la 100 km. Peste această distanță costurile cresc peste costurile utilizării unei rachete. Astfel pentru distanțe mai mari de 100 de km este mult mai eficientă utilizarea rachetelor. Dar rachetele sunt foarte scumpe. Avantajul tunurilor constă în faptul că pot trage proiectile mai mici ca dimensiuni și mai ieftine ca și costuri în comparație cu rachetele.

Pentru a putea egala performanțele rachetelor la un cost asemănător tunurilor este necesară abordarea problemei dintr-o nouă perspectivă. Tunul electromagnetic oferă o nouă direcție de dezvoltare a armelor.

Dacă luăm în considerare faptul că cea mai rapidă și mai puțin costisitoare cale pentru mărirea distanței de tragere este creșterea vitezei proiectilului la gura țevii, atunci tunul electromagnetic este cea mai bună alegere. Deoarece tunul electromagnetic utilizează energia electrică pentru propulsarea proiectilului se elimină pericolul exploziei pulberii care propulsează proiectilele convenționale. Acest lucru prezintă un alt mare avantaj, deoarece sistemul de propulsie se află pe tun și nu la fiecare proiectil, se pot înmagazina mai multe lovituri pentru același volum al magaziei. Dar odată cu creșterea vitezei proiectilului se obțin o serie de alte avantaje cum ar fi reducerea timpului de zbor până la țintă dar și creșterea energiei de impact ceea ce face inutilă prezența unei încărcături explozive în proiectil. Se poate elimina astfel utilizarea materialelor explozive ceea ce determină eliminarea măsurilor de siguranță ce se aplică în lucrul cu astfel de materiale.

Dacă comparăm performanțele sistemelor convenționale cu cele ale tunului electromagnetic se observă foarte clar avantajele acestuia.

Cele mai puternice tunuri navale aflate în exploatare pot trage proiectile a căror energie la gura țevii ajunge până la 10 MJ (megajouli). Pentru mărirea distanței de tragere s-a adoptat soluția utilizării unor motoare de rachetă cu combustibil solid. Aceste proiectile sunt lansate cu ajutorul unor țevi de tun convenționale și sunt ghidate la țintă cu ajutorul sistemului global de poziționare (GPS).

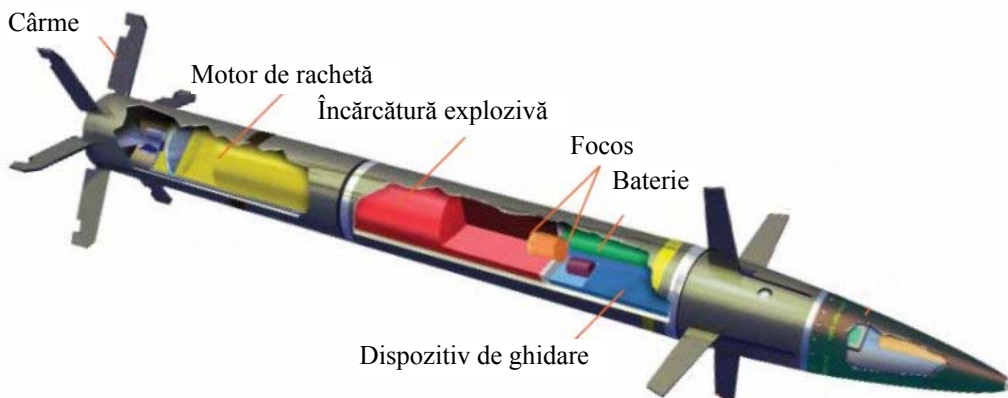


Fig. 1 Proiectil ghidat cu rază mare de acțiune

Acest tip de muniție a mărit raza de acțiune a tunurilor convenționale la 76 km iar energia proiectilului la ieșirea din țeava tunului a ajuns la 18 MJ. Un alt pas în extinderea performanțelor tunurilor convenționale a fost făcut prin programul advanced gun system (AGS) care utilizează același principiu al proiectilului asistat de un motor de rachetă cu combustibil solid dar care extinde distanța de tragere la 109 km. Odată cu aceasta crește și energia proiectilului la ieșire din țeava tunului la 33 MJ.

Un tun electromagnetic va putea trage proiectile a căror energie la părăsirea țevii este cuprinsă între 60 și 300 MJ. De asemenea viteza proiectilului la ieșirea din țeava tunului poate atinge viteze cuprinse între 2,5 și 6 km/s. În ceea ce privește energia de impact s-a calculat că pentru o viteză inițială de 2,5 km/s la ieșirea din țevă un proiectil ghidat va atinge o țintă aflată la o distanță de 460 km cu o viteză de impact de 5 Mach sau 1,65 km/s [7].

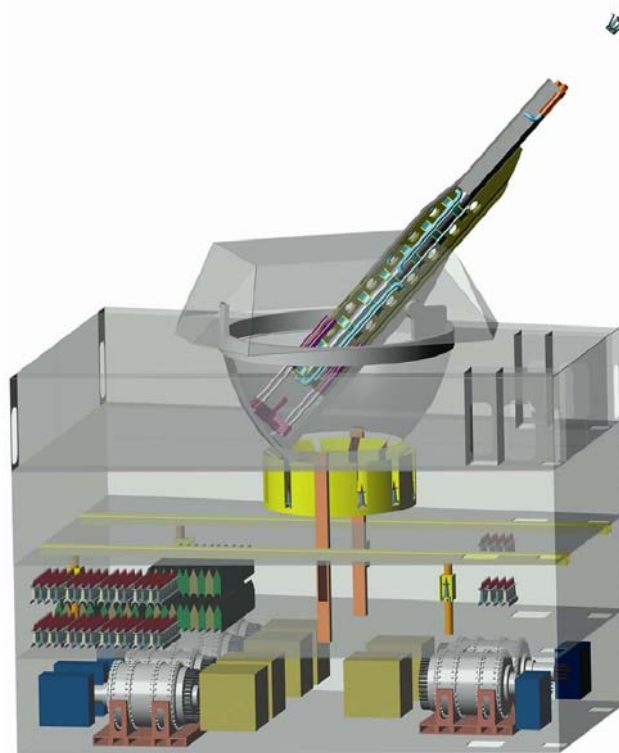


Fig. 2. Tun electromagnetic destinat forțelor navale

Dar deși extind performanțele tunurilor la un nivel nemaîntâlnit acest tip de tun poate fi proiectat și pentru cadențe mari de tragere în vederea utilizării lui împotriva rachetelor sau avioanelor. La o viteză de 2,5 km/s la ieșirea din țevă proiectilul atinge ținta într-un timp de ordinul secundelor. Aceasta face ca ținta să nu dispună de timpul necesar să reacționeze. Iar datorită faptului că sistemul de propulsie este dispus pe țeava tunului putem controla viteza proiectilului astfel încât să putem angaja ținte aflate la diferite distanțe. Distrugerea țintelor se face utilizând energia cinetică de impact.

În prezent se utilizează tunuri împotriva țintelor aeriene doar până la distanțe de 5km. Peste această distanță sunt utilizate rachete sol-aer care sunt dirijate la țintă prin diferite metode. Dar și în cazul rachetelor unul din cele mai sofisticate și mai precise sisteme, cum este Patriot PAC 3, utilizează energia de impact pentru distrugerea țintei. Sistemele de dirijare au devenit așa de precise încât pot rezolva problema întâlnirii a două mobile în aer cu o probabilitate de peste 0,9.

La ora actuală cele mai avansate cercetări pentru dezvoltarea acestei tehnologii a tunului electromagnetic sunt realizate avându-se la bază conceptul denumit railgun sau în traducere tun cu șine. În următorul subcapitol voi face o scurtă prezentare a acestui dispozitiv.

## 2. Railgun

Dintre toate sistemele de accelerare a proiectilelor utilizând forțe electromagnetice, sistemul denumit railgun este cel mai avansat la ora actuală.

Denumirea de railgun provine din faptul că sistemul este alcătuit din două conductoare electrice care au și rol de ghidare. Aceste două șine conductoare sunt fixate rigid la o distanță constantă una față de cealaltă. Circuitul electric format de aceste două șine se închide printr-un conductor mobil care se poate deplasa în lungul acestora. Acest conductor poate fi proiectilul însuși sau un sabot care împinge proiectilul. De asemenea conductorul poate fi un material conductor solid sau plasmă. Plasma poate fi obținută prin utilizarea unui conductor subțire de metal care se încălzește rapid la trecerea curentului electric. Bineînțeles că în acest caz trebuie luate o serie de măsuri care să prevină distrugerea proiectilului. Sistemul de rigidizare a celor două șine trebuie să formeze o țevă cu diametrul interior egal cu diametrul proiectilului.

Pentru obținerea performanțelor prezentate în primul capitol circuitul format de cele două șine fixe și conductorul mobil trebuie alimentat cu un curent de intensitate foarte mare pentru o perioadă scurtă de timp. Acest impuls de curent continuu poate fi asigurat de către baterii pe bază de acid, care pot furniza câteva mii de amperi pentru scurt timp. Această soluție nu poate fi utilizată pentru alimentarea unui tun, deoarece sunt necesare un număr mare de astfel de baterii. O altă soluție ar fi utilizarea unor condensatoare care pot stoca o cantitate foarte mare de energie. Utilizarea lor în scopuri militare este limitată deoarece utilizează întreaga energie înmagazinată doar pentru tragerea unui singur proiectil. Soluția utilizării mai multor baterii de condensatoare pentru a putea trage mai multe proiectile nu este viabilă datorită volumului mare ocupat precum și a timpului mare de încărcare.

O soluție aflată încă în studiu este utilizarea generatoarelor de impulsuri de curent alternativ. Acestea înmagazinează energia inerțial prin rotirea unui rotor la viteze mari cu ajutorul unui motor electric. Această energie poate fi eliberată sub formă de impulsuri de curent alternativ. Deoarece generatorul de impulsuri produce curent alternativ este necesar utilizarea unui convertor de curent care să asigure curentul continuu necesar alimentării tunului electromagnetic. În funcție de mărimea și viteza de rotație a rotorului, se poate înmagazina suficientă energie pentru a trage mai multe proiectile.



Fig. 3 Generator de impulsuri de curent alternativ

Pentru determinarea forței care acționează asupra proiectilului plecăm de la ecuația forței Lorentz. Aceasta caracterizează forța care acționează asupra unei particule încărcate electric aflată în mișcare într-un câmp electric și magnetic.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Unde:

- $\vec{F}$  este forța care acționează asupra sarcinii  $q$  [N/C];
- $\vec{E}$  este intensitatea câmpului electric [N/m];
- $\vec{B}$  este inducția magnetică [T];
- $v$  este viteza particulei [m/s];
- $q$  sarcina particulei [C];

În cazul prezentat  $q$  reprezintă curentul electric din sabotul ce face legătura dintre cele două șine. Forța necesară pentru accelerarea sabotului este dată de al doilea termen al ecuației 1.

Știind că:

$$q[C] \cdot v\left[\frac{m}{s}\right] = i\left[\frac{C}{s}\right] \cdot l[m] \quad (2)$$

Rezultă că:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} = i \cdot l \times \vec{B} \quad (3)$$

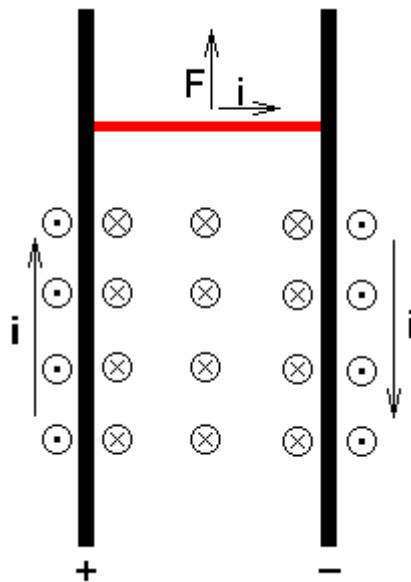


Fig. 4 Schema circuitului electric

În schema de mai sus, cu roșu am reprezentat sabotul sau proiectilul. Pentru o intensitate a curentului  $i$  dată, forța care acționează asupra sabotului variază cu lungimea sa iar câmpul magnetic variază cu lungimea șinelor.

Expresia forței exercitate asupra proiectilului exprimată în funcție de curentul  $i$ , distanța  $d$  dintre șine și raza șinelor conductoare  $r$  este dată de ecuația:

$$F = \int_0^d \frac{\mu \cdot i^2}{4\pi} \left( \frac{1}{(r+d-\rho)} + \frac{1}{(r+\rho)} \right) d\rho = \frac{\mu \cdot i^2}{2\pi} \ln\left(\frac{r+d}{r}\right) \quad (4)$$

Unde:

- $\mu_0$  este permeabilitatea magnetică;
- $i$  este intensitatea curentului;
- $d$  este distanța dintre șine;
- $r$  este raza șinelor conductoare;
- $\rho$  este distanța de la șină la care se măsoară forța.

Deși această ecuație are limitările ei datorită unor aproximări, totuși ea se dovedește utilă deoarece se poate calcula curentul necesar pentru producerea unei forțe  $F$  date. Această forță poate fi mărită dacă se utilizează materiale cu permeabilitatea magnetică  $\mu$  ridicată, dacă distanța  $d$  dintre șine este maximizată și nu în ultimul rând dacă raza șinelor  $r$  este minimă.

Pentru calculul inducției magnetice  $B$  plecăm de la ecuația 3 unde înlocuim  $l$  cu  $d$ , distanța dintre șine sau mărimea sabotului.

$$B = \frac{\vec{F}}{i \cdot d} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d} \ln\left(\frac{r+d}{r}\right) \quad (5)$$

Ecuațiile 4 și 5 permit calculul estimativ al curentului  $i$  și a inducției magnetice  $B$  necesare tragerii unui proiectil.

Pentru atingerea unor performanțe superioare tunurilor clasice este necesară o cantitate mare de energie electrică, de ordinul zecilor de giga watt. Această cantitate de energie poate fi asigurată la ora actuală doar de navele de luptă. De altfel marina americană este interesată în dezvoltarea acestui tip de armă atât pentru executarea bombardamentului asupra zonelor de litoral cât și pentru apărarea navelor împotriva rachetelor și avioanelor.

### 3. Coilgun

Un alt sistem care utilizează energia electromagnetică pentru accelerarea unui proiectil este sistemul denumit coilgun sau tunul cu bobină. Acesta nu beneficiază la ora actuală de aceeași atenție ca și sistemul railgun.

Sistemul coilgun este compus dintr-o bobină alimentată cu un impuls de curent de intensitate foarte mare, de ordinul miilor sau zecilor de mii de amperi, și un miez feromagnetic care este de fapt proiectilul.

Așa cum se cunoaște din teorie, o bobină a cărei lungime este mult mai mare decât raza secțiunii transversale, produce atunci când este alimentată cu un curent continuu, un câmp magnetic bipolar a cărui origine se află la mijlocul bobinei în interiorul acesteia. În consecință un material feromagnetic plasat la una din extremități va fi atras către interiorul bobinei.



Dacă în cazul altor dispozitive electromagnetice care utilizează bobine, miezul feromagnetic are o cursă bine definită, în cazul tunului, miezul feromagnetic se mișcă liber în interiorul bobinei.

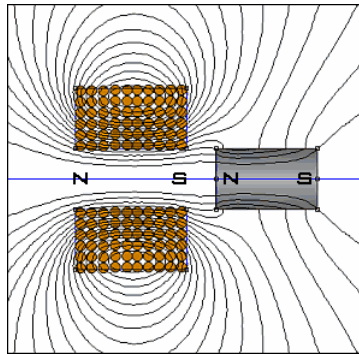


Fig. 5 Principiul de funcționare al sistemului coilgun

Pentru accelerarea miezului feromagnetic, bobina trebuie alimentată cu un impuls de curent de foarte mare intensitate astfel încât impulsul să aibă durata egală cu timpul în care miezul parcurge jumătate din lungimea bobinei. Deoarece în momentul în care miezul feromagnetic trece prin mijlocul bobinei aceasta nu mai este alimentată, își continuă mișcarea transformându-se într-un proiectil.

La fel ca și în cazul sistemului railgun este necesar un dispozitiv care să producă un impuls de curent de intensitate foarte mare pentru scurtă durată, de ordinul milisecundelor. Pentru aceasta sunt utilizate aceleași soluții cum ar fi condensatoarele sau generatoarele rotative de impulsuri de curent alternativ.

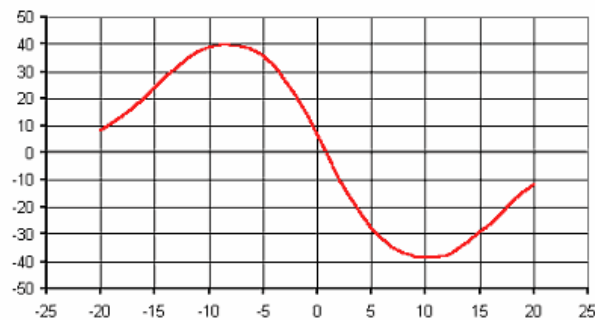


Fig. 6 Variația forței în interiorul bobinei

Deoarece durata impulsului trebuie să fie foarte precis determinată pentru a nu frâna miezul după ce acesta depășește mijlocul bobinei este necesară existența unui dispozitiv care să întrerupă alimentarea bobinei. În figura 6 am prezentat graficul de variație a forței în funcție de poziția proiectilului în interiorul bobinei.

Proiectilul are lungimea de 20 mm și diametrul de 10 mm. Aceste date sunt prezentate la adresa [www.coilgun.eclipse.co.uk/coilgun\\_fundamentals\\_1.html](http://www.coilgun.eclipse.co.uk/coilgun_fundamentals_1.html).

Se observă că în prima jumătate a bobinei proiectilul este atras iar imediat după mijlocul bobinei forța este zero. Începând cu acest punct forța se transformă dintr-o forță de accelerare într-o forță de frânare. Datorită acestui motiv este necesară întreruperea alimentării bobinei chiar înainte ca proiectilul să ajungă în mijlocul bobinei.

O îmbunătățire a acestui dispozitiv constă în utilizarea mai multor bobine pentru accelerarea proiectilului. Dar odată cu adăugarea mai multor bobine crește și complexitatea dispozitivului care controlează alimentarea acestor bobine.

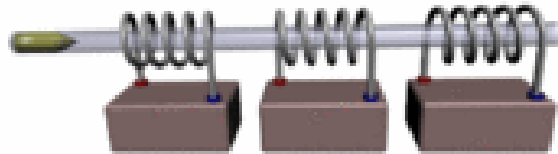


Fig. 7 Schema cu mai multe bobine

Deoarece un astfel de sistem presupune existența unei sincronizări foarte precise între proiectil și durata impulsului de alimentare a bobinei sau bobinelor, este de înțeles de ce a fost preferat sistemul railgun pentru dezvoltarea lui într-o armă a viitorului.

### Bibliografie

1. HARRY D. FAIR - Progress in Electromagnetic Launch Science and Technology, January 2007;
2. KHERSHED P. COOPER, HARRY N. JONES, AND ROBERT A. MEGER, Analysis of Railgun Barrel Material, January 2007;
3. DAVID ALLAN ADAMS, U.S. Navy, Naval rail guns are revolutionary, 2003;
4. K. H. J. BUSCHOW, F. R. DE BOER - Physics of Magnetism and Magnetic Materials, Kluwer Academic Publishers - 2004;
5. WALSH, RONALD A. - Electromechanical design handbook 3<sup>rd</sup>, Ed. McGRAW-HILL – 2000;
6. FLOREA G. – Materiale metalice avansate, Ed. Lux Libris, 1999;
7. I. R. MCNAB, AND F. C. BEACH, Naval railguns, January 2007;
8. FRIEDRICH W. HEHL & YURI N. OBUKHOV - Foundations of Classical Electrodynamics - 2001;
9. MARC T. THOMPSON- Electrodynamic Magnetic Suspension—Models, Scaling Laws, and Experimental Results- IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, VOL. 43, NO. 3, AUGUST 2000;
10. J. BACHKOSKY, D. KATZ, R. RUMPF, W. WELDON- Naval Electromagnetic (EM) Gun Technology Assessment- Naval Research Advisory Committee 2004;
11. DENNIS McDOWELL - Theater missile Defense: A Joint Enterprise- 1994
12. I. R. MCNAB, F. C. BEACH - Naval Railguns- IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 43, NO. 1, JANUARY 2007;
13. VITOR MATOS, LUIS SILVA, JOÃO SENA ESTEVES- Induction Coil Gun - 3rd International Conference on Hands-on Science 2006;

---

\* Laurian Gherman, Mr. ing. drd., Academia Forțelor Aeriene, Mihai Viteazu nr. 160, tel 0268 423421, e-mail: laurian.gherman@afahc.ro

## FORMAREA UNEI REȚELE WIRELESS ÎN BANDA ISM CARE SĂ FIE OPTIMĂ ȘI SIGURĂ PENTRU TRANSMISII DE DATE

Machedon-Pisu Mihai\*  
Kertész Csaba-Zoltán\*\*

*Abstract: The most common issues with the wireless technologies used in the ISM band refer to reliability and security concerns. ZigBee addresses these issues by forming a mesh network with self-healing, self-configuration and flexible features.*

*By testing the quality of the data communication with LQI and RSSI, we intend to develop reliable and optimal data transmissions.*

*Security can be implemented in wireless networks when beacons are sent regularly between nodes. By the using the LCP algorithm it is possible to determine the actual position of an important node in real time when the position of the neighbour nodes is known.*

### Introducere

Rețelele personale wireless, aplicate în aplicații industriale și rezidențiale, presupun formarea unei rețele necablate legată la senzori și echipamente de control, care să fie atât flexibilă cât și robustă pentru a răspunde cerințelor benzii ISM (Industrială Științifică și Medicală) de 2.4 GHz. O astfel de rețea wireless trebuie să funcționeze cât mai eficient, și acest lucru înseamnă costuri scăzute, consum redus de putere, operare simplă și sigură, autoconfigurare, autoregenerare și flexibilitate [2].

Unul din obiectivele acestei lucrări este dezvoltarea de strategii de propagare eficientă a datelor, strategii ce pot fi folosite pentru optimizarea rețelei fără fir. În acest scop, utilizând parametrii de care setul radio de dezvoltare CC2420 de la Chipcon dispune, se poate estima calitatea legăturii radio. Acest set folosește tehnologia fără fir ZigBee pentru transmiterea de date către și de la nodurile de rețea. În continuare se va demonstra de ce această tehnologie este cea mai adecvată pentru a fi folosită pentru formarea rețelelor wireless în banda ISM (pentru aplicații Industriale Științifice și Medicale). ZigBee și Bluetooth sunt tehnologii wireless care sunt definite de standardul IEEE 802.15 pentru Rețele Personale Fără Fir de Viteză Mică (LR-WPAN) [1] care transmit date pe distanțe scurte (până la maxim 100 de metri) [5]. O altă tehnologie fără fir pentru distanțe scurte este Wi-Fi, definită pentru standardul IEEE 802.11, dar care transmite date la viteze mai mari.

Wi-Fi este destinat mai ales pentru Rețele Locale Fără Fir (WLAN). Tehnologiile wireless Bluetooth și Wi-Fi nu pot fi considerate utile pentru aplicații de putere mică cu senzori și echipamente de control deoarece acestea folosesc circuite radio integrate și

protocoale complexe și cu consum mare de putere [3]. O imagine mai detaliată asupra acestor standarde este oferită în Tabelul 1.

TEHNOLOGII	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Distanța de transmisie (metri)	10 – 100	1-100	1-10
Durata bateriei (zile)	100 – 1000	0.5 – 5	1 – 7
Dimensiunea rețelei (noduri)	65000	32	8
Aplicații	Monitorizare și Control	Web, Email, Video	Înlocuirea cablajului
Dimensiunea stivei (KB)	4 – 32	1000	250
Viteza datelor (kb/s)	20 – 250	11000 – 54000	720 – 1000
Spectrul de frecvență (MHz)	868/ 915/ 2400	2400/ 5000	2400
Costuri	MICI	MEDII	MICI
Puterea consumată	MICĂ	MEDIE	MICĂ
Caracteristici de succes	Fiabilitate, Putere, Cost efectiv	Viteza de date, Flexibilitate	Cost, Comoditate

Tabelul 1 : Comparație între tehnologiile de rețea wireless pe distanțe scurte.

În mod categoric, tehnologia ZigBee se dovedește a fi mult mai adecvată pentru dezvoltarea de aplicații cum ar fi controlul și monitorizarea industrială, automatizări în diferite incinte, rețele de senzori, și furnizarea de soluții în domeniile auto și medicale [4]. În plus, ZigBee implementează o rețea plasă, cu rute multiple între noduri, prezentând capacități de autoconfigurare și autoregenerare care fac din această tehnologie wireless una foarte fiabilă.

Pentru estimarea calității legăturii radio sunt folosiți doi indicatori: RSSI (care măsoară puterea semnalului recepționat) și LQI (care măsoară calitatea legăturii radio pentru fiecare pachet de date). Pentru măsurătorile care sunt efectuate în incinte și în afara acestora se vor folosi acești indicatori care pot estima performanța legăturii radio, cu scopul de a elabora transmisii de date optime în aceste spații. De asemenea se va determina care din cei doi indicatori este mai potrivit pentru estimarea corectă a legăturii de date.

Fenomenele de degradare a semnalului (atenuare, interferență, reflexii) sunt analizate în contextul scenariilor interioare și exterioare. Pentru a avea propagare eficientă a semnalului de date în aceste scenarii, toți factorii care afectează performanța legăturii trebuie să fie considerați iar efectul lor va fi apreciat cu scopul de a optimiza rețeaua fără fir. În rețelele fără fir, datele parcurg un mediu necontrolabil, unde radio, iar degradarea semnalului devine o chestiune importantă în proiectarea rețelei. Pornind de la rezultatele măsurătorilor în scenariile interioare și exterioare cu LQI și RSSI, se pot enunța strategiile de optimizare a transmisiilor de date în rețelele wireless. Se poate constata corelația dintre LQI sau RSSI și distanța, care stă la baza algoritmului de localizare propus, având ca scop punerea în aplicare pentru securizarea nodurilor centrale din rețelele wireless. Așadar, următorul pas, după ce a fost creată o rețea fiabilă din punctul de vedere al transmisiilor de date optime, este acela de a implementa securitate în aceste rețele fără fir. Algoritmul matematic caracterizat de metoda Localizării Centrale cu Ponderi (LCP) poate fi aplicat în cadrul rețelei pentru localizarea în timp real a nodurilor centrale atunci când coordonatele nodurilor vecine semnalizatoare sunt știute. În această lucrare va fi prezentat un scenariu în care măsurătorile cu LQI sau RSSI pot conduce direct la estimarea poziției reale a nodurilor importante din rețea.

## 1. Evaluarea performanței legăturii radio cu LQI și RSSI

Tehnologia ZigBee dispune de metrici de estimare a performanței legăturii radio care pot fi folosiți pentru a analiza efectul fenomenelor de degradare asupra calității transmisiilor de date. **RSSI** (Indicator al Puterii Semnalului Recepționat) este o metrică a tehnologiei radio la recepție, și măsoară nivelul puterii dintr-un semnal recepționat prin radio, fiind calculat pentru 8 perioade de simbol și stocat în registrul **RSSI\_VAL** (valoarea RSSI). RSSI este măsurat în dBm. Această valoare a registrului RSSI depinde mai ales de puterea  $P$  care este recepționată la nivelul suportului radio și este exprimată astfel:

$$RSSI\_VAL + RSSI\_OFFSET = P \quad (2.1)$$

Valoarea **RSSI\_OFFSET** este egală cu -45 dBm. Valoarea RSSI are un domeniu de valori de 100 dB, oscilând în teorie de la 0 dBm (cazul ideal) până la -100 dBm (cazul cel mai rău). În practică, domeniul valorilor RSSI este mai mic, de la -13 dBm (cel mai bun caz) la -94 dBm (cazul cel mai rău).

Cealaltă metrică folosită pentru a estima performanța legăturii este **LQI** (Indicator de Calitate a Legăturii) și este văzut ca fiind mai bun decât RSSI, din moment ce descrie de un domeniu mai larg de valori, de la 0 (cel mai rău caz) la 255 (cazul ideal). Este asemănător cu RSSI, deci valoarea LQI poate fi calculată folosind doar valoarea lui RSSI, dar nu ar fi un calcul precis (de exemplu, o interferență de bandă scurtă în canalul lărgimii de bandă va duce la creșterea valorii LQI deși, de fapt reduce calitatea legăturii reale) [6]. LQI poate fi de asemenea măsurat prin estimarea raportului semnal-zgomot (valoarea de corelație), ori printr-o combinație dintre RSSI și valoarea de corelație (notată cu **CORR** în formulă). LQI este calculat pe acei 8 biți care urmează după Delimitatorul de Început al Cadrului (SFD). Așadar LQI este exprimat astfel:

$$(CORR - a) \cdot b = LQI \quad (2.2)$$

Variabilele  $a$  și  $b$  pot fi aflate practic din măsurătorile cu PER (rata de eroare a pachetelor) în funcție de valoarea de corelație.

Studiile recente au ajuns la concluzia că LQI este un indicator mai bun decât RSSI, dar în practică există cazuri în care RSSI se dovedește mai bun. Aceste cazuri reprezintă distanțe foarte mici (până la 20 de cm) ori distanțe mai mari (mai departe de 40 m).

## 2. Măsurători cu LQI și RSSI în scenariile interioare și exterioare

Deoarece rețelele fără fir de tip plasă, posibile numai cu ZigBee, se bănuiesc a fi foarte fiabile, atunci acestea ar trebui să ofere cea mai bună protecție împotriva fenomenelor de degradare a semnalului. Măsurătorile efectuate în incinte și în afara lor, vor evidenția efectele acestor fenomene, și în funcție de rezultate se va aprecia plasarea adecvată a nodurilor de rețea pentru a avea transmisii de date prin radio eficiente în orice scenariu.

În teorie, pachetele de date pot fi transmise până la 235 de m. În practică, distanța maximă este de aproximativ 100 m pentru exterior și de 40 m în interior. Pentru distanțe mai mari, când PRR (Rata de Recepționare a Pachetelor) scade sub 90%, avem comunicație nesatisfăcătoare, cu valori de LQI sau RSSI care ating un prag scăzut, sub 25 pentru LQI și respectiv sub -87 dBm pentru RSSI, numit și pragul de susceptibilitate.

Măsurătorile sunt efectuate cu două noduri ZigBee care comunică date între ele, așadar este extrasă informația referitoare la performanța legăturii radio. În acest scop vor fi tratate grafice care să pună în evidență factorii de degradare a semnalului în diferite situații.

### 2.1 Măsurători în exterior (Spații deschise)

În spații deschise, condițiile de propagare a semnalului radio sunt considerabil mai bune decât în spațiile închise din incinte, și acest lucru se datorează lipsei atenuărilor cauzate de obiectele sau structurile (uși, pereți, podea etc.) care s-ar putea afla pe calea datelor, a reflexiilor interioare, și chiar a interferențelor datorate unor surse de interferență interioare (cuptoare cu microunde, computere, tehnologii ce folosesc frecvențe apropiate etc.). Deși aceste efecte lipsesc cu desăvârșire, totuși avem un efect legat de reflexii care trebuie considerat în măsurători și acest efect multi-cale este strâns legat de efectul de difracție, când un semnal transmis prin radio ajunge la receptor prin două sau mai multe căi datorită unghiurilor diferite care apar ca efect al iregularităților de teren. În viața reală, nu avem întotdeauna un teren plat și cu noduri care să bată în cale directă, așadar efectul de pantă necesită atenție.

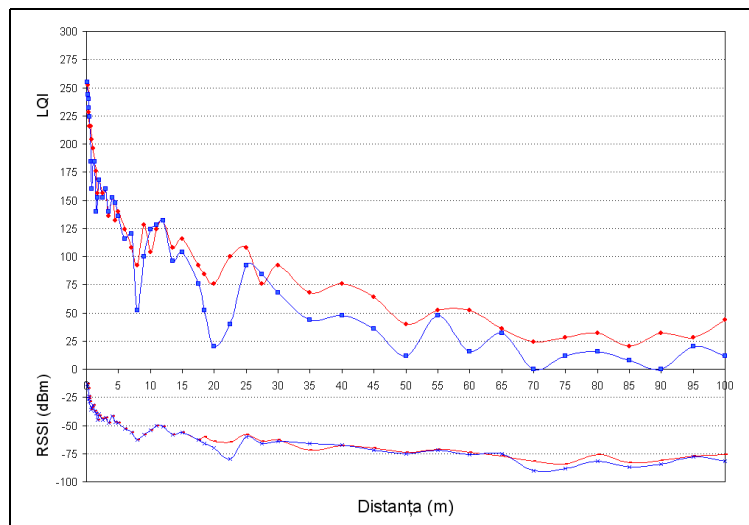


Fig. 1 : Variația LQI și RSSI cu distanța (albastru-cu efect de pantă) (roșu-fără efect de pantă) până la 100 de m, în spații deschise

În Figura 1 se poate observa spectrul mai larg de valori al LQI-ului față de cel al RSSI-ului, astfel rezultă că LQI ar fi mai potrivit pentru estimarea performanței legăturii radio. Efectul de pantă este considerabil în cazul celor doi indicatori: RSSI și LQI. Există o cădere de aproximativ 40 de unități în LQI pentru distanțe mai mari de 30 de metri. LQI atinge valori de 0 la 70 de m și la 90 de m, respectiv, cu valori de LQI foarte mici de la 70 la 100 m. Mai departe de 70 de m, RSSI prezintă valori mai mici decât -87 dBm, care este și pragul de susceptibilitate.

## 2.2 Măsurători în incinte (Spații închise)

Dacă în spațiile deschise, avem condiții bune de propagare chiar până la 100 de m, în spațiile din incinte este considerat un lucru bun dacă o distanță de 40 sau 50 de m poate fi asigurată pentru a transmite date, și desigur nu putem vorbi de condiții severe în acest caz, care ar conduce la o reducere semnificativă a calității transmisiei.

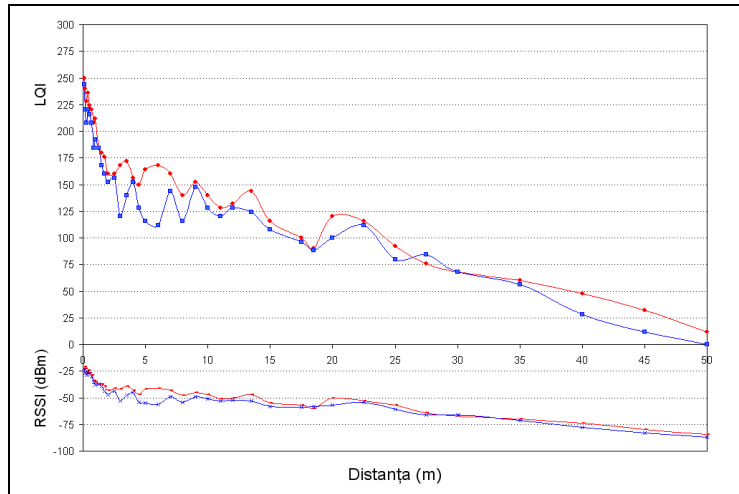


Fig. 2 : Variația LQI și RSSI cu distanța (albastru-Cazul 1) (roșu-Cazul 2) până la 50 de m, în spații închise în incinte

Pentru măsurătorile din incinte, există o serie de factori de degradare a semnalului radio iar cele mai importante efecte asupra performanței se datorează: atenuării cauzate de uși, pereți, podea (pentru transmisii între etaje). Mai există factori de interferență: computere, tehnologii wireless etc. cât și reflexii, dar per total, atenuarea are cel mai mare efect asupra calității legăturii. În Figura 2 este prezentată transmisia de date din punct de vedere al calității legăturii radio pentru distanțe diferite până la 50 de metri. Cazul 1 reprezintă o cale a datelor a cărei performanță radio este mai mult afectată de factorii de degradare decât în Cazul 2. Pentru a înțelege cât de mult factorii de degradare afectează estimarea calității legăturii se va elabora o analiză a efectului asupra LQI pentru fiecare factor în parte. Figura 3 ilustrează această analiză.

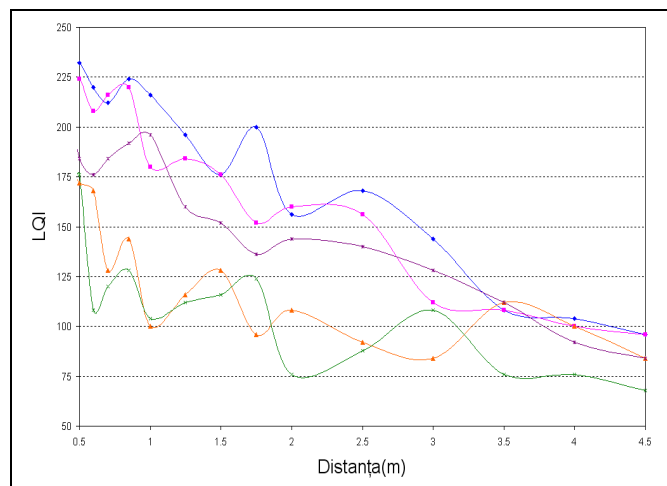


Fig. 3 : Variația LQI cu distanța (albastru-cazul obișnuit) (violet-cu efect de interferență Bluetooth) (vișiniu-cu efect de ușă-lemn-grosime 5 cm) (portocaliu-cu efect de perete-beton-gol pe dinauntru-grosime 30cm) (verde-cu efect de podea-grosime 4cm) până la 4.5 de m, în spații închise în incinte

### 3. Optimizarea Rețelei

În urma analizei factorilor de degradare prin prisma măsurătorilor cu LQI, se poate estima fiecare efect în parte, adică măsura în care fiecare afectează performanța legăturii radio, și astfel se pot stabili strategii de amplasare a nodurilor în rețea cu scopul de a obține



transmisii eficiente în rețeaua wireless din punct de vedere al influenței nefaste a factorilor de degradare.

Odată ce nodurile sunt amplasate corespunzător, rețeaua ZigBee se poate implementa, prezentând caracteristici de fiabilitate și flexibilitate caracteristice unei rețele de tip plasă, în care datele trimise în rețea cunosc mai multe salturi până să ajungă la destinație și o pot lua pe mai multe căi în funcție de algoritmul de rutare [8]. În cazul în care un nod iese din rețea, rețeaua trebuie să se adapteze la această situație, și alte căi pentru transmisia de date sunt alese, efectele cauzate de absența aceluia nod fiind repede compensate. Figura 4 prezintă un scenariu de optimizare a rețelei pentru o locație în care deja au fost efectuate măsurători.

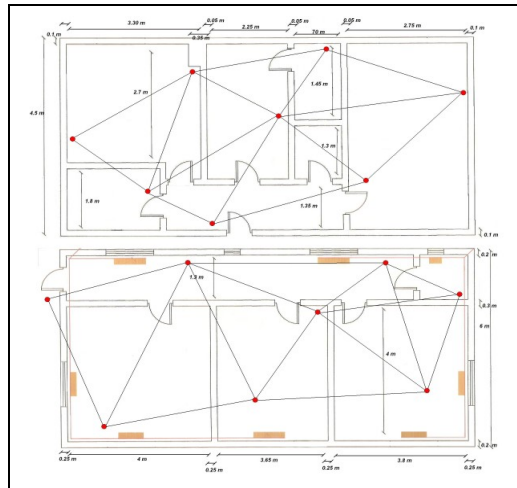


Fig. 4 : Optimizarea rețelei în incinte (pentru două locații)

Pentru optimizarea rețelelor în incinte, următoarele observații trebuie făcute: nodurile ar trebui să fie cât mai apropiate, căi multiple de date trebuie să existe între noduri, spațiile deschise măresc raza de transmisie sau nu o micșorează, spațiile închise reduc raza, două noduri vecine nu este recomandabil să aibă prea mulți pereți între ele (un număr maxim de doi pereți este considerat suficient), nodurile ar trebui să fie mai apropiate de ușă decât de pereți din moment ce efectul pereților este mai mare, sursele de interferență trebuie ocolite etc. Câteodată, este recomandat să se adauge mai multe noduri la rețea, și astfel redundanța să crească. Această redundanță este binevenită deoarece se vor crea mai multe căi pentru transferul de date iar impactul nodurilor care ies din rețea este mai mic, cu mențiunea că traficul de date nu ar trebui aglomerat prea mult prin introducerea unui număr mare de noduri în rețea. În clădiri cu etaje, un aspect referitor la optimizarea rețelei trebuie rezolvat prin poziționarea nodurilor de-a lungul scârilor pe calea de date pentru a reduce efectul de podea.

În afara incintelor, principala problemă în ceea ce privește optimizarea rețelei se datorează efectului de pantă. Cea mai bună cale pentru a înlătura acest efect este plasarea nodurilor de rețea la același nivel față de sol și de asemenea furnizarea unei căi directe (LOS) între acestea. Două clădiri situate la până la 100 de metri una față de cealaltă, pot transmite date între ele cu noduri ZigBee în condiții acceptabile, dacă linia LOS este asigurată iar efectul de pantă este anulat.

#### 4. Localizarea nodurilor în rețea și securizarea nodurilor centrale

Rețelele ZigBee folosesc algoritmul AES (Standard de Încryptare Avansat) pentru a coda date cu o cheie simetrică pe 128 de biți, cu scopul de a proteja datele de interes major până la nivelul SECRET împotriva diferitelor atacuri. În banda ISM band securitatea este foarte importantă, așadar implementarea acesteia constituie interes.

Localizarea nodurilor în rețele wireless personale poate fi folosită pentru a forma o rețea sigură în care securizarea nodurilor centrale poate fi implementată [7]. Măsurările cu LQI caracterizează atât puterea cât și calitatea pachetului de date primit, astfel LQI poate fi folosit, în funcție de rezultatele experimentale, pentru a estima distanța dintre noduri, deoarece există o corelație puternică între LQI și distanța de transmisie. Corelația poate fi aproximată cât mai precis prin trasarea curbei LQI în funcție de distanță (Figurile 1,2 și 3) și prin efectuarea de cât mai multe măsurători cu LQI, pentru a avea valori de LQI cât mai bine corelate cu distanța. Soft-ul EasyPlot permite această operație de corelație cu rezultate foarte bune: o rezoluție de 0.01 m. Calculând valoarea LQI pentru diferite pachete trimise între noduri, se poate estima poziția unui nod de coordonate necunoscute.

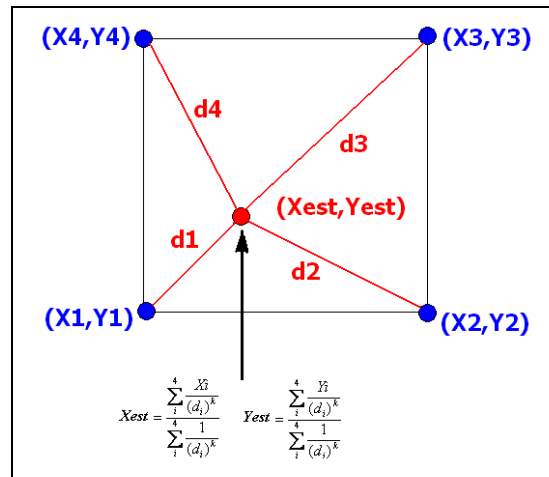


Fig. 5 : Metoda LCP

Nodurile își pot schimba poziția în timp așadar o estimare în timp real a coordonatelor acestora este necesară. Sunt două metode matematice folosite pentru estimarea poziției a unui nod central atunci când coordonatele nodurilor vecine (numite și noduri de semnalizare) sunt cunoscute: Localizarea Centrată (LC) și Localizarea Centrată cu Ponderi (LCP). Metoda LC este foarte simplă dar neaplicabilă; determină doar coordonatele centrului patrulaterului descris de cele mai apropiate noduri cu coordonate știute. Eroarea de estimare este foarte mare când nodul central este foarte apropiat față de un nod vecin, eroarea estimării putând fi de 50%.

Metoda LCP este mult mai precisă în estimarea poziției reale. Modelul matematic propus este simplu de implementat (Figura 5). Informația LQI legată de distanță este folosită pentru determinarea poziției nodului iar distanțele sunt reprezentate ca funcții de pondere. Eroarea estimării este acceptabilă: de maxim 12 % și medie de 4 % fără corelare cu LQI, și de maxim 20 % și medie de 8 % cu corelare LQI. Metoda LCP este suficient de precisă pentru a crea o rețea sigură. Coordonatorul de rețea poate fi localizat în timp real când primește cadre de semnalizare de la nodurile vecine care conțin informația referitoare la poziție; așadar dacă acel nod își schimbă poziția, atunci acest lucru ar trebui confirmat prin transmisia de cadre de semnalizare. Perioada cadrului de semnalizare trebuie să fie cât mai mică posibil pentru a determina noua poziție a coordonatorului, în cazul în care cineva vrea să scoată coordonatorul din rețeaua lui. Securizarea coordonatorului este o chestiune ce prezintă interes iar soluția propusă presupune aplicarea unei metode matematice simple (cu LCP) care se bazează pe măsurările cu LQI posibile de realizat cu tehnologia ZigBee.

## Concluzii

Această lucrare a prezentat aspectele teoretice și practice legate de propagarea eficientă a datelor în rețele wireless din cadrul incintelor și din afara lor folosind tehnologia ZigBee. S-a analizat calitatea legăturii în funcție de trei metrici: RSSI, LQI și PRR. LQI se dovedește a fi cel mai precis în estimarea performanței și reprezintă punctul de pornire în vederea optimizării rețelei fără fir ținând seama de efectele fenomenelor de degradare care rezultă din măsurătorile experimentale efectuate.

Deși viteza de transfer a datelor este mică (maxim 250 kbps), totuși posibilitatea de a forma rețele fără fir cu senzori rămâne validă, deoarece datele de la senzori nu necesită rate mari de transfer. Securizarea nodurilor centrale se face prin actualizarea în timp real a poziției nodului coordonator este posibilă prin transmiterea de cadre de semnalizare de la nodurile învecinate. Prin corelația LQI cu distanța și prin implementarea modelului matematic descris de metoda LCP, se estimează poziția nodului în cauză cât mai fidel cu realitatea.

## Bibliografie

- [1] T. Zahariadis, "Evolution of Wireless LAN and PAN Standards," *Computer Standards and Interfaces*, vol. 26, pag. 175–185, Mai 2004.
- [2] H.S. Kim, J.H. Song, și S. Lee, "Energy-efficient traffic scheduling in IEEE 802.15.4 home automation networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 53, numărul 2, pag. 369–374, Mai 2007
- [3] S. Krishnamurthy, "Platform-independent software enables true interoperability in Zigbee Networks", *Portable Design.*, vol.13, numărul 8, pag. 26–30, August 2007.
- [4] S. Rao, "Estimating ZigBee Transmission in ISM Band," *EDN Europe*, vol. 52, pag. 40–43, Iulie 2007.
- [5] Strassberg, D.: *Simple Networks*. In: *EDN Europe*, vol.51, numărul 5, pag.35–42, Mai 2006.
- [6] J. Polastre, R. Szewczyk și D. Culler, "Enabling Ultra-Low Power Wireless Research," în *Proceedings of the Fourth International Conference on Information Processing in Sensor Networks: Special track on Platform Tools and Design Methods for Network Embedded Sensors (IPSN/SPOTS)*, pag.364–369, Aprilie 2005.
- [7] R. Grossmann, "Localization in Zigbee-based wireless sensor networks", *Technical Report (German), University of Rostock, Institute MD*, Aprilie 2007.
- [8] G. Ferrari, P. Medagliani, S. Di Piazza, și M. Martalo, "Wireless Sensor Networks: performance analysis in indoor scenarios," *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, Ianuarie 2007.

---

\* Mihai Machedon-Pisu, drd. ing., Facultatea de Inginerie Electrică și Calculatoare, Brașov, Politehnicii nr.1, e-mail: mihai\_machedon@unitbv.ro

\*\* Csaba-Zoltán Kertész, drd. ing., Facultatea de Inginerie Electrică și Calculatoare, Brașov, Politehnicii nr.1, e-mail: csaba.kertesz@vega.unitbv.ro

## USING MATHEMATICA 6 FOR EVALUATING CRYPTOGRAPHIC RISKS OF RSA IMPLEMENTATION

Mihai MARIN \*  
Florin RĂSTOCEANU \*\*

### *Abstract:*

*The paper presents some vulnerability that can appear in the improper usage of public key cryptographic algorithm RSA (Rivest, Shamir, Adellman). Are presented some “bad implementations” of the encryption method, which can conduct to derive the private key from the public key and some tricks, used in generation of a public/private key, to enable a smart brute force attack. This paper is intend to be a cryptanalyst point of view in the implementation of RSA.*

### **I. RSA Algorithm**

RSA method is based on unanimously accepted hypotheses, that in some conditions raising at a power fixed modulo  $m$  is a trapped unique function.

Setting up a RSA system follow this steps:

- Choose two different large prime numbers  $p$  and  $q$ ;
- Compute modulus.

$$n = p \cdot q. \quad (1.1)$$

- Compute Euler Indicator:

$$\varphi(n) = (p - 1) \cdot (q - 1). \quad (1.2)$$

- Euler demonstrated that if p and q are prime numbers then:

$$m^{(p-1)(q-1)} = 1 \pmod{(p \cdot q)}. \quad (1.3)$$

- Choose public exponent e satisfying:

$$\text{GCD}(e, \varphi(n)) = 1. \quad (1.4)$$

- Compute private exponent d, with Euclid Algorithm, satisfying:

$$e \cdot d = 1 \pmod{(\varphi(n))}. \quad (1.5)$$

Next, publish e and n and keep secret d,  $\varphi(n)$ , p and q.

- To crypt a message m use this formula:

$$c = m^e \pmod{n}. \quad (1.6)$$

- To decrypt a cryptogram c use this formula:

$$m = c^d \pmod{n}. \quad (1.7)$$

- From relation (6) and (7) we can observe that:

$$c^d \pmod{n} = (m^e)^d \pmod{n} = m^{e \cdot d} \pmod{n}. \quad (1.8)$$

- From relations (2) and (5) we can obtain:

$$e \cdot d = x \cdot [(p - 1) \cdot (q - 1)] + 1. \quad (1.9)$$

We can conclude that:

$$\begin{aligned} c^d \pmod{n} &= (m^e)^d \pmod{n} = m^{e \cdot d} \pmod{n} = \\ &= m^{x[(p-1)(q-1)+1]} \pmod{n} = m^{x[(p-1)(q-1)]} \cdot m \pmod{n} = \\ &= 1 \cdot m \pmod{n} = m \end{aligned} \quad (1.10)$$

This steps can be implemented in Mathematica6 Software. If a cryptanalyst wishes to decrypt a cryptogram c he needs to know private exponent d. To compute d he needs to know e and  $\varphi(n)$ .

He knows e, because is public, but for computing  $\varphi(n)$ , from relation (1.2) he must know p and q.

For achieving p and q he must get the factorization of n.

## II. RSA Cryptanalysis

### 2.1 Attack upon RSA when $\varphi(n)$ is known

If we know  $\varphi(n)$  is the same thing that we know factorization of  $n$ .

From (1.1) and (1.2) we can obtain:

$$\varphi(n) = n - (p + q) + 1. \quad (2.1)$$

$$p + q = n + 1 - \varphi(n). \quad (2.2)$$

$$p - q = \sqrt{(p + q)^2 - 4n}. \quad (2.3)$$

From equation (2.3) and (2.4) we can obtain very easy  $p$  and  $q$ .

### 2.2 Attack upon RSA in case of small difference between prime numbers $p$ and $q$

A condition in generating primes number  $p$  and  $q$  is that, the difference between them,  $p - q$ , to be large, because if a cryptanalyst can guess for instance:

$$n = t^2 - s^2. \quad (2.4)$$

with

$$t = (p + q) / 2. \quad (2.5)$$

$$s = (p - q) / 2. \quad (2.6)$$

by checking all likely values, it follows from that also can be determined. From this relations  $p$  and  $q$  can be found, which implies that the system has been broken. Assuming that  $n < t^2$  we can obtain relation  $t \geq \sqrt{n}$ .

We start with  $t = \sqrt{n} + 1$  and increment  $t$  by 1 until the value of  $t^2 - n$  is a perfect square  $s^2$ . From relations (2.5),(2.8) we can observe that the next value of  $t^2 - n$  is obtain by adding  $2t + 1$ .

$$(t + 1)^2 - n = (t^2 - n) + 2t + 1. \quad (2.7)$$

so the next value of  $t^2 - n$  is obtain by adding  $2t + 1$ .

We conclude that  $|p - q|$  has to be large. A way to do that if  $q > p$  it must follow this relation:

$$p < q < p + \sqrt{p}. \quad (2.8)$$

### 2.3 Common Modulus Attack upon RSA

Suppose we crypt a message  $m$  with RSA system using two public key  $(e_1, n)$  and  $(e_2, n)$  with the same modulus  $n$  and public exponents  $e_1, e_2$ , according to relation  $\text{GCD}(e_1, e_2) = 1$ , then the plaintext  $m$  can be obtain from the two cryptotexts:

$$c_1 = m e_1 \text{ mod } n. \quad (2.9)$$

$$c_2 = m e_2 \text{ mod } n. \quad (2.10)$$

following this next steps:

- Get  $x_1$  and  $x_2$  from relation:

$$x_1 \cdot e_1 + x_2 \cdot e_2 = 1, \quad (2.11)$$

using Extended Euclid Algorithm with condition  $x_2 < 0$ .

- Get  $y$  from relation:

$$y = (c_2 - 1) \text{ mod } n, \quad (2.12)$$

using Extended Euclid Algorithm.

- Get the plaintext  $m$  from relation:

$$m = c_1 x_1 \cdot y - x_2, \quad (2.13)$$

- We conclude that the same plaintext should not be crypted twice with the RSA algorithm using two public key with the same modulus because:

$$\begin{aligned} c_1 x_1 \cdot y - x_2 &= c_1 x_1 \cdot c_1 x_1 = \\ &= m e_1 \cdot x_1 \cdot m e_2 \cdot x_2 = \\ &= m e_1 \cdot x_1 + e_2 \cdot x_2 = m \text{ mod } n. \end{aligned} \quad (2.14)$$

### 2.4 Attack by iteration upon RSA

Let:

- $c^{(0)} = m$ , (plaintext block);
- $c^{(1)} = c = E(c^{(0)})$ , (cryptotext block).

Form the sequence:



$$c^{(k+1)} = E ( c^{(k)} ). \quad (2.15)$$

The least  $k \geq 1$  with  $c^{(k+1)} = c^{(1)}$  is called:

- the iteration exponent  $s_m$  of  $m$ ;
- $s_m$  indicates the length of the cycle to which  $m$  belongs;
- $s_m - 1$  is called the recovery exponent of  $m$ .

## 2.5 Attack in case of small encryption exponent

RSA encryption may be advantageous using a small encryption exponent  $e$ .

This may be advantageous if the sender has limited computing power, in case it is a smartcard, and if the receiver does not suffer from a rather big private exponent  $d$ , in case it is a central computer.

Using small  $d$  invites an exhaustive decryption attack and should therefore be avoided.

But using small  $e$  is dangerous, too, in the case that one and the same plaintext message block  $m$  using the same power  $e_1 = e_2 = \dots = e_s = e$  is sent to many different receivers with (presumably pairwise relatively prime)  $q_1, q_2, \dots, q_s$ , the cryptotexts being  $m_j^e \bmod q_1, m_j^e \bmod q_2, \dots, m_j^e \bmod q_s$ .

From these intercepted cryptotexts, with the help of the Chinese Remainder Theorem, the value of  $m' = m_j^e \bmod q_1, q_2, \dots, q_s$  can be computed. But since  $m'$  is less than each of the individual moduli, the equation  $m_j^e = m'$  holds.

This equation with known  $m'$  and known small  $e$  (although involving rather big numbers) can be solved for  $m$ .

The break is not complete:  $d_i$  is still left open.

## 2.6 Attack in case of small decryption exponent

It is unsafe to use the RSA system with a small secret exponent  $d$ , where "small" means something like  $\sqrt{n}$ .

This observation is of importance, because often one is inclined to reduce the work load of the exponentiation  $cd \bmod n$ , by choosing a small exponent.

For instance, if a smart card is used to sign messages, it will have to compute exponentiations if the card has limited computing power, a relatively small value of  $d$  (of course not so small that  $d$  can be found by exhaustive search) would be handy.

The Wiener Algorithm can obtain the primes numbers  $p$  and  $q$  and also private exponent  $d$  if computing the secret decryption exponent,  $a$ , whenever the following hypotheses are satisfied:

$$q < p < 2 \cdot q. \quad (2.16)$$

$$3 \cdot d < n^{1/4}. \quad (2.17)$$

From the theory of continued fractions, it is known that any approximation of  $a/b$  must be one of the convergents of the continued fraction expansion of  $a/b$ .

This expansion can be obtained from the Euclidean Algorithm, as we describe now. A (finite) continued fraction is an  $m$ -tuple of non-negative integers, say  $[q_1, \dots, q_m]$ , which is shorthand for the following expression:

$$\frac{a}{b} = q_1 + \frac{1}{q_2 + \frac{1}{q_3 + \dots + \frac{1}{q_m}}} \quad (2.18)$$

Now, for  $1 < j < m$ , define  $C_j = [q_1, q_2, \dots, q_j]$ .  $C_j$  is said to be the  $j^{\text{th}}$  convergent of  $[q_1, q_2, \dots, q_m]$ .

Each  $C_j$  can be written as a rational number  $c_j / d_j$ , where the  $C_j$  's and  $d_j$  's satisfy the following recurrences:

$$c_j = \begin{cases} 1 & \text{if } j = 0 \\ q_1 & \text{if } j = 1 \\ q_j \cdot c_{j-1} + c_{j-2} & \text{if } j \geq 2 \end{cases} \quad (2.19)$$

$$d_j = \begin{cases} 0 & \text{if } j = 0 \\ 1 & \text{if } j = 1 \\ q_j \cdot d_{j-1} + d_{j-2} & \text{if } j \geq 2 \end{cases} \quad (2.20)$$

## References

- [1] Friedrich L. Bauer - Decrypted Secrets - Methods and Maxims of Cryptology - 4<sup>th</sup> Edition, Springer 2007.
- [2] Schneier B., Applied Cryptography, John Wiley & Sons, 1996.
- [3] Douglas R. Stinson - Cryptography, Theory and Practice, Third Edition, Chapman & Hall CRC, 2003
- [4] M. J. Wiener, Cryptanalysis of short RSA secret exponents. EUROCRYPT '89 Proceedings. Lecture Notes

---

\* Mihai MARIN, Scientific Researcher 2<sup>nd</sup> degree, Military Equipment and Technologies Research Agency, ROMANIA, marin\_mihai2001@yahoo.com

\*\* Florin RĂSTOCEANU, Scientific Researcher, Military Equipment and Technologies Research Agency, ROMANIA, rastoceanu\_florin@yahoo.com

## INVESTIGAREA MEDIULUI ELECTROMAGNETIC DIN ZONE URBANE

Adrian Marian MAȚOI\*  
Elena HELEREA\*\*

*Rezumat: Sursele de perturbații electromagnetice sunt capabile să interacționeze, să acționeze asupra altor sisteme tehnice și să polueze mediul electromagnetic. Efectele produse depind atât de caracteristicile lor tehnice cât și de parametrii mediului în care se află. În aceasta lucrare sunt prezentate unele din rezultatele investigații mediului electromagnetic din zonele urbane aglomerate. Determinările experimentale sunt efectuate cu un sistem portabil pentru măsurarea câmpului electromagnetic în puncte anterior stabilite pe domeniul de frecvență 80 MHz – 3 GHz. Interpretarea rezultatelor permite identificarea anumitor tipuri de surse de perturbații. Rezultatele obținute servesc drept referință pentru determinarea nivelului de expunere la câmpuri electromagnetice și pentru stabilirea unor metode de reducere/ecranare adecvate. Studiul de caz este realizat în patru zone aglomerate ale municipiului Brașov.<sup>1</sup>*

### I. Introducere

În ultimele decenii, datorită dezvoltării economice, au apărut o serie de surse neintenționate de perturbații electromagnetice: stații de transformare, linii electrice, linii pentru transmisii de date, instalații industriale, sisteme de alarmă și supraveghere, etc. Mai mult, în zonele urbane aglomerate sunt prezente în permanență surse mobile de perturbații: autovehicule, telefoane mobile, stații de comunicare, aparate radar [1], [2].

Determinarea nivelurilor câmpului electromagnetic este o temă de actualitate, investigații asupra mediului electromagnetic fiind deja efectuate [3], dar zonele vizate se află în altă arie geografică, domeniul de frecvență acoperit este diferit iar numărul și complexitatea surselor de perturbații mai mic.

Lucrarea vizează stabilirea nivelurilor câmpului electromagnetic și identificarea surselor de perturbații electromagnetice în domeniul de frecvență 80 MHz – 3 GHz din zone urbane aglomerate și caracterizarea mediului electromagnetic din vecinătatea acestora.

### II. Măsurători de perturbații electromagnetice în câmp îndepărtat

Câmpul electromagnetic poate fi caracterizat la distanțe suficient de mari față de sursă atât prin intensitatea câmpului magnetic cât și prin intensitatea câmpului electric, acestea fiind în fază și cuplate prin impedanța de undă caracteristică mediului [4]-[8].

Condițiile care se impun pentru definirea zonelor îndepărtate sau apropiate față de o sursă de câmp electromagnetic, cu o eroare mai mică de 1%, depind de distanța  $r$  la care se face măsurarea față de sursă și de lungimea de undă  $\lambda$  a semnalului emis [4]:

- pentru zona îndepărtată:

$$r \geq 16\lambda, \quad (1)$$

- pentru zona apropiată:

$$r \leq 0,0016 \lambda. \quad (2)$$

Efectele surselor de perturbații depind atât de caracteristicile acestora, cât și de parametrii mediului. O caracteristică importantă a mediului o reprezintă impedanța de undă, definită prin raportul dintre intensitatea câmpului electric și intensitatea câmpului magnetic într-un punct din spațiu. Impedanța de undă a mediului în câmp îndepărtat are expresia [4]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \quad (3)$$

Pentru aer sau vid valoarea impedanței de undă în câmp îndepărtat are valoarea  $Z_0 = 120\pi \approx 377 \Omega$ . Umiditatea influențează puternic impedanța aerului prin valoarea permitivității dielectrice  $\varepsilon_0$ .

Diferența de fază între componenta electrică și cea magnetică a câmpului generat de o sursă este semnificativă doar în zona apropiată, cei doi vectori tinzând să fie în fază odată cu creșterea distanței față de sursă.

Pentru domeniul de frecvență vizat, 80 MHz – 3 GHz, distanța minimă față de un dipol electric, conform relației (1), este cuprinsă în domeniul (1,6 – 60) m. Distanța mai mare trebuie asigurată pentru sursele de frecvență mai mică. De asemenea, elementele definatorii ale zonelor caracteristice antenei dipol (scurt) se păstrează din punct de vedere calitativ pentru orice alt sistem radiant.

În prezent există mai multe modalități de a caracteriza mediul electromagnetic intenționat: prin descrierea caracteristicilor surselor, prin tipurile de efecte pe care le pot produce, prin descrierea naturii câmpurilor electromagnetice aplicate sau prin determinarea intensității câmpului electric în jurul surselor de perturbații electromagnetice [9]. În lucrare se utilizează metoda de caracterizare a câmpului electromagnetic prin măsurarea componentei electrice a câmpului electromagnetic.

### III. Determinări experimentale

Pentru stabilirea nivelurilor de perturbații s-a utilizat un sistem portabil de măsurare a emisiilor electromagnetice, tip Rohde&Schwarz TS-EMF, format din analizor de spectru și antenă izotropă, cu următoarele caracteristici:

- Domeniu de frecvență: 80 MHz – 3 GHz;
- Sensibilitate: 1 mV/m;
- Gamă dinamică de măsurare: 1 mV/m - 100 V/m;
- Detectare valori de vârf și medii.

Veridicitatea datelor obținute este asigurată prin: efectuarea măsurătorilor în spații deschise pentru a se evita reflexiile de semnal, observarea temperaturii, umidității și presiunii atmosferice.

O variație semnificativă a acestor condiții duce la obținerea de valori eronate, de aceea calibrarea sistemului în funcție de nivelul de zgomot și verificarea reproductibilității măsurătorilor este esențială.

Pentru măsurători s-au stabilit următorii parametri ai sistemului de măsurare:

- Domeniu de măsurare: 80 MHz – 3 GHz;
- Banda de rezoluție: 200 kHz;
- Pas de frecvență: 1 MHz;
- Timp de scanare: 250 ms;
- Nivel de prag: + 5 dB față de zgomot (obținut prin calibrare); Distanța antenei față de planul de referință: 1,5 m.

Schema de măsurare, pentru cazul măsurătorilor în câmp îndepărtat (se prevede o distanță minimă de 60 m față de orice sursă de perturbații) este prezentată în Fig. 1a. Modul de amplasare a sistemului portabil pentru măsurarea emisiilor electromagnetice este prezentat în Fig. 1b.

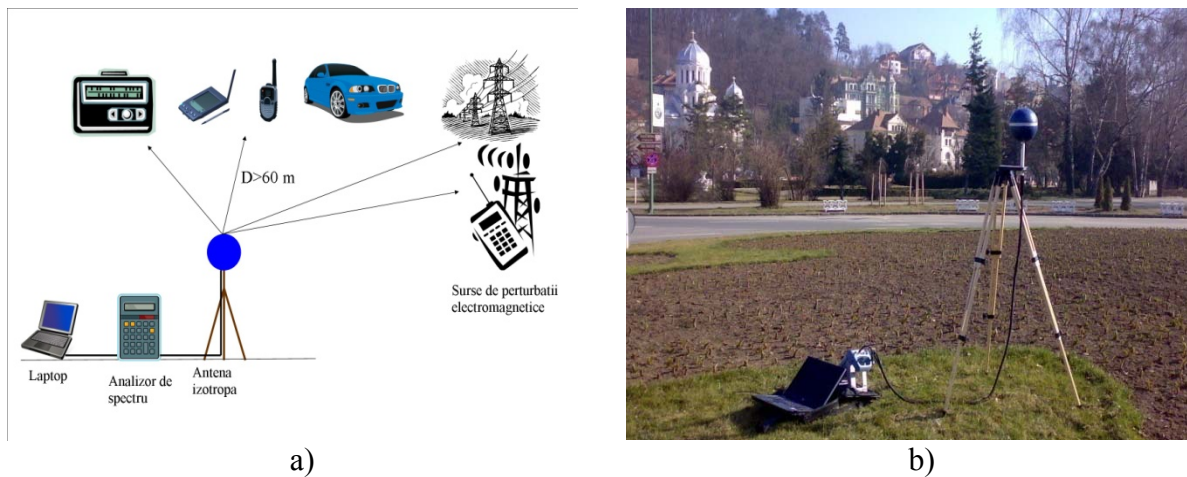


Fig. 1: Măsurarea intensității câmpului electric: Schema de măsurare; b) Sistemul portabil de măsurare a emisiilor electromagnetice.

Având în vedere caracteristicile zonelor urbane, pentru monitorizarea nivelurilor de emisii electromagnetice s-a stabilit ziua caracteristică și momentele de timp de măsurare (orele 9.00, 12.00 și 16.00) din patru zone aglomerate ale Municipiului Brașov:

- Zona A – Astra Brașov,
- Zona B – Bartolomeu Brasov,
- Zona C – Gară Brașov,
- Zona D – Rectorat Brașov.

Pentru intervalul de măsurători considerate s-au monitorizat și parametrii mediului ambiant (umiditate și temperatură), care pe durata măsurătorilor nu au prezentat variații semnificative.

Unele din datele obținute sunt prezentate în Fig. 2 – Fig. 5.

În Fig. 2 este prezentat spectrul intensității câmpului electric în valori de vârf, comparativ, pentru cele trei momente de timp de măsurare, de la orele 9.00 până la orele 16.00 pentru zona Astra Brașov.

Măsurătorile efectuate indică o variație semnificativă a valorilor de vârf ale intensității câmpului electric în punctul de măsurare, pentru cele trei momente considerate, în domeniile de frecvență 871-984 MHz, 1775-1880 MHz, 2114-2227 MHz. Pentru celelalte zone monitorizate s-au constatat aceeași evoluție a spectrului câmpului electric.

În Fig. 3 – Fig. 5 sunt prezentate înregistrările obținute pentru spectrul câmpului electric din zonele Gară, Bartolomeu și Rectorat pentru situația cu cele mai mari valori ale intensității câmpului electric.

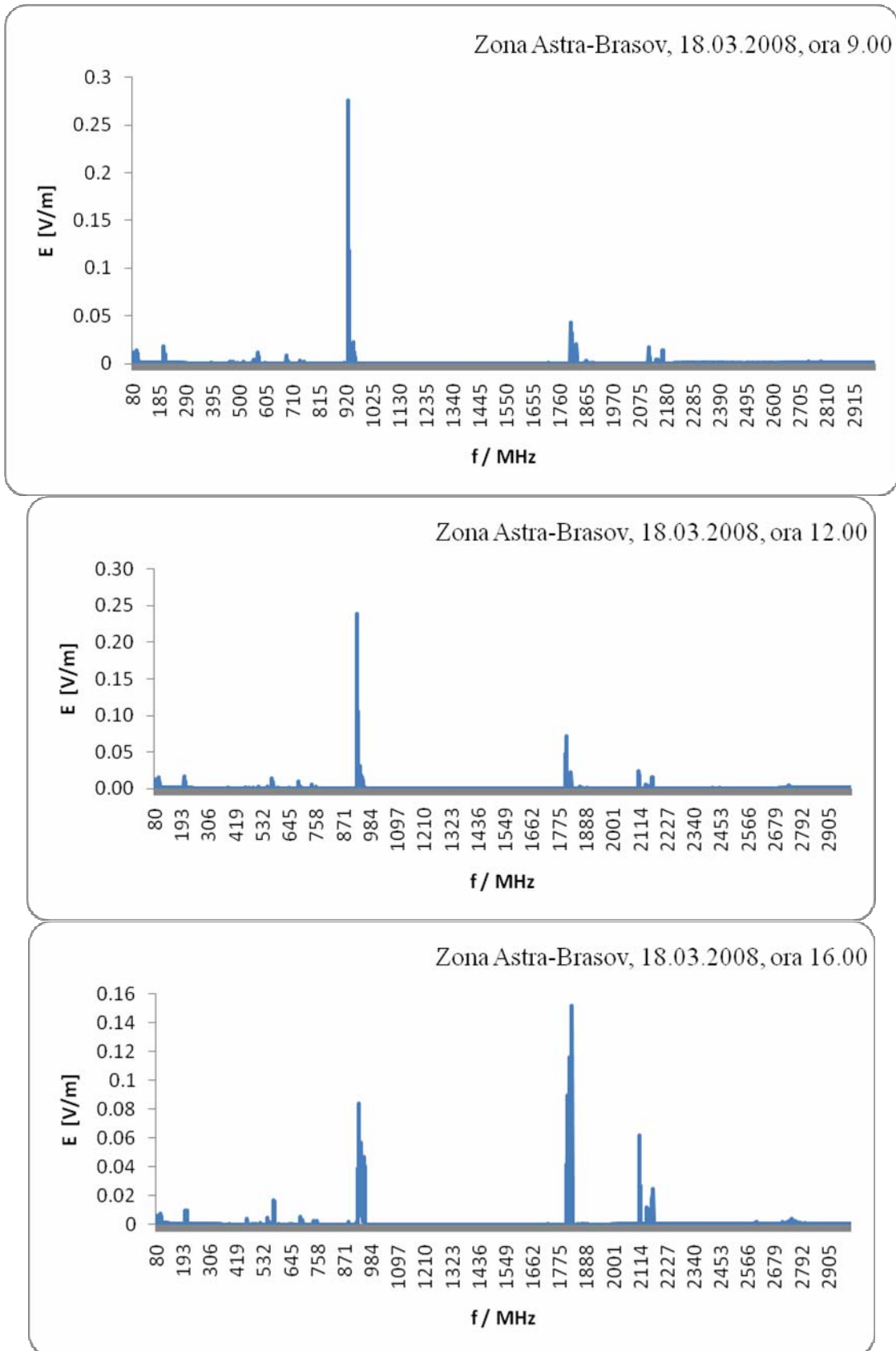


Fig. 2: Intensitatea câmpului electric (valori de vârf) în funcție de frecvență, în zona Astra-Brasov, la trei momente de timp de măsurare: orele 9.00; 12.00; 16.00.

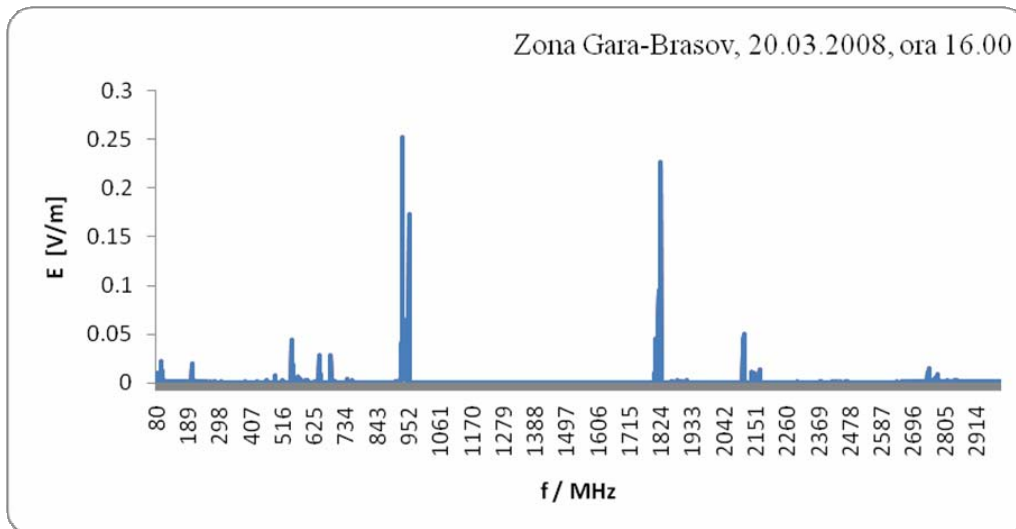


Fig. 3. Intensitatea câmpului electric (valori de vârf) în funcție de frecvență, în zona Gară-Brașov, măsurată la ora 16.00.

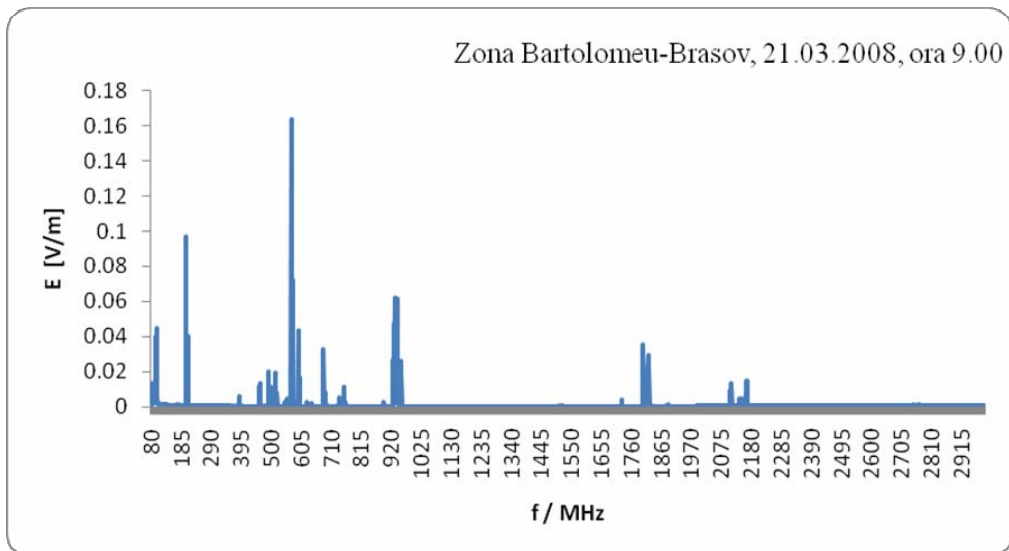


Fig. 4. Intensitatea câmpului electric (valori de vârf) în funcție de frecvență, în zona Bartolomeu-Brașov, măsurată la ora 9.00.

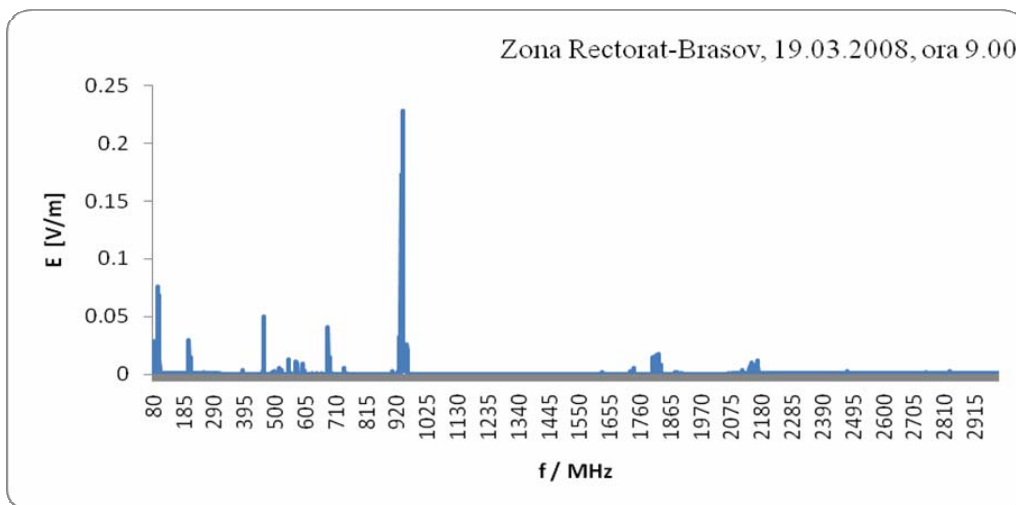


Fig. 5. Intensitatea câmpului electric în funcție de frecvență, în zona Rectorat-Brașov, măsurată la ora 9.00.



Datele obținute au fost prelucrate, considerând intervalele de frecvență în care intensitatea câmpului electric al surselor de perturbații este semnificativă.

În Tabelul 1 sunt prezentate nivelurile maxime ale valorilor de vârf ale intensității câmpului electric  $E_{v,max}$ , pentru intervalele de frecvență considerate, măsurate la orele 9,00; 12,00; 16,00.

Pentru fiecare interval de frecvență considerat, s-au calculate mediile și abaterea valorilor obținute în cele trei momente de timp de măsurare, cu relațiile:

$$E_{v,med} = \frac{1}{3} \cdot \sum_{k=1}^3 E_{v,max,k} \quad (4)$$

$$A = \frac{|E_{v,max,k} - E_{v,med}|}{E_{v,med}} \cdot 100 [\%] \quad (5)$$

Tabel 1: Intensitatea maximă a câmpului electric pe diferite intervale de frecvență în zonele urbane supravegheate: Zona A – Astra Brașov, Zona B – Bartolomeu Brașov, Zona C – Gară Brașov, Zona D – Rectorat Brașov.

Domeniul de frecvență	Zona urbană supravegheată	$E_{v,max}$ [mV/m]			$E_{v,med}$ [mV/m]	$A$ [%]
		Ora 9,00	Ora 12,00	Ora 16,00	Media	Abaterea
80-110 MHz	Zona A	14.44	15.6	7.68	12.6	38.92
	Zona B	44.5	50.1	17	37.2	54.30
	Zona C	19.6	22.1	22.5	21.4	8.41
	Zona D	76.1	42.2	32.1	50.1	51.80
200-230 MHz	Zona A	18.2	17	10.2	15.1	32.60
	Zona B	96.7	96.2	8.93	67.3	86.73
	Zona C	8.2	11.4	19.1	12.9	48.06
	Zona D	29.7	30.1	30.9	30.2	2.21
550-580 MHz	Zona A	12.2	14.6	17.2	14.7	17.27
	Zona B	163	183	36.8	127.6	71.16
	Zona C	3.95	5.59	43.6	17.7	146.14
	Zona D	12.7	74.2	77.4	54.8	76.81
920-970 MHz	Zona A	276	238	84.2	199.4	57.77
	Zona B	61.9	43.2	70.3	58.5	26.11
	Zona C	81.4	261	252	198.1	58.92
	Zona D	228	189	107	174.7	38.74
1800-1840 MHz	Zona A	43.4	71.7	152	89.0	70.72
	Zona B	35.8	30.1	27.8	31.2	14.62
	Zona C	162	177	226	188.3	20.00
	Zona D	17.8	115	106	79.6	77.64
2110-2180 MHz	Zona A	17.1	24.6	62	34.6	79.36
	Zona B	14.7	18.8	19	17.5	16.00
	Zona C	20.8	18.5	49.9	29.7	67.83
	Zona D	12.2	27.4	22.8	20.8	41.35

Intensități semnificative ale câmpului electric au mai fost observate și la frecvențele:

- 743 MHz, în zona B, atingând valoarea maximă de 15,2 mV/m;
- 465 MHz, în zona D, atingând valoarea maximă de 49,8 mV/m;
- 687 MHz, în zonele C și D, atingând valoarea maximă de 41,2 mV/m.

Din datele prezentate reies următoarele:

- cele mai ridicate valori ale intensității câmpului electric s-au înregistrat în zonele A (Astra Brașov) și D (Rectorat Brașov), în domeniul de frecvență 920-970 MHz și în zona C (Gară Brașov), în domeniul de frecvență 1800-1840 MHz;
- în zona B (Bartolomeu Brașov) există o sursă în domeniul de frecvență 550-580 MHz, activă pe tot intervalul de timp analizat (intensitatea câmpului electric atinge 183 mV/m);
- în zonele C (Gară Brașov) și D (Rectorat Brașov) există o tendință de creștere a intensității câmpului electric în a doua jumătate a zilei de măsurători;
- Pentru anumite intervale de frecvență și zone se observă o abatere semnificativă față de valoarea medie a intensității câmpului electric. Aceasta impune o investigație mai amănunțită a zonelor, pentru stabilirea exactă a tipului de surse de perturbații, fixe sau mobile precum și comportamentul acestora în timp.

Este posibilă o identificare a tipurilor de surse de perturbații electromagnetice, care definesc mediul electromagnetic din zonele monitorizate. Conform clasificărilor, [4], [10], sursele de perturbații electromagnetice prezente în zonele investigate pot fi:

- ✓ In domeniul 80 MHz - 110 MHz, transmițătoare de radio FM;
- ✓ In domeniul 200 MHz – 230 MHz, echipamente pentru telecomunicații fixe și mobile sau transmițătoare de televiziune în bandă VHF;
- ✓ In domeniul 550 MHz – 580 MHz, transmițătoare de televiziune în bandă UHF;
- ✓ In domeniul 920 MHz – 970 MHz, echipamente pentru telecomunicații mobile;
- ✓ In domeniul 1800 MHz – 1840 MHz, echipamente pentru telecomunicații mobile;
- ✓ In domeniul 2110 MHz-2180 MHz, echipamente radio/astronomie.

Conform studiilor [11] și legislației în vigoare în România [12] privind limitarea expunerii populației la câmpuri electromagnetice în domeniul de frecvențe de la 0 Hz la 300 GHz, valorile intensității câmpului electric din zonele monitorizate sunt sub cele impuse.

#### IV. Concluzii

În această lucrare s-a efectuat o investigație a mediului electromagnetic din patru zone urbane aglomerate din municipiul Brașov. S-a demonstrat că efectele surselor de perturbații depind atât de caracteristicile surselor cât și de parametrii mediului în care se află.

S-a stabilit schema de măsurare în zona de câmp îndepărtat față de orice sursă prezumtivă de perturbații, prin asigurarea unei distanțe minime corespunzătoare.

După stabilirea zonelor de interes și a metodei adecvate de măsurare, s-a determinat intensitatea câmpului electric (valori de vârf) în trei momente diferite ale zilei caracteristice de măsurători, în domeniul de frecvență 80 MHz – 3 GHz.

Interpretarea datelor a evidențiat zonele, domeniile de frecvență și perioadele în care perturbațiile electromagnetice sunt semnificative. S-au identificat, prin comparație, diferite tipuri de surse de perturbații care pot fi amplasate în zonele investigate. Datele obținute indică valori în limitele ale intensității câmpului electric care nu depășesc limitele admisibile impuse de reglementările în vigoare.

## Bibliografie

- [1] \* \* \*: *More on EMC Terminology*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-29, No. 3, August 1987, p. 202-205.
- [2] Adăcăliței A., Ball R., Crețu M., ș.a., *Electromagnetic Compatibility Testing and measurement. Parctical Manual*, 2002, Warwick University.
- [3] Galvao, B.S.M.C., Santos, G., Onusic, H., Sant'Anna, L.F.P.: *Electromagnetic environmental measurements in specific populated areas of Brazil*, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2001, Volume 1, 13-17 Aug. 2001 pp. 106 – 110.
- [4] Bădic M., Pîslaru-Danescu L., Stefan M.: *Bazele Ecranării Electromagnetice*, Vol. I, Editura Electra, 2007, București, ISBN: 978-973-7728-93-7, 978-973-7728-97-5.
- [5] Poljak, D.: *Advanced Modeling in Computational Electromagnetic Compatibility*, Editura John Wiley & Sons Inc., 2007, New Jersey, USA, ISBN: 978-0-470-03665-5.
- [6] Marian Costea: *Metode și Mijloace de Asigurare a Imunității Electromagnetice*, Editura AGIR, 2006, București, ISBN: 973-720-041-1.
- [7] Perambur S. Neelakanta, Rajeswari Chatterjee: *Antennas for Information Super Skyways: An Exposition on Outdoor and Indoor Wireless Antennas*, Research Studies Press Ltd., 2003, Baldock, England, ISBN: 0-86380-267-2.
- [8] Schmitt, Ron: *Electromagnetics Explained*, Newnes publishing house, 2002, ISBN 0-7506-7403-2.
- [9] D. V. Giri, F. M. Tesche: *Classification of Intentional Electromagnetic Environments* (IEME IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Vol. 46, No. 3, 2004, Pagina: 322-328.
- [10] Dipak L. Sengupta, Valdis V. Liepa: *Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility*, Editura John Wiley & Sons Inc., 2006, New Jersey, USA.
- [11] \* \* \*: *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1998, Health Physics Society.
- [12] \* \* \*: Ministerul Sănătății Publice: *ORDIN nr. 1.193 din 29 septembrie 2006, pentru aprobarea Normelor privind limitarea expunerii populației generale la câmpuri electromagnetice de la 0 Hz la 300 GHz*, publicat în Monitorul Oficial nr. 895 din 3 noiembrie 2006.

---

<sup>i</sup>(\*) Adrian Marian Mațoi, drd.ing., Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Str. Politehnicii nr. 1, tel. 0268474718, e-mail: [matoiu@unitbv.ro](mailto:matoiu@unitbv.ro)

(\*\*) Elena Helerea, prof. univ. dr.ing., Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Str. Politehnicii nr. 1, tel. 0268474718, e-mail: [helerea@unitbv.ro](mailto:helerea@unitbv.ro)

## ANALIZA ȘI PROGNOZA DEFECTELOR ÎN INSTALAȚIILE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

Cătălin MIHAI\*  
Elena HELEREA\*\*  
Adrian MUNTEANU\*\*\*

*Rezumat: În lucrare sunt analizați indicatorii de fiabilitate în funcție de particularitățile legilor de distribuție, a probabilității de apariție a defectelor în instalațiile de distribuție a energie electrice. Studiul de caz cuprinde analiza probabilistică a defectelor pentru stațiile de transformare de medie tensiune și linii electrice aeriene de 110 kV de la SC FDEE Electrica Distribuție Transilvania SUD, pe baza incidentelor produse pe parcursul a cinci ani (2003-2007). Studiul confirmă valabilitatea unei repartiții exponențiale a probabilității de apariție a defectelor și faptul că instalațiile mai des supuse defectelor sunt liniile electrice aeriene, urmate în ordine de liniile subterane, stațiile de transformare și generatoare.*

### I. Introducere

Realizarea nivelului de calitate a energiei electrice oferit de către furnizori nu poate fi obținut decât prin asigurarea condițiilor tehnice și de mentenanță specifice, la nivelul distribuitorului, transportatorului și producătorului de energie electrică. În acest mod, monitorizarea indicatorilor de calitate în punctele de interfață dintre transportator și distribuitor precum și asigurarea nivelului standard de calitate în aceste puncte sunt determinante în asigurarea nivelului de calitate oferit de către furnizor. Desigur că odată cu cunoașterea indicatorilor de calitate în punctele de interfață dintre producător și transportator prezintă un interes deosebit evaluarea nivelului de calitate a energiei electrice în punctele de conectare cu distribuitorii. Defectele care apar în a instalațiile de distribuție a energie electrice sunt complexe, atât din punct de vedere al cauzelor cât și al efectelor pe care le produc. Cele mai des întâlnite defecte în instalațiile de distribuție a energie electrice (IDEE) sunt cele datorate deteriorării izolației electrice (care pot conduce la scurtcircuite între trei faze, între două faze sau între o fază și pământ) și cele datorate întreruperilor conductoarelor (ruperi de conductoare, arderea unei siguranțe pe o fază, deschiderea unui separator pe o singură fază etc.) [1]. Din punct de vedere statistic și al fiabilității, apariția unui defect se tratează ca un eveniment aleator, considerat incident în cazul când conduce la modificarea stării anterioare a ansamblurilor funcționale, prin abateri ale parametrilor funcționali ai acestora, în afara limitelor prevăzute, și prin reduceri ale puterii electrice transmise, indiferent de efectul lor asupra consumatorilor și indiferent de momentul în care se produc [2]-[5].

Analiza comparativă a defectelor în IDEE este utilă pentru fundamentarea studiilor de prognoza și diagnoză și în fundamentarea politicii de mentenanță.

În lucrarea de față se analizează frecvența de apariție a defectelor pentru stațiile de transformare de medie tensiune MT și LEA 110 kV, în funcție de durata lor, aflate în gestiunea SC FDEE Electrica Distribuție Transilvania SUD, prin studiul incidentelor produse pe parcursul a cinci ani (2003-2007).

## II. Incidente și defecte

Evenimentele întâmplătoare din exploatarea instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice, care conduc la modificări ale stării operaționale sau ale schemei de funcționare a acestora sau la abaterile unor parametri sau caracteristici de funcționare în afara limitelor stabilite prin reglementări sau contracte, cu sau fără repercursiuni privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, reprezintă evenimentele accidentale.

Evenimentele accidentale în IDEE pot conduce la:

- a. indisponibilizarea accidentală, totală sau parțială, a unei instalații de producere, transport sau distribuție a energiei electrice sau a unor componente ale acestor instalații aflate în funcționare sau în rezervă;
- b. perturbații apărute în sistemul energetic național - SEN;
- c. pierderea accidentală de energie hidroelectrică (la amenajările hidroenergetice);
- d. întreruperea sau limitarea accidentală a alimentării cu energie electrică a consumatorilor;
- e. reducerea puterii electrice produse, în afara dispozițiilor dispecerului energetic.

Evenimentele accidentale care apar în instalațiile de producere a energiei electrice, în rețelele de transport și distribuție a energiei electrice cu tensiunea peste 1 kV se manifestă:

- prin abateri ale parametrilor funcționali ai acestora, în afara limitelor prevăzute prin reglementări sau contracte,
- prin reduceri ale puterii electrice produse pe centrală sau pe grupuri energetice.

Indiferent de efectul lor asupra consumatorilor și indiferent de momentul în care se produc acestea reprezintă incidente.

În Tabelul 1 este prezentată o clasificare a incidentelor, din punct de vedere a cauzelor de producere pe parcursul unui an, din cadrul companiei naționale de distribuție a energiei electrice zona Transilvania, aparținând SC FDEE Electrica Distribuție Transilvania SUD.

Tabel 1. Clasificarea incidentelor după cauza care le-a produs.

Nr. crt.	Cauza incidentelor în instalațiile de distribuție
1	Deficiențe în concepția și proiectarea instalațiilor
2	Deficiențe în fabricarea echipamentelor
3	Deficiențe de construcție-montaj ale instalațiilor
4	Calitatea necorespunzătoare a materialului
5	Exploatare sau întreținere-reparații necorespunzătoare a instalațiilor
6	Solicitări peste limitele pentru care au fost dimensiunile instalațiilor datorate unor factori externi întâmplători
7	Condiții meteorologice deosebite sau calamități naturale
8	Cauze exterioare gestionarului de instalații, loviri
9	Acțiuni ale păsărilor sau animalelor mici
10	Cauze neidentificate

Se consideră *incidente* în rețelele electrice:

- declanșarea sau scoaterea accidentală din funcțiune a unuia sau mai multor ansambluri funcționale din rețelele electrice de transport și distribuție de înaltă și medie tensiune (peste 1kV) sau componente ale acestora,
- defectarea transformatoarelor sau autotransformatoarelor din rețeaua de 220 kV și mai mult, cu puteri de 100 MVA sau mai mari, aflate în rezervă;
- defectarea liniilor electrice cu tensiunea de 220 kV și mai mare;
- acționarea, neselectiv sau intempestiv, a instalațiilor de protecții și automatizări, din cauze proprii acestor instalații;
- funcționarea nereușită a instalației reanclanșare automată a rezervei - RAR pe o linie, chiar dacă în capătul opus al liniei electrice aeriene - LEA a fost o funcționare reușită, linia rămânând sub tensiune;
- evenimentele accidentale care conduc la abaterea tensiunii în afara limitelor stabilite prin reglementări;
- nefuncționarea automaticii de sistem, dacă acestea au avut condiții de funcționare.

Situația incidentelor în instalațiile rețelelor electrice de distribuție, din cadrul SC FDEE Electrica Distribuție Transilvania SUD zona Harghita, pentru anii 2003 – 2007 este prezentată în Fig. 1.

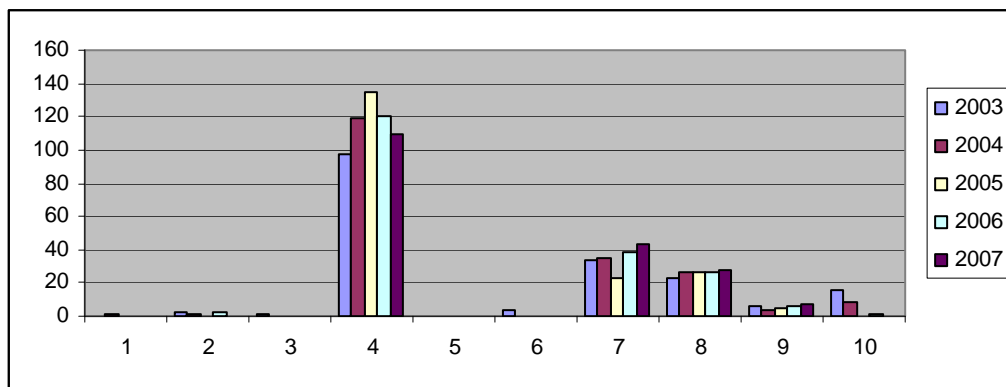


Fig. 1: Situația întreruperilor după tipul de defecte, conform Tabelului 1, în zona Harghita, în perioada 2003-2007

În perioada 2003 - 2007 cele mai multe incidente s-au datorat „Calității necorespunzătoare a materialului” ca urmare a: defectelor de fabricație, a uzurii tehnice a materialului în condiții normale de funcționare, a epuizării duratei de funcționare, a uzurii tehnice în cazul materialelor cu durata de funcționare limitată prevăzută în proiect sau a uzurii tehnice a materialului pentru care nu este stabilită durata de funcționare proiectată. Spre deosebire de anii 2006 și 2005, se remarcă o scădere în anul 2007 a procentajului acestui tip de incidente cu aproximativ 10 %. Cauzele exterioare gestionarului de instalații au provocat aproximativ 25% din totalul incidentele înregistrate la nivelul zonei Harghita.

În ultima perioadă are loc o creștere a numărului de incidente și deranjamente din cauza condițiilor meteorologice deosebite (schimbări bruște de temperatură, vânt puternic, viscol, descărcări atmosferice, secetă și îngheț) sau calamități naturale (inundații, viituri, alunecări de teren, infiltrații de apă). În Tabelul 2 este prezentată, situația întreruperilor după tipul instalațiilor electrice.

Tabelul 2. Clasificarea întreruperilor după tipul de instalație electrică

Nr. crt.	1	2	3	4	5
Instalația	LEA 110 kV	Stații 110 kV	LEA 20 kV	LES 20 KV	PA PT

Situația întreruperilor produse în zona Harghita clasificate după tipul instalației electrice, conform Tabelul 2 este prezentată în Fig. 2.

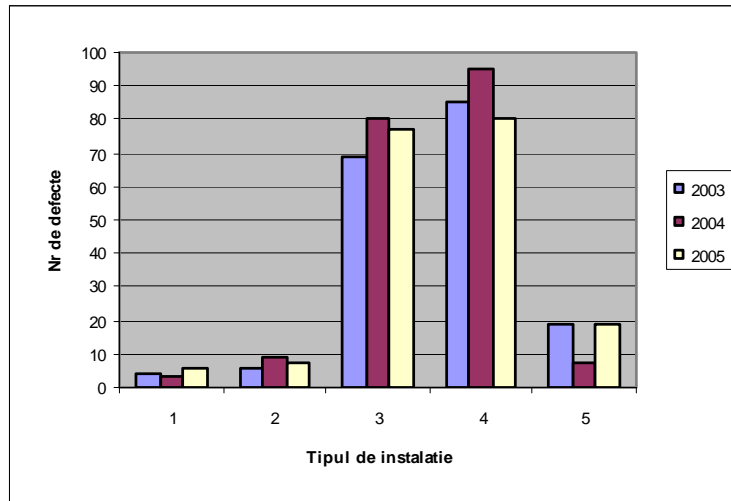


Fig. 2: Situația întreruperilor produse în zona Harghita, clasificate după tipul instalației electrice, conform notațiilor din Tabelul 2, pentru perioada 2003-2005

Conform figurii 2, în perioada 2003 – 2005 în zona Harghita, cel mai mare număr de defecte au fost produse la liniile electrice de medie tensiune.

Situația numărului total de întreruperi de lungă durată (peste 3 minute) la stațiile de transformare din zona Harghita, Brașov, Covasna, este prezentată în Fig. 3.

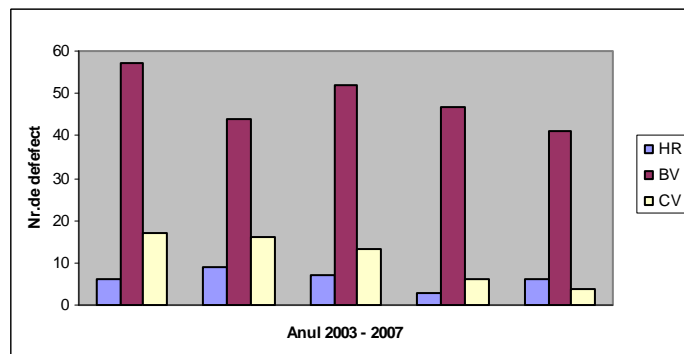


Fig. 3: Situația numărului total de întreruperi de lungă durată pentru stații de transformare în zona Harghita (HR), Brașov (BV), Covasna (CV)

În zona Sibiu, Alba Iulia, Târgu Mureș, pentru linii electrice 110 kV situația numărului total de întreruperi de lungă durată (peste 3 minute) este prezentată în Fig. 4.

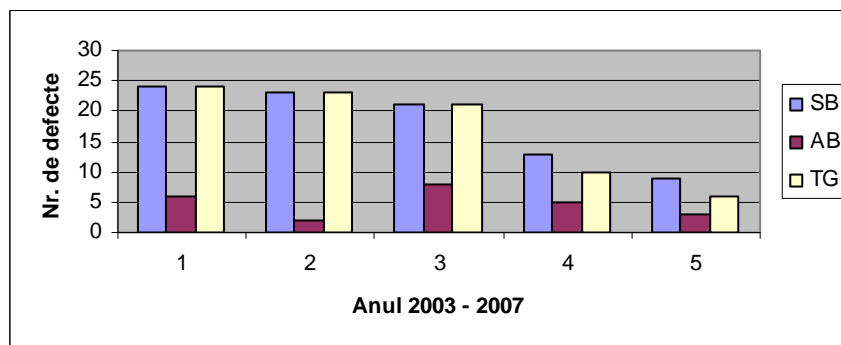


Fig. 4: Situația numărului total de întreruperi de lungă durată pentru liniile electrice 110 kV în zona Sibiu (SB), Alba Iulia (AB), Târgu Mureș (TG)



Apariția unui defect, tratat ca un eveniment aleator și considerat ca incident, conduce la modificarea stării anterioare a ansamblurilor funcționale, prin abateri ale parametrilor funcționali ai acestora, și prin reduceri ale puterii electrice transmise, indiferent de efectul lor asupra consumatorilor și indiferent de momentul în care se produc.

### III. Analiza defectelor cu teoria fiabilității

Analiza defectelor tratate ca evenimente aleatoare cu teoria fiabilității permite fundamentarea studiilor de prognoză și diagnoză și a planificării mentenanței echipamentelor. Scopul este determinarea indicatorilor de fiabilitate - rata de defectare și valoarea medie - în funcție de particularitățile legilor teoretice de distribuție.

Rata de defectare reprezintă limita raportului dintre probabilitatea ca un dispozitiv să se defecteze în intervalul deschis  $(t - \Delta t, t)$ , cu condiția ca el să fie în bună stare de funcționare la începutul intervalului, și mărimea intervalului  $\Delta t$ , când aceasta tinde către zero [6], [7]:

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t - \Delta t < T < t)}{\Delta t}; \quad (1)$$

unde:  $z(t)$  – densitatea de apariție a defectărilor la momentul  $t$ ,

$P(t - \Delta t < T < t)$  - probabilitatea de defectare în intervalul  $(t - \Delta t, t)$ .

$$P(t - \Delta t < T < t) = \frac{n(\Delta t)}{N(t - \Delta t)} \quad (2)$$

Statistic, rata de defectare reprezintă raportul dintre numărul de defecțiuni  $n(\Delta t)$  în unitatea de timp produse în unitate de timp și numărul de elemente  $N(t)$  care au rămas în funcțiune la începutul intervalului de observare:

$$z(t) = \frac{n(\Delta t)}{N(t - \Delta t) \cdot \Delta t} \quad (3)$$

$$z(t) = \frac{n(\Delta t)}{\frac{N(t - \Delta t)}{N_0} \cdot N_0 \cdot \Delta t} = \frac{f(t)}{R(t - \Delta t)}$$

Dacă  $\Delta t \rightarrow 0$ , atunci:

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (4)$$

$$\Rightarrow -\int_0^t z(t) dt = \int_0^t \frac{dR(t)}{R(t)} = \ln R(t) \Big|_0^t = \ln R(t) - \ln R_0 = \ln R(t) - \ln 1 = \ln R(t)$$

unde:  $f(t)$  – densitatea de probabilitate a timpului de bună funcționare,  $R(t)$  – funcția de fiabilitate. Rezultă:

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(t) dt} \quad (5)$$

Relația (5) este expresia generală a funcției de fiabilitate, fiind valabilă pentru toate legile de repartiție ale timpului de funcționare. Dacă rata de defectare este constantă,  $z(t) = \text{const.} = \lambda$ , atunci:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Intensitatea de defectare  $\lambda$  (t) este probabilitatea ca un dispozitiv, care a funcționat neîntrerupt până în momentul  $t$ , să se defecteze în următorul interval de timp  $\Delta t$  foarte scurt.

În cazul repartiției exponențiale a perioadei de funcționare între două avarii succesive  $\lambda(t) = \lambda = \text{constant}$ . Intensitatea de reparare  $\mu(t)$  este probabilitatea ca un dispozitiv care a fost defect la momentul  $t$  să fie reparat în următorul interval de timp  $\Delta t$  foarte scurt. În cazul repartiției exponențiale a perioadelor de reparare:  $\mu(t) = \text{constant}$ .

Funcția fiabilității redată în relația (5) și (6), ca densitatea de probabilitate a timpului de bună funcționare va avea următoarea formă:

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Rezultă media timpului de bună funcționare pentru cazul unei repartiții exponențiale:

$$m = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (8)$$

unde  $m$  – variația tipului de bună funcționare. Dacă  $z(t) = \lambda$ , atunci:

$$m = \lambda \int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} dt \quad (9)$$

$$\int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{t}{e^{\lambda t}} \Big|_0^{\infty} + \frac{1}{\lambda} \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt; \quad \frac{t}{e^{\lambda t}} \Big|_0^{\infty} = \frac{\infty}{\infty} - \frac{0}{1} \quad (10)$$

Pentru înlăturarea nedeterminării se aplică regula lui l' Hôspital:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{e^{\lambda t}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{\lambda \cdot e^{\lambda t}} = 0. \Rightarrow \frac{t}{e^{\lambda t}} \Big|_0^{\infty} = 0. \quad (11)$$

$$\int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda^2} \cdot e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = -\frac{1}{\lambda^2} (0 - 1) = \frac{1}{\lambda^2}. \Rightarrow m = \lambda \cdot \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda}. \quad (12)$$

$$m = \frac{1}{\lambda} \quad (13)$$

Dispersia timpului de bună funcționare  $D$  în cazul unei repartiții exponențiale este:

$$D = \int_0^{\infty} (t - m)^2 \cdot f(t) dt; \quad (14)$$

$$(t - m)^2 = u;$$

$$2(t - m)dt = du$$

$$e^{-\lambda t} dt = dv; \quad -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} = v; \quad t - \frac{1}{\lambda} = u; \quad dt = du; \quad e^{-\lambda t} dt = dv; \quad -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} = v;$$

$$D = \frac{1}{\lambda^2} \quad (15)$$

Abaterea medie pătratică:

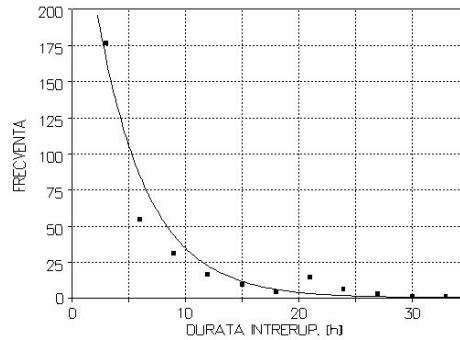
$$\sigma = \sqrt{D} = \frac{1}{\lambda} = m \quad (16)$$

Relațiile (13), (15) și (16) definesc indicatorii de fiabilitate în cazul unei repartiții exponențiale a timpilor de bună funcționare.

#### IV. Studiu de caz

Studiul de caz cuprinde analiza probabilistică a defectelor pentru stațiile de transformare de medie tensiune MT de la SC FDEE Electrica Distribuție Transilvania SUD, pe baza incidentelor produse pe parcursul a cinci ani (2003-2007). Studiul confirmă valabilitatea unei repartiții exponențiale a probabilității de apariție a defectelor deoarece dependența frecvenței de apariție a defectelor și durata întreruperilor este o exponențială.

Deoarece  $r^2=0,94478$ , se poate accepta ca legea de repartiție a duratei întreruperilor să fie de formă exponențială.



22

Fig. 5: Frecvența de apariție funcție de durata întreruperilor

Ecuția curbei din Fig. 5 este:

$$f = \exp[a + bD] \quad (17)$$

unde: s-a notat cu  $f$  frecvența de apariție a defectelor și cu  $D$  durata întreruperilor. Valorile constantelor sunt:  $a = 5,8026264$ ,  $b = -0,22571911$ .

Curba din Fig.5 sugerează o densitate de repartiție exponențială, a cărei expresie este:

$$f = \lambda \exp[-\lambda D] \quad (18)$$

Valoarea medie a unei variabile aleatoare cu repartiție exponențială este:

$$m[f] = \frac{1}{\lambda} \quad (19)$$

iar dispersia:

$$\sigma^2[f] = \frac{1}{\lambda^2} \quad (20)$$

Verificăm dacă relația (17) reprezintă o densitate de repartiție. Se calculează:

$$\int_0^{\infty} \exp(a - bD) dD = \exp(a) \frac{\exp(-bD)}{-b} \Big|_0^{\infty} = \frac{\exp(a)}{b} \quad (21)$$

Pentru ca relația (17) să reprezinte o densitate de repartiție trebuie împărțită la  $\frac{\exp(a)}{b}$ . Atunci valoarea medie a unei variabile aleatoare care are densitatea de

repartiție dată de relația (21) împărțită la  $\frac{\exp(a)}{b}$  este:

$$f = \exp[a - bD] \frac{b}{\exp(a)} = b \exp[-bD] \quad (22)$$

o expresie similară cu (17). În concluzie valoarea medie a variabilei aleatoare  $D$  este egală cu parametrul  $b$  al ecuației (17).

Rezultă: Valoarea medie a duratei  $m[D] = 0,22571911$  [h]. Dispersia de selecție are valoarea  $s^2 = 0,016206$  iar abaterea medie pătratică de selecție este  $s = \sqrt{s^2} = 0,12730$ .

## V. Concluzii

Siguranța în funcționare a instalațiile de distribuție a energiei electrice (IDEE) este o cerință de maximă importanță în asigurarea calității energiei electrice livrate consumatorilor, care depinde de calitatea instalațiilor electrice și implicit, de politica de mentenanță a companiilor de electricitate.

Analiza efectuată permite utilizarea informațiilor pentru mentenanța preventivă, semnalarea unor incidente incipiente înainte ca avaria să apară în rețeaua de distribuție și oferă informația necesară pentru realizarea unei continuități ideale (zero timp de întrerupere).

Studiul defectelor în IDEE este util pentru fundamentarea studiilor de prognoza și diagnoză și în fundamentarea politicii de mentenanță.

## Bibliografie

- [1] \* \* \* NTE 005/06/00: *Normativ privind metodele și elementele de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor electrice.*
- [2] Stillman, R., *Power Line Maintenance With Minimal Repair And Replacement*, IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2003.
- [3] Kececioglu, D., *Reliability Engineering Handbook*, Vol. 2, 2002, DEStech Publication, Inc., Pennsylvania USA.
- [4] Mettas, A., *Reliability Predictions based on Customer Usage Stress Profiles*, IEEE, RAMS 2005.
- [5] Munteanu, A., Grama, C., Mihai, C., *Analiza indicatorilor de fiabilitate pentru echipamentele rețelei de 110 kV din cadrul SC FDFEE Brașov Transilvania SUD*, SIER 2007 Sinaia.
- [6] Nitu, V.: *Fiabilitate, disponibilitate, mentenanță în energetică*, Editura tehnică, București, 1979.
- [7] Martinescu, I., Popescu, I., *Fiabilitate*, Editura Gryphon, Brașov, 1995.

---

\* Drd.ing., SC FDEE Electrica Distribuție Transilvania Sud S.A., BRAȘOV, Str. Pictor Luchian nr. 25, Tel: 4 0268 305 314, Fax:4 0268 305 004, email: catalin.mihai@electricats.ro.

\*\* Prof. univ. dr.ing., Universitatea *Transilvania* Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Str. Politehnicii nr. 1-3, Brașov, Tel/Fax: 0040.268 47 47 18, e-mail: helerea@unitbv.ro.

\*\*\* Conf.univ. dr.ing., Universitatea *Transilvania* Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Str. Politehnicii nr. 1-3, Brașov, Tel/Fax 4 0268 47 47 18, e-mail: munteanu@leda.unitbv.ro.

## MATHECAD MODELLING OF THE DC-DC BUCK CONVERTER

Mihai MIRON\*  
Ecaterina Liliana MIRON\*\*

*At Buck converter there are no equations, which summarize the overall behaviour of this circuit converter. Determining factors like the throughput power of the circuit and peak voltages and currents, means developing a computer model. In this model the operation of the circuit is broken down into its separated modes and the appropriate equations derived for each of them. For all modes the time function for the currents and voltages can be derived by circuit analysis. Using Laplace transformation it is possible to derive the time functions for currents in each of its modes. The method allows the initial values of currents and voltage to be easily introduced into equation.*

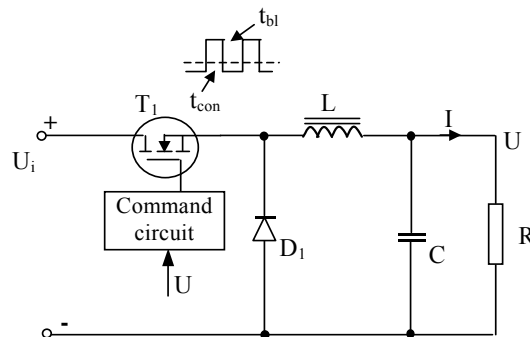
### I. MATHEMATICAL DETERMINATION

A basic buck circuit is shown in Fig.1. For simplifying mathematical analysis of the BUCK circuit operation, the components are assumed to be ideals. The circuit of Fig.1 has, basically, two switches which determine its mode of operation:

Mode 1: T - on, D - off;

Mode 2: T - off, D - on.

Laplace analysis of the equivalent circuits establishes the expressions for currents and voltages in each operation mode.



**Figure 1.** The basic DC to DC Buck circuit.

Define the following:

$\alpha$  - transistor turn on angle;

$I_\alpha$  - initial value of current by inductance L ( $i_{L\alpha\beta}$ ) at beginning of turn on interval ( $t_{con} \rightarrow t_{\alpha\beta}$ ) of transistor (mode 1);

$U_\alpha$  - initial value of current by capacitor C ( $u_{C\alpha\beta}$ ) at beginning of turn on interval ( $t_{con} \rightarrow t_{\alpha\beta}$ ) of transistor (mode 1);

$\beta$  - transistor turn off angle;

$I_\beta$  - initial value of current by inductance L ( $i_{L\beta\alpha}$ ) at beginning of turn off interval ( $t_{b1} \rightarrow t_{\beta\alpha}$ ) of transistor (mode 2);

$U_\beta$  - initial value of current by capacitor C ( $u_{C\beta\alpha}$ ) at beginning of turn off interval ( $t_{b1} \rightarrow t_{\beta\alpha}$ ) of transistor (mode 2);

*Mode 1*

The time functions for currents and voltages are derived from system (1):

$$\begin{cases} U_i = r_L \cdot i_L + L \frac{di_L}{dt} + u \\ i_C = C \frac{du_C}{dt} \\ u_C = u - r_C \cdot i_C \\ u = R \cdot i \\ i = i_L - i_C \end{cases} \quad (1)$$

The system results are presented in the next expressions, obtained with MathCAD routine:

$$i_{L\alpha\beta}(t, rL, rC, L, C, R, t\alpha, I\alpha, U\alpha, S) := \text{Re} \left[ \sum_{k=0}^{\text{last}(S)} \frac{\Delta i_{L\alpha\beta}(rL, rC, L, C, R, I\alpha, U\alpha, S_k)}{\Delta 1\alpha\beta(rL, rC, L, C, R, S_k)} \cdot e^{S_k \cdot (t-t\alpha)} \right]$$

$$u_{C\alpha\beta}(t, rL, rC, L, C, R, t\alpha, I\alpha, U\alpha, S) := \text{Re} \left[ \sum_{k=0}^{\text{last}(S)} \frac{\Delta u_{C\alpha\beta}(rL, rC, L, C, R, I\alpha, U\alpha, S_k)}{\Delta 1\alpha\beta(rL, rC, L, C, R, S_k)} \cdot e^{S_k \cdot (t-t\alpha)} \right]$$

*Mode 2*

Like in *mode 1*, the system in mode 2 is presented in the next. Its results are made with MathCAD functions.

$$\begin{cases} r_L \cdot i_L + L \frac{di_L}{dt} + u = 0 \\ C \frac{du_C}{dt} = i_C \\ u_C - u + r_C \cdot i_C = 0 \\ u - R \cdot i = 0 \\ i_L - i_C - i = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Expressions for the current and voltage in this function mode are:

$$i_{L\beta\alpha}(t, rL, rC, L, C, R, t\beta, I\beta, U\beta, S) := \text{Re} \left[ \sum_{k=0}^{\text{last}(S)} \frac{\Delta i_{L\beta\alpha}(rL, rC, L, C, R, I\beta, U\beta, S_k)}{\Delta 1\beta\alpha(rL, rC, L, C, R, S_k)} \cdot e^{S_k \cdot (t-t\beta)} \right]$$

$$u_{C\beta\alpha}(t, rL, rC, L, C, R, t\beta, I\beta, U\beta, S) := \text{Re} \left[ \sum_{k=0}^{\text{last}(S)} \frac{\Delta u_{C\beta\alpha}(rL, rC, L, C, R, I\beta, U\beta, S_k)}{\Delta 1\beta\alpha(rL, rC, L, C, R, S_k)} \cdot e^{S_k \cdot (t-t\beta)} \right]$$

## II. THE BUCK CONVERTER MATHCAD MODELLING

Using the previous equations, the MathCAD program will simulate the operation of the circuit. The calculated values of current and voltage will be used to determine when the circuit moves from one sequence to the next. The final values of currents and voltages are used as the initial values for the next sequence.

The MathCAD routine determines the values of components converter: inductances [H] and capacitors [F].

The Buck simulation is realized with the equations, which characterized the steady state. For this it is necessary to determine the initial values of current and voltage ( $I_\alpha$ ,  $I_\beta$  and  $U_\alpha$ ,  $U_\beta$ ).

Define the following:

$D$  = duty cycle ( $d_{on} = t_{on}f_c$ ) matrix;

$\varepsilon$  = accuracy.

The initial values of steady state are calculated with a function MathCAD, “*CondInit(D,ε)*”.

This function determines the currents and voltages initial values at turn-on moment (T) -  $I_\alpha$ ,  $U_\alpha$  and at turn-off moment (T) -  $I_\beta$ ,  $U_\beta$  for all duty cycle. Values matrix is shown in table 1.

**Table 1.** Initials values at turn-on and at turn-off moment

$$\text{InitValBuck} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.199 & 0.562 \\ 3.596 & 6.814 & 9.655 & 12.119 & 14.204 & 15.911 & 17.239 & 19.193 & 21.592 \\ 0.637 & 1.074 & 1.344 & 1.484 & 1.529 & 1.515 & 1.478 & 1.399 & 1.237 \\ 3.596 & 6.815 & 9.656 & 12.12 & 14.205 & 15.912 & 17.239 & 19.193 & 21.592 \end{bmatrix}$$

The matrix columns correspond to all duty factors. The matrix rows represent:

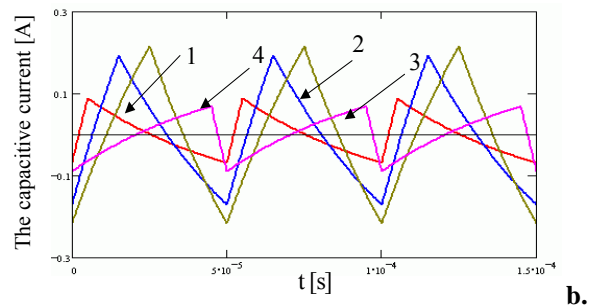
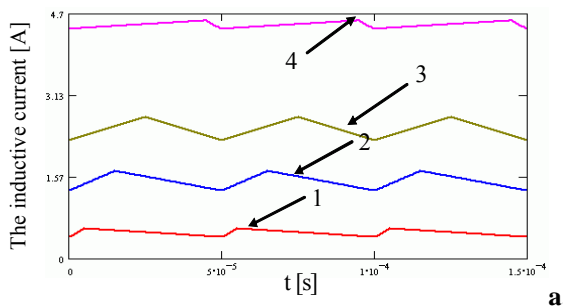
Row 1: the values of  $I_\alpha$ ;

Row 2: the values of  $U_\alpha$

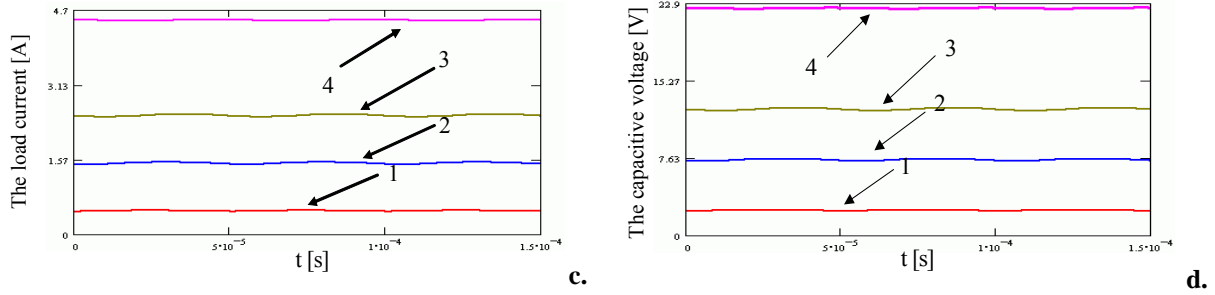
Row 3: the values of  $I_\beta$ ;

Row 4: the values of  $U_\beta$ ;

The waveforms for the model of *buck* converter with  $L_m = 0,7\text{mH}$ ,  $r_L = 0,01\Omega$ ,  $C = 10\mu\text{F}$ ,  $r_C = 0,1\Omega$ ,  $R = 5\Omega$ ,  $U_i = 25\text{V}$ , in case of different duty factor values (1 →  $d = 0,1$ ; 2 →  $d = 0,3$ ; 3 →  $d = 0,5$ ; 4 →  $d = 0,9$ ), are shown in fig.3.





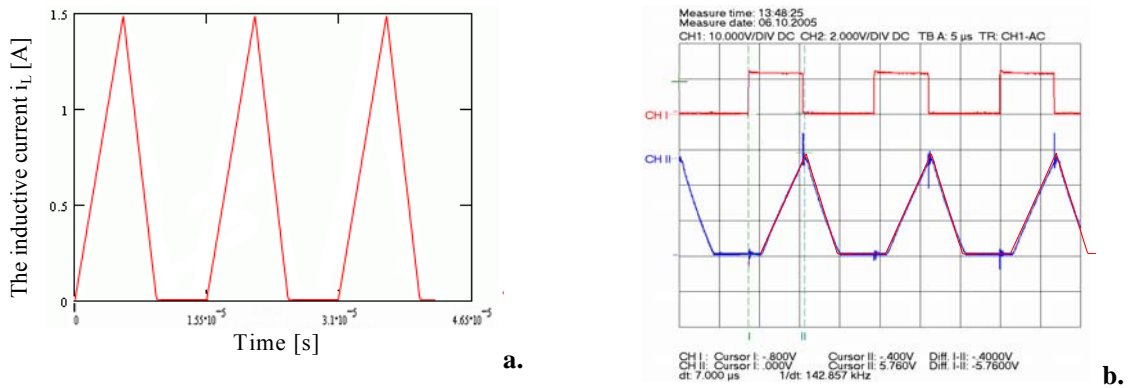


**Figure 3.** The BUCK steady-state waveforms for  $i_L$ ,  $i_C$ ,  $i$  and  $u$ .

### III. EXPERIMENTAL RESULTS

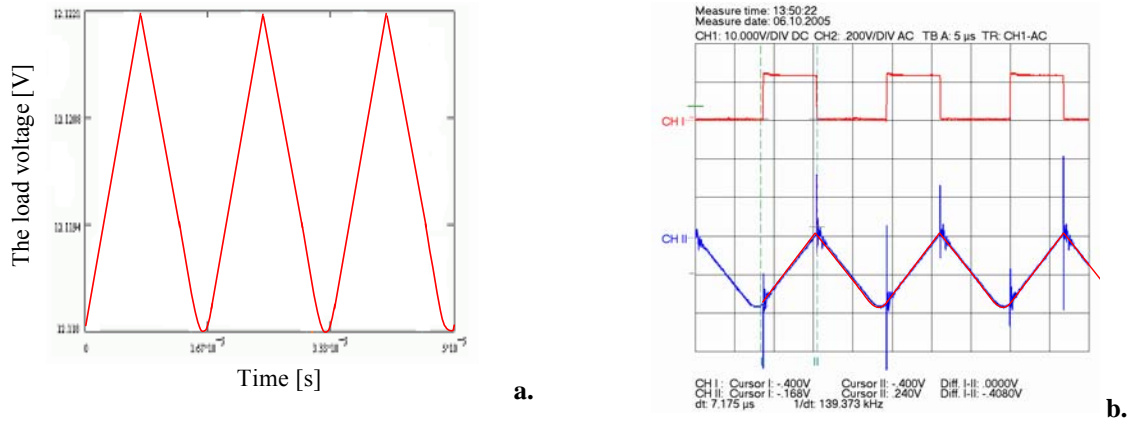
The correctness of the MathCAD modelling is verified with the experimental montage of the *buck* converter. The waveforms of the load voltage and different currents of the circuit, from fig.3, have small variations confronted by the continuous current waveform. “These variations are noticed by the calculus routine and their values and forms are correct drawn on the diagram?” is a problem of the MathCAD modelling.

In fig. 4 are presented an analogy between the MathCAD modelling waveforms and experimental waveforms



**Figure 4.** The inductive current waveforms from L:

a. MathCAD modelling; b. experimental measurement – with current transformer (1:1) and resistance  $4\Omega$ .



**Figure 5.** The load voltage:

a. MathCAD modelling; b. experimental measurement.

In fig. 5 the load voltage waveform is presented. The peak-to-peak value of the output (load) voltage with MathCAD modelling is 0.041V, and experimental value is 0.040V. The experimental measured output voltage is 11.96V.

In the next tables are presented the values of the converter inductive current and the load voltage at the beginning ( $I_\alpha$ ,  $U_\alpha$ ) and at the end ( $I_\beta$ ,  $U_\beta$ ) of the period. The presented values are those that are obtained with modelling ( $I_{\alpha c}$ ,  $U_{\alpha c}$ ,  $I_{\beta c}$ ,  $U_{\beta c}$ ) and experimental ( $I_{\alpha m}$ ,  $U_{\alpha m}$ ,  $I_{\beta m}$ ,  $U_{\beta m}$ )-in open loop.

**Table 2.**

$d$	The current through $L$ ( $I_L$ )				The load voltage			
	$I_{\alpha c}$ (A)	$I_{\alpha m}$ (A)	$I_{\beta c}$ (A)	$I_{\beta m}$ (A)	$U_{\alpha c}$ (V)	$U_{\alpha m}$ (V)	$U_{\beta c}$ (V)	$U_{\beta m}$ (V)
0.35	0	0	1.1313	1.102	11.9644	11.93	11.9844	11.94
0.5	0	0	1.31368	1.305	15.5538	15.45	15.5757	15.48
0.65	0	0	1.1742	1.125	18.2121	18	18.2267	18.1
0.8	0	0	1.017	0.94	19.9349	19.82	19.9378	19.85

The maximum error of the MathCAD modelling is 4.35% for the inductive current  $i_L$  and 1.16% for the load voltage.

#### IV. CONCLUSION

The analysis of the performance of a *buck* converter becomes easy by breaking the cycle of operation into its logical modes. It is simple to generate the time functions for all the currents and voltages, to read various important values and to incorporate these equations into a MathCAD program to produce an accurate, detailed and fast running model of the system.

#### REFERENCES

- [1] E. Scheiber.; D. Lixăndroiu - *MathCAD. Presentation and resolved problems*, Technical Publisher, Bucharest, 1994.
- [2] G. Chryssis, *High Frequency Switching Power Supplies: Theory and Design*, McGraw-Hill Book Co, New York, 1984
- [3] M. Miron; L. Miron, *The analyse of resonance switch mode power supply*, Scientific Bulletin of Air Force Academy, Brasov, 2002

\* Mihai Miron, PhD, Air Force Academy, Brasov, mihaimiron@hotmail.com

\*\* Ecaterina Liliana Miron, lecturer, PhD, Air Force Academy, Brasov, miron\_liliana@yahoo.com

## CONSIDERAȚII MATEMATICE ASUPRA REGIMULUI TRANZITORIU LA MAȘINA DE INDUCȚIE TRIFAZATĂ

Valentin MÜLLER\*

*Rezumat: În această lucrare se prezintă un studiu al stabilității funcționării mașinii de inducție în regim tranzitoriu. Modelul matematic al mașinii de inducție pentru regimul tranzitoriu este stabilit pe baza teoriei celor două axe determinată de Park.*

### I Modelul matematic

Sistemul de referință „dq” din teoria celor două axe se consideră fix față de câmpul magnetic învârtitor din stator care rotește cu viteza unghiulară  $\omega_1$  [1] (figura 1).

Ecuțiile mașinii de inducție se stabilesc în condițiile în care: circuitul magnetic al mașinii este nesaturat și are permeabilitatea magnetică infinită, înfășurările mașinii sunt simetrice atât în stator cât și în rotor, întrefierul mașinii este constant în lungul pasului polar, mașina de inducție este cu rotorul în colivie.

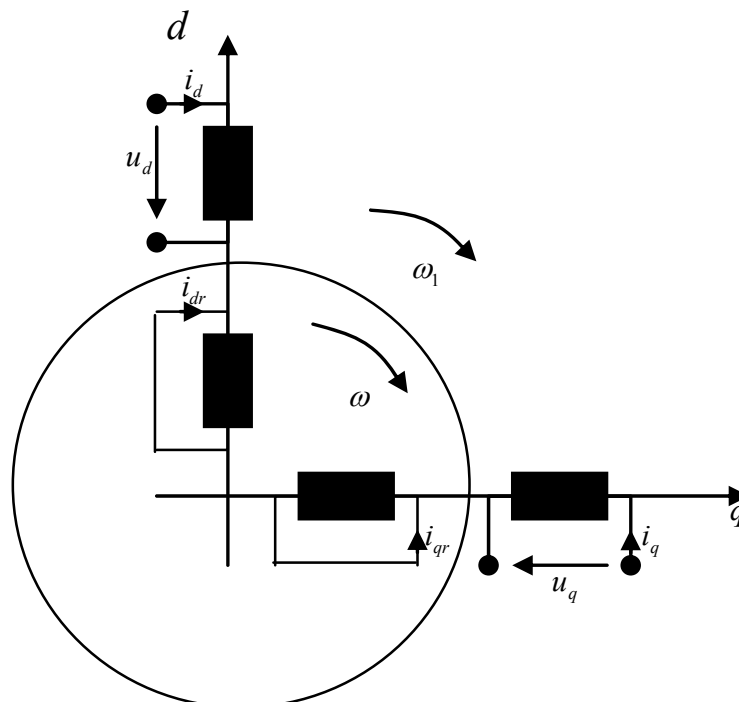


Fig. 1: Mașina asincronă echivalentă.

Ecuțiile pentru stator și pentru rotor ce definesc mașina asincronă în regim tranzitoriu sunt:

$$A \cdot \begin{bmatrix} \frac{di_d}{dt} \\ \frac{di_q}{dt} \\ \frac{di_{dr}}{dt} \\ \frac{di_{qr}}{dt} \end{bmatrix} + B \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

unde:

$$A = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & L_{1h} & 0 \\ 0 & L_1 & 0 & L_{1h} \\ L_{1h} & 0 & L_2 & 0 \\ 0 & L_{1h} & 0 & L_2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} R_1 & -\omega_1 L_1 & 0 & -\omega_1 L_{1h} \\ \omega_1 L_1 & R_1 & \omega_1 L_{1h} & 0 \\ 0 & -s\omega_1 L_{1h} & R_2 & -s\omega_1 L_2 \\ s\omega_1 L_{1h} & 0 & s\omega_1 L_2 & R_2 \end{bmatrix}$$

Relația (1) trebuie completată cu ecuația mișcării:

$$M - M_m = -\frac{J}{p_1} \cdot \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

unde:

$$M = p_1 L_{1h} (i_q i_{dr} - i_d i_{qr}) \quad (3)$$

Parametrii electrici care intervin în relațiile (1) și (2) sunt:

- $R_1, R_2$  - rezistența fazei din stator respectiv rotor;
- $L_1, L_2$  - inductivitatea proprie a fazei din stator respectiv rotor;
- $L_{1h}$  - inductivitatea principală;
- $p_1$  - numărul perechilor de poli din stator;
- $s$  - alunecarea mașinii.

## II Analiza stabilității sistemului (Problema Cauchy)

Relația matricială (1) împreună cu ecuația (2) determină un sistem de ecuații diferențiale de ordinul întâi. Acest sistem se poate scrie sub formă normală [2] dacă determinantul matricei format cu coeficienții derivatelor este nul:

$$\begin{bmatrix} L_1 & 0 & L_{1h} & 0 & 0 \\ 0 & L_1 & 0 & L_{1h} & 0 \\ L_{1h} & 0 & L_2 & 0 & 0 \\ 0 & L_{1h} & 0 & L_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{J}{p_1} \end{bmatrix} \neq 0 \quad (4)$$

sau:

$$\frac{J}{p_1}(L_1L_2 - L_{1h}^2)^2 \neq 0 \quad (5)$$

În mod uzual  $L_1L_2 > L_{1h}^2$  și deci determinantul este diferit de zero. Pentru mașinile asincrone ce au întrefier mic, cuplajul magnetic dintre stator și rotor este foarte bun,  $L_1L_2 \rightarrow L_{1h}^2$  și în cazul acesta determinantul matricei tinde către zero.

Considerând determinantul matricei diferit de zero, sistemul exprimat în formă normală este [2]:

$$\begin{cases} \frac{di_d}{dt} = g_1(t, i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s) \\ \frac{di_q}{dt} = g_2(t, i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s) \\ \frac{di_{dr}}{dt} = g_3(t, i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s) \\ \frac{di_{qr}}{dt} = g_4(t, i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s) \\ \frac{ds}{dt} = g_5(t, i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s) \end{cases} \quad (6)$$

unde:  $g_1, g_2, g_3, g_4, g_5$  sunt funcții ce depind de necunoscutele  $i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s$  și de parametrii electrici ai mașinii de inducție.

Punctele sale de echilibru se determină rezolvând sistemul algebric:

$$\begin{cases} R_1 i_d - \omega_1 L_1 i_q - \omega_1 L_{1h} i_{qr} - U = 0 \\ \omega_1 L_1 i_d + R_1 i_q + \omega_1 L_{1h} i_{dr} = 0 \\ -s \omega_1 L_{1h} i_q + R_2 i_{dr} - s \omega_1 L_2 i_{qr} = 0 \\ s \omega_1 L_{1h} i_d + s \omega_1 L_2 i_{dr} + R_2 i_{qr} = 0 \\ p_1 L_{1h} (i_q i_{dr} - i_d i_{qr}) - M_m = 0 \end{cases} \quad (7)$$

unde s-a considerat:  $u_d = U$  și  $u_q = 0$  (axele fixe față de câmpul statoric).

Matricea lui Jacobi atașată termenilor liberi ai sistemului în punctul de echilibru, determinantă din sistemul (7) este:

$$G'(i_d, i_q, i_{dr}, i_{qr}, s) = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial i_d} & \frac{\partial g_1}{\partial i_q} & \frac{\partial g_1}{\partial i_{dr}} & \frac{\partial g_1}{\partial i_{qr}} & \frac{\partial g_1}{\partial s} \\ \frac{\partial g_2}{\partial i_d} & \frac{\partial g_2}{\partial i_q} & \frac{\partial g_2}{\partial i_{dr}} & \frac{\partial g_2}{\partial i_{qr}} & \frac{\partial g_2}{\partial s} \\ \frac{\partial g_3}{\partial i_d} & \frac{\partial g_3}{\partial i_q} & \frac{\partial g_3}{\partial i_{dr}} & \frac{\partial g_3}{\partial i_{qr}} & \frac{\partial g_3}{\partial s} \\ \frac{\partial g_4}{\partial i_d} & \frac{\partial g_4}{\partial i_q} & \frac{\partial g_4}{\partial i_{dr}} & \frac{\partial g_4}{\partial i_{qr}} & \frac{\partial g_4}{\partial s} \\ \frac{\partial g_5}{\partial i_d} & \frac{\partial g_5}{\partial i_q} & \frac{\partial g_5}{\partial i_{dr}} & \frac{\partial g_5}{\partial i_{qr}} & \frac{\partial g_5}{\partial s} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Daca aceasta matrice jacobiana în punctul de echilibru are toate valorile proprii cu partea reală negativă, atunci acesta este punctul de echilibru asimptotic stabil. Daca cel puțin una dintre valorile proprii are partea reală strict pozitivă atunci punctul de echilibru este instabil.

### III Studiu de caz

Pentru un motor de inducție trifazat cu rotorul în colivie de putere  $P_N = 4$  kW,  $U_N = 380$  V și  $n_N = 1440$  rot/min se dau următorii parametrii electrici [3] :  $R_1 = 1,694 \Omega$ ,  $R_2 = 1,124 \Omega$ ,  $L_1 = 0,196$  H,  $L_2 = 0,197$  H,  $p_1 = 2$ ,  $J = 0,024$  kgm<sup>2</sup>.

Determinatul matricei (4) are valoarea  $1,065 \cdot 10^{-7} \neq 0$  și prin urmare sistemul poate fi exprimat în forma normală :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di_d}{dt} = 25140,361 - 112,073i_d - (-4082,463 + 3768,263s)i_q + 71,324i_{dr} - \\ - (-3928,763 + 3928,763s)i_{qr} \\ \frac{di_q}{dt} = -(4082,463 - 3768,263s)i_d - 112,073i_q - (3928,763 - 3928,763s)i_{dr} + \\ + 71,324i_{qr} \\ \frac{di_{dr}}{dt} = -24113,312 + 107,494i_d - (3915,684 - 3915,684s)i_q - 74,114i_{dr} - \\ - (3768,263 - 4082,463s)i_{qr} \\ \frac{di_{qr}}{dt} = -(-3915,684 + 3915,684s)i_d + 107,494i_q - (-3768,263 + 4082,463s)i_{dr} - \\ - 74,114i_{qr} \\ \frac{ds}{dt} = -31,5i_{qdr} + 31,5i_{dqr} + 2,167 \cdot 10^3 \end{array} \right.$$

Punctele de echilibru sunt:

$$a: i_d = 11,585 \quad i_q = -7,33 \quad i_{dr} = -11,829 \quad i_{qr} = 1,547 \quad s = 3,917 \cdot 10^{-8}$$

$$b: i_d = 32,960 \quad i_q = -62,421 \quad i_{dr} = -32,469 \quad i_{qr} = 59,404 \quad s = 1,261$$

Matricea iacobiană pentru primul punct (a):

$$G'(a) = \begin{bmatrix} -112,073 & 3,935 \cdot 10^3 & 71,324 & 3,775 \cdot 10^3 & 2,154 \cdot 10^4 \\ -3,935 \cdot 10^3 & -112,073 & -3,775 \cdot 10^3 & 71,324 & -2,818 \cdot 10^3 \\ 107,494 & -3,762 \cdot 10^3 & -74,114 & -3,608 \cdot 10^3 & -2,239 \cdot 10^4 \\ 3,762 \cdot 10^3 & 107,494 & 3,608 \cdot 10^3 & -74,114 & 2,928 \cdot 10^3 \\ 48,73 & 372,614 & 230,895 & 364,928 & 0 \end{bmatrix}$$

are valorile proprii:

$$-91,208 - 2023,020i; \quad -91,208 + 2023,020i; \quad -77,62; \quad -56,167 - 298,140i; \quad -56,167 + 298,140i.$$

Matricea iacobiană pentru cel de-al doilea punct (b):

$$G'(b) = \begin{bmatrix} -112,073 & -669,317 & 71,324 & -1,025 \cdot 10^3 & 1,835 \cdot 10^3 \\ 669,317 & -112,073 & 1,025 \cdot 10^3 & 71,324 & -3,361 \cdot 10^3 \\ 107,494 & 1,022 \cdot 10^3 & -74,114 & 1,38 \cdot 10^3 & -1,906 \cdot 10^3 \\ 1,022 \cdot 10^3 & 107,494 & -1,38 \cdot 10^3 & -74,114 & 3,493 \cdot 10^3 \\ 1,871 \cdot 10^3 & 1023 \cdot 10^3 & 1,966 \cdot 10^3 & 1,038 \cdot 10^3 & 0 \end{bmatrix}$$

are valorile proprii :

-318,054-695,357i ; -318,054+695,357i ; -104,736-301,573i ; -104,736+301,573i ; 473,207

Analiza stabilității mașinii de inducție se realizează pentru un cuplu rezistent la arbore egal cu cuplul nominal al mașinii ( $M_m = 26$  N).

Primul punct de echilibru a, din zona de motor este stabil deoarece toate valorile proprii au partea reală negativă.

Al doilea punct de echilibru b, din zona de frână este instabil, deoarece una din valorile proprii este strict pozitivă.

Lucrarea prezentată este utilă în analiza stabilității acționării electrice cu mașini de inducție trifazate.

### Bibliografie

[1] Dordea, T. „Mașini electrice. Partea Complementară”, Editura Orizonturi Universitare, 2002

[2] Babescu, M. , Păunescu, D. „Mașini electrice. Analiza matematică a regimurilor tranzitorii”, Editura Politehnica Timișoara, 2001

[3] Müller, V. „Mașini electrice”, Editura Politehnica Timișoara, 2005

---

\* Valentin Dan Müller, conf.univ.dr.ing., Universitatea ”Aurel Vlaicu” din Arad nr. 77, tel. 0257 250389, e-mail: [mullervalentin@yahoo.com](mailto:mullervalentin@yahoo.com)



## MODELE DE EVALUARE A CONFORTULUI TERMIC ÎN AUTOVEHICULE

Radu MUȘAT \*  
Elena HELEREA \*\*

*Rezumat: În prezent se fac eforturi pentru estimarea confortului termic fie prin măsurarea directă a fiecărui parametru de microclimat - temperatura aerului din interiorul autovehiculului, umiditatea aerului, temperatura radiantă, viteza aerului, nivelul activității umane și nivelul de izolare termică a îmbrăcăminteii - fie prin intermediul indicilor de confort care integrează aportul fiecărui parametru al microclimatului din autovehicul. Modelul des utilizat pentru fundamentarea și estimarea indicilor de confort termic este cel propus de Fanger (1970) cu considerarea ecuației de bilanț termic al corpului uman în cazul microclimatului din clădiri. Alte modele sunt bazate pe determinări experimentale și simulări cu manechine. În prezenta lucrare sunt analizate condițiile de extrapolare a modelului Fanger la microclimatul din autovehicul. Sunt analizate limitările legate de: regimul termic static sau dinamic, diferențierea între confortul termic local și cel total/general, particularitățile mediului din autovehicul care este neuniform și dinamic.*

### I. Introducere

În ultimii ani, odată cu tendințele de reducere a costurilor, a greutateii și a siguranței în funcționarea autovehiculelor, a crescut și interesul pentru asigurarea unui confort optim în autovehicule. Construcțiile de autovehicule au evoluat de la construcții simpliste spre mașini moderne cu tehnologii de ultima oră, organizate pe criterii funcționale și estetice, care să-i asigure omului *confort, ergonomie și siguranță*.

*Factorii* care determină confortul ambiental în autovehicule sunt [1]:

- factori de construcție: formele și dimensiunile interioarelor autovehiculului, ansamblul instalațiilor și al echipamentelor interioare;
- factori fizici: microclimatul (compoziția aerului, umiditatea, temperatura), iluminarea, culoarea, zgomotul, estetica și igiena interioară.

*Confortul termic* [2] în autovehicule reprezintă senzația subiectivă de echilibru termic ce apare în corpul uman atunci când parametrii mediului din autovehicul - temperatura aerului, umiditatea aerului, temperatura radiantă, viteza aerului, nivelul activității umane și nivelul de izolare termică a îmbrăcăminteii – se situează într-un interval de valori bine definit.

Confortul termic se obține prin asigurarea unei temperaturi de  $(20 \div 22)^\circ\text{C}$ , ca rezultat a temperaturii aerului, a suprafețelor delimitatoare, a umidității și vitezei de mișcare a aerului, în concordanță cu natura activității și îmbrăcămintea ocupanților autovehiculului; prin evitarea situațiilor în care ocupanții vin în contact cu suprafețe prea reci sau prea calde; prin evitarea curenților de aer. Aceste exigențe trebuie îndeplinite de-a lungul întregului an, atât în condiții de iarnă, cât și în cele de vară. Se urmărește determinarea vitezei de variație a temperaturii din autovehicul, în special, măsurarea diferenței dintre temperatura înregistrată la picioare și temperatura de la nivelul capului.

Viteza aerului în interiorul autovehiculului este, de obicei, scăzută, cu valori cuprinse între 0.1 și 0.4 m/s. Pentru valori sub 0.1 m/s se crează senzația de „aer stătut”. Din cauza fluctuațiilor de viteză ale aerului, măsurătorile într-un anumit punct trebuie realizate pe o perioadă de 3 sau 5 minute pentru a obține o valoare medie rezonabilă. Vîna curenților de aer este atribuită de cele mai multe ori neetanșeităților.

Temperatura medie radiantă, referitoare la un pasager, este definită drept temperatura unei împrejurimi negre uniforme în care un ocupant va avea aceeași pierdere de căldură radiantă în mediul interior actual. Temperatura medie radiantă poate fi determinată măsurând temperaturile pereților și suprafețelor împrejuruitoare și poziția acestora față de persoană.

Umiditatea aerului este măsurată într-un singur loc în interiorul autovehiculului deoarece presiunea vaporilor de apă este considerată uniformă în interiorul autovehiculului. Conform studiilor făcute, omul resimte senzația de confort pentru o valoare a umidității relative de aproximativ 50%.

Când toți acești parametri sunt măsurați, se poate determina efectul lor combinat asupra ocupanților autovehiculului.

În prezent se fac eforturi pentru estimarea confortului termic fie prin măsurarea directă a fiecărui parametru de microclimat, fie prin intermediul indicilor de confort care cuprind influența combinată a unora din factorii implicați, fie pe baza unor modele teoretice [3]-[5]. Realizarea confortului termic în autovehicule este un proces complex, dificil de evaluat. Dificultățile sunt datorate, pe de o parte, influenței schimbului de căldură prin convecție, conducție și radiante creat de sursele termice externe și de sistemul de ventilație și de sursele de încălziri interne [6]-[8].

În articolul de față se face o analiză a modelelor utilizate pentru estimarea confortului termic din autovehicule și se stabilesc limitările care apar în estimarea parametrilor de confort termic utilizând diferite modele aplicabile la autovehicule.

## II. Aplicarea modelului Fanger de confort termic la mediul din autovehicule

În anii '70, Pol Ole Fanger a dezvoltat un model al confortului termic în clădiri, bazându-se pe informația despre mediile termice uniforme [9]. Modelul propus de Fanger are la baza ecuația de bilanț termic al corpului uman.

Fanger introduce conceptele de indicatori și face o clasificare [10] a acestora în:

- Indicatori de evaluare a solicitărilor termice în condiții extreme de mediu;
- Indicatori care includ efectul mai multor parametri ai mediului;
- Indicele *PMV* (opțiunea medie previzibilă de confort termic);
- Indicele *PPD* (procentajul previzibil de insatisfacție termică).

Modelul Fanger propus pentru estimarea confortului termic în clădiri a fost extins ulterior și în domeniul autovehiculelor, senzația de confort termic fiind propusă să se evalueze cu ajutorul indicelui *PMV* (*Predicted Mean Vote*), iar gradul de disconfort este evaluat cu ajutorul indicelui *PPD* (*Predicted Percentage Dissatisfied*) [9]-[11]. Acești indici au devenit

baza mai multor standarde de confort termic, cele mai semnificative fiind standardele ISO 7730 (1994), ISO 9920 (1995) [12]-[15] și ASHARE 55 (1992), ASHARE (2001) [16], [17].

Modelul lui Fanger calculează indicele de confort termic,  $PMV$ , pentru orice mediu particular. Acest lucru poate fi făcut dacă se știu valorile celor șase parametri de confort (temperatura aerului din interiorul autovehiculului, umiditatea aerului, temperatura radiantă, viteza aerului, nivelul activității umane și nivelul de izolare termică a îmbrăcăminte).

În vederea evaluării senzației de confort termic se utilizează scara subiectivă de confort termic *ASHARE* (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) cu șapte niveluri [18]. Pe această scară, valoarea indicelui  $PMV$  este cuprinsă între -3 și +3, corespunzând senzației de la *foarte rece* la *foarte cald*, respectiv, valoarea de 0 în care indicele  $PMV$  este neutru (Fig.1).

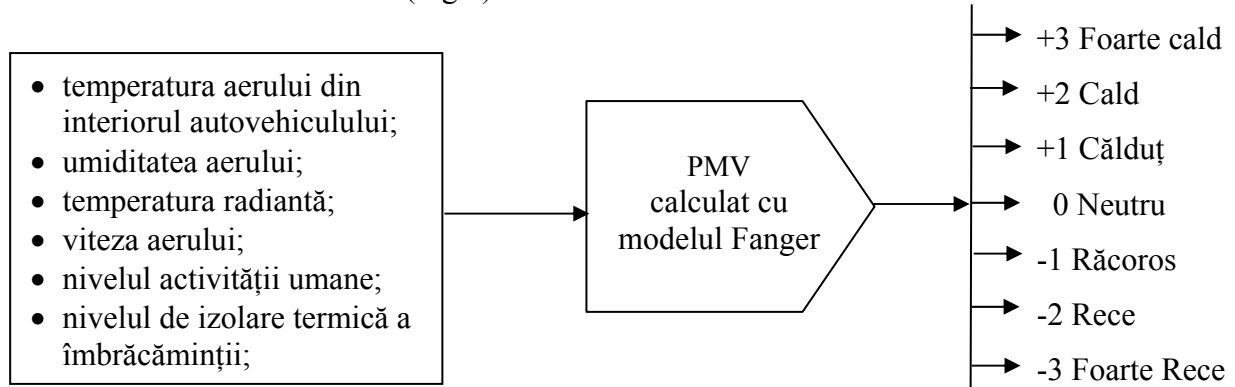


Fig.1: Scara de confort termic

Metoda de evaluare a indicelui  $PMV$ , [19-20], care stă la bază standardelor curente prescriind metode pentru evaluarea confortului termic în autovehicule, tratează întregul corp uman ca un singur obiect, nefăcând distincție între diferitele părți ale corpului. Dacă o parte a corpului este caldă și o altă parte este rece, atunci corpul va avea încărcare termică echivalentă zero și prin urmare se va obține o senzație termică neutră ( $PMV=0$ ). Acest model calculează doar transferul de căldură pentru întregul corp și nu poate prezice disconfortul local. Se presupune că îmbrăcămintea acoperă întregul corp în mod uniform ceea ce duce la o temperatură a pielii egală pe tot corpul. Alte limitări sunt legate de efectele locale ale condițiilor asimetrice (exemplu, o fereastră fierbinte sau rece), sau mișcarea aerului local în jurul feței ocupanților.

Interacțiunea termică dintre corpul uman și mediu se poate descrie cu ecuația de echilibru termic între căldura dezvoltată prin metabolism în corpul uman și căldura cedată prin convecție, conducție, radiație și evaporare pentru cazul unui regim staționar [21]:

$$M - L = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (1)$$

unde:

$M$  - căldura dezvoltată prin metabolism în corpul uman [ $Wm^{-2}$ ];  $L$  - lucrul mecanic dezvoltat de om [ $Wm^{-2}$ ];  $Q_{sk}$  - căldura pierdută prin piele [ $Wm^{-2}$ ];  $Q_{res}$  - căldură pierdută prin respirație [ $Wm^{-2}$ ];  $C$  - căldura cedată de corpul uman prin convecție [ $Wm^{-2}$ ];  $R$  - căldura cedată de corpul uman prin radiație [ $Wm^{-2}$ ];  $E_{sk}$  - căldura pierdută prin evaporare prin piele [ $Wm^{-2}$ ];  $C_{res}$  - căldură sensibilă (de convecție) pierdută prin respirație [ $Wm^{-2}$ ];  $E_{res}$  - căldură latentă de vaporizare pierdută prin respirație [ $Wm^{-2}$ ].

Căldura acumulată de corpul uman  $Q_a$  pentru realizarea condiției de echilibru termic este:

$$Q_a = M - L - E_{sk} - (C_{res} + E_{res}) - (C + R) \quad (2)$$

Există mai multe cazuri:

- dacă  $Q_a=0$ , confortul termic resimțit de ocupanții vehiculului este plăcut (corespunzător);
- dacă  $Q_a>0$ , temperatura corpului crește și ocupantul vehiculului va avea senzație de cald;
- dacă  $Q_a < 0$ , temperatura corpului scade și ocupantul vehiculului va avea senzație de rece.

Pentru  $Q_a = 0$ , ecuația de confort termic are expresia:

$$M \times (1 - \eta) - 0.35 \cdot [43 - 0.061 \cdot M \times (1 - \eta) - p_a] - 0.42 \cdot [M \times (1 - \eta) - 50] -$$

$$- 0.0023 \cdot M \cdot (44 - p_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) = \frac{35.7 - 0.032 \cdot M \cdot (1 - \eta) - t_h}{0.155 \cdot R_{CL}} = \quad (3)$$

$$= 3.4 \times 10^{-8} f_{CL} \cdot [(t_{CL} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{CL} \cdot h_C \cdot (t_{CL} - t_a)$$

Valoarea previzibilă a indicelui de confort termic, într-un anumit punct al habitaculului este:

$$PMV = \left( 0.352 e^{-0.042 \frac{M}{A_D}} + 0.032 \right) \cdot \left[ \begin{aligned} & \frac{M}{A_D} \times (1 - \eta) - 0.35 \cdot \left[ 43 - 0.061 \cdot \frac{M}{A_D} \times (1 - \eta) - p_a \right] - \\ & - 0.42 \cdot \left[ \frac{M}{A_D} \times (1 - \eta) - 50 \right] - 0.0023 \cdot \frac{M}{A_D} \cdot (44 - p_a) - \\ & - 0.0014 \cdot \frac{M}{A_D} \cdot (34 - t_a) - 3.4 \times 10^{-8} f_{CL} \cdot \\ & \cdot [(t_{CL} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{CL} \cdot h_C \cdot (t_{CL} - t_a) \end{aligned} \right] \quad (4)$$

$$t_{CL} = 35.7 - 0.032 \cdot \frac{M}{A_D} (1 - \eta) - 0.18 R_{CL} \cdot \left\{ \begin{aligned} & 3.4 \times 10^{-8} \cdot f_{CL} [(t_{CL} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - \\ & - f_{CL} \cdot h_C \cdot (t_{CL} - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$h_C = \left\{ \begin{aligned} & 2.05 \cdot (t_{CL} - t_a)^{0.25} && \text{pentru } 2.38 \cdot (t_{CL} - t_a)^{0.25} > 10.4 \cdot \sqrt{v} \\ & 10.4 \cdot \sqrt{v} && \text{pentru } 2.38 \cdot (t_{CL} - t_a)^{0.25} < 10.4 \cdot \sqrt{v} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Semnificația mărimilor din aceste relații este:

$\frac{M}{A_D}$  - raportul metabolic;

$M$  - coeficientul metabolic (activitatea umană),  $\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right]$ ;

$A_D$  - suprafața totală a corpului uman (valorile medii pentru adulți sunt cuprinse între 1.65 și 2 m<sup>2</sup>);

$\eta$  - randamentul activității umane;

$R_{CL}$  - rezistența termică a îmbrăcăminte (capacitatea de a reduce transferul de căldură), unitatea folosită este clo,

$$[1 \text{ clo}] = \left[ 0.180 \cdot \frac{\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}}{\text{cal}} \right];$$

$f_{CL}$  - factorul de îmbrăcăminte (creșterea relativă de căldura a corpului uman în raport cu corpul neîmbrăcat);

$t_{CL}$  - temperatura la suprafața exterioară a îmbrăcăminte, [°C];

$t_a$  - temperatura mediului ambiant, [°C];

$t_r$  - temperatura radiantă medie, [°C];

$h_C$  - coeficientul de transfer termic convectiv,  $\left[ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}} \right]$ ;

$v$  - viteza relativă a aerului,  $\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$ ;

$p_a$  - presiunea vaporilor de apă, [Pa].

Indicele *PPD* este o măsură cantitativă a disconfortului termic al unui grup de persoane într-un mediu termic. Fanger relaționează procentajul previzibil de insatisfacție *PPD* cu indicele *PMV* după cum urmează:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353 \cdot PMV^4 + 0.2179 \cdot PMV^2)} \quad (7)$$

Teoretic, indicele de confort termic *PMV* are valoarea optimă egală cu zero, dar în reglementări (exemplu, standardul ISO-77300 se consideră că domeniul de confort termic optimal corespunde intervalului de valori cuprinse între -0.5 și +0.5.

Relația (7) permite aprecierea indicelui *PPD* (fig. 2). Când *PMV* este neutru, *PPD* are valoarea 5. Asta valoare semnifică faptul că pentru orice mediu confortabil, aproximativ 5% din populație îl va considera neconfortabil.

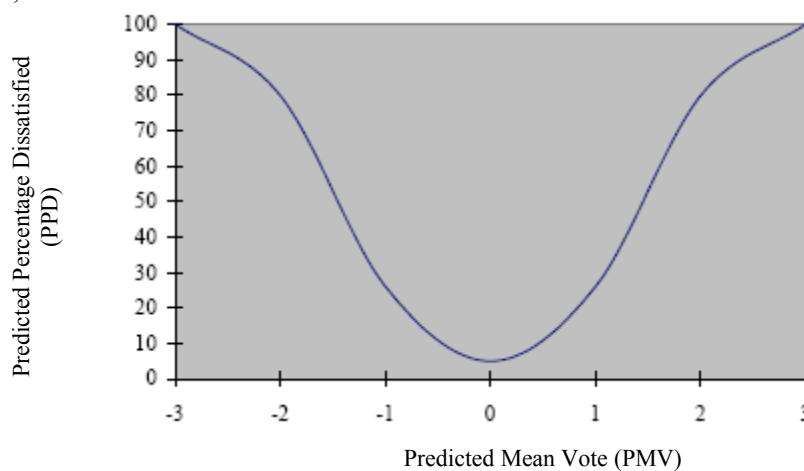


Fig.2: Diagrama de confort

Corelația între indicii *PMV* și *PPD* are forma unei curbe în forma de „U”. Se observă că în situația în care *PMV* are valorile -2 sau +2, indicele *PPD* are valoarea 80, ceea ce semnifică faptul că 80% din populație va fi nesatisfăcută, și așa mai departe. Se observă că valoarea optimă pentru *PPD* este de 5 % și se poate obține doar cu ajutorul instalațiilor de climatizare cu grad înalt de automatizare.

Relațiile (1) – (7) permit calculul indicilor *PMV* și *PPD*. În tabelul 1 este prezentat rezultatul calculului indicilor *PMV* și *PPD* pentru ansamblul de parametri:

- temperatura mediului ambiant:  $t_a = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- temperatura radiantă medie:  $t_r = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- presiunea vaporilor de apă:  $p_a = 10^3 \text{ Pa}$ ;
- viteza relativă a aerului:  $v = 0,15 \text{ m/s}$ .

Tabelul 1: Valori obținute cu relațiile (1) – (7) pentru indicii de confort termic în autovehicul.

<i>M</i> [Wm <sup>-2</sup> ]	<i>R<sub>CL</sub></i> [m <sup>2</sup> °C W <sup>-1</sup> ]	<i>PMV</i> -	<i>PPD</i> [%]
50	0,130	-1,0	27,7
58	0,155	0,0	5,0
66	0,180	0,4	8,8
85	0,130	0,5	10,5
100	0,155	0,9	22,6
115	0,180	1,2	36,4

Rezultatele din Tabelul 1 indică o dependență semnificativă a indicilor de confort termic din autovehicule de caracteristicile metabolice ale pasagerilor.

### III. Cerințe și limite privind utilizarea modelul fizic cu manechine termice

Un manechin termic este utilizat la evaluări reale și obiective a impactului mediului termic cu corpul uman și la măsurarea schimbului de căldură. Manechinele sunt utilizate, în principal, pentru măsurarea nivelului de confort termic și obținerea unei soluții optime pentru evaluarea controlului termic. De asemenea, manechinele sunt utilizate și pentru măsurarea nivelului de izolație termică a îmbrăcăminții ocupanților autovehiculului [21].

Modelul manechinului utilizează conceptul prin care puterea de încălzire necesară pentru menținerea manechinului la o temperatură constantă este măsurată și utilizată pentru corelarea cu confortul termic. Dezavantajul în această abordare este acela că manechinul nu răspunde mediului la fel ca și corpul uman. Corpul uman variază temperatura locală a pielii și transferul local de căldură pentru a controla răspunsul fiziologic prin sistemul de senzori, pentru a afecta percepția confortului termic.

Cele mai utilizate manechine sunt proiectate pentru regimul static și posedă un timp de răspuns îndelungat. De asemenea, au o rezoluție limitată privind percepția și răspunsul către mediu. Rezoluția este limitată pentru anumite zone ale corpului, cum ar fi, partea superioară sau cea inferioară a piciorului. Acest lucru nu este adecvat pentru medii termice neuniforme, ci doar pentru a dezvolta sisteme de control climatic care să aibe eficiență energetică.

În general, manechinele utilizate nu posedă capacitatea de a transpira ci doar transferul de căldură “uscată”. Răcirea prin evaporare este o componentă des utilizată în sistemul termoregulator al corpului uman. Un manechin termic ar trebui să aibe capacitatea de a simula răspunsul corpului uman în toate mediile termice. Un sistem al transpirației este dorit pentru a

genera o peliculă de apă la suprafața pielii pentru simularea ratei de evaporare în mediu sau de absorbție în îmbrăcăminte.

Cercetările în domeniu arată că se dezvoltă manechine termice care să posede un grad mare al rezoluției, un răspuns termic local, un sistem de transpirație, un timp scurt de răspuns și o reacție continuă și adaptată mediului termic. Un manechin termic avansat, cu aceste capacități, ar sprijini dezvoltarea de sisteme de control climatic mai performante și mai eficiente în mediul de transport dar și acolo unde există medii termice neuniforme și tranzitorii.

Dezvoltarea și îmbunătățirea manechinelor termice ca un sistem de evaluare al îmbrăcămintii este importantă din punct de vedere al sănătății. Un manechin termic trebuie să aibe următoarele proprietăți pentru a putea simula coprul uman: (1) mărime și formă corectă; (2) un control al emisiei de căldură; (3) un control al distribuției căldurii la suprafața pielii; (4) un control al evaporării la nivelul pielii; (5) un control al distribuției transpirației la suprafața pielii; (6) controlul mișcării; (7) un control al simulării răspunsurilor fiziologice ale corpului uman. Un manechin care să aibe toate aceste proprietăți nu s-a dezvoltat încă, totuși manechine care controlează transpirația la nivelul pielii și viteza de mișcare sunt în cercetare și dezvoltare în unele laboratoare.

Manechinele termice sunt limitate la o distribuție uniformă a temperaturii la suprafața pielii, chiar dacă la nivelul extremităților corpului uman există pierderi mari de căldură. Acest lucru duce inevitabil la o supraestimare a pierderii de căldură la nivelul extremităților corpului uman. Măsurările climatului local cu un manechin termic sunt corelate cu senzațiile termice experimentate pe subiecți supuși aceluiași condiții. Criteriul pentru condiții climatice acceptabile poate fi definit în termeni cantitativi măsurat utilizând manechinul.

#### IV. Concluzii

Modelele matematice dezvoltate oferă posibilitatea efectuării unor analize asupra nivelului de confort termic în autovehicule, fiind de un real folos în activitatea de cercetare în domeniu autovehiculelor. Modelul dezvoltat de Fanger combină patru parametri fizici (temperatura aerului din interiorul autovehiculului, umiditatea aerului, temperatura radiantă, viteza aerului) și doi parametri individuali (nivelul activității umane și nivelul de izolare termică a îmbrăcămintei) într-un indice care este utilizat pentru prezicerea senzației de confort termic optim al ocupanților unui autovehicul. Prin măsurarea tuturor acestor parametri care determină confortul termic se poate determina efectul lor combinat asupra ocupanților autovehiculului.

Indicele *PMV* nu estimează corespunzător senzația de confort termic. Diferențele dintre temperaturile reale și cele estimate reflectă dificultăți în obținerea unei măsurări corecte a izolației termice a îmbrăcămintii și raportului metabolic. Practic, estimările inadecvate ale acestor două variabile reduc acuratețea indicelui *PMV*. Indicele *PMV* variază în funcție de context și este mai exact în habitacul autovehiculului cu sistem de aer condiționat decât în ventilare naturală și asta datorită influenței temperaturii exterioare.

Modelul Fanger are limitările legate de regimul static sau dinamic termic, diferențierea între confortul termic local și cel general, particularitățile mediului din autovehicul. Alte limitări sunt legate de efectele locale ale condițiilor asimetrice sau mișcarea aerului local în jurul feței ocupanților. Deși are unele limitări, metoda utilizării manechinului termic reprezintă o tehnică rapidă, fiabilă și eficientă de evaluare în vederea obținerii unor detalii legate de confortul termic și climatic din autovehicule, cât și efectul lor asupra corpului uman.



## Bibliografie

- [1] Brujan, E.,A., Ventilația și condiționarea aerului.
- [2] Sârbu, I., Modele de evaluare a confortului termic, Considerații teoretice, nr.2 (43), 2007, Universitatea Politehnică Timișoara.
- [3] S. Atthajariyakul, T. Leephakpreeda, Neural computing thermal comfort index for HVAC systems, School of Manufacturing Systems and Mechanical Engineering, Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Patumthami, Thailand.
- [4] John P. Rugh, Desikan Bharathan, Predicting human thermal comfort in automobiles, National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP-540-37784, presented at the Vehicle Thermal Management Systems Conference and Exhibition, May 2005, Toronto, Canada.
- [5] Itsuhei Kohri1, Tohru Mochida, Evaluation Method of Thermal Comfort in a Vehicle with a Dispersed Two-Node Mode Part 1— Development of Dispersed Two-Node Model, Journal of the Human-Environmental System, vol.6, no.1, 2002.
- [6] McGuffin, R., Burke, R., Huizenga, C., Hui, Z., Vlahinos, A., Fu, G., Human Thermal Comfort Model and Manikin, National Renewable Energy Laboratory, Society of Automotive Engineers, Inc, 2002, Colorado, USA.
- [7] \* \* \*, Thermal Confort in Automobiles, LumaSense Technologie.
- [8] ISO 7726 (1998). Ergonomics of the thermal environment—instruments for measuring Physical quantities, Geneva: International Standards Organization.
- [9] Fanger, P., O., Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, McGraw-Hill Book Company, 1970, USA.
- [10] Fanger, P., O., Thermal Comfort. McGraw-Hill Book Co., 1973, New York, USA.
- [11] Joel M. Devonshire, James R. Sayer, The effects of infrared-reflective and antireflective glazing on thermal comfort and visual performance: a literature review, University of Michigan, Transportation Research Inst., Report no.UMTRI-2002-4 March 2002, U.S.A.
- [12] ISO 7730. (1994) Moderate thermal environments—determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva.
- [13] ISO 9920 (1995). Ergonomics of the Thermal Environment: Estimation of the Thermal Insulation and Evaporative Resistance of a Clothing Ensemble. Geneva.
- [14] Tri Harso Karyono, The applicability of the ISO 7730 (Fanger's comfort model) and the adaptive model of thermal comfort in Jakarta, Indonesia, Agency for the Assessment and Application of Technology, Republic of Indonesia.
- [15] Parsons,K.,C., Introduction to thermal comfort standards, Loughborough University, UK
- [16] American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55),1992, Atlanta.
- [17] American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Thermal comfort. In ASHRAE Handbook: Fundamentals, 2001, Atlanta, GA.
- [18] Charles,K.E. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, Institute for Research in Construction, Report RR-162, October, 2003, Canada, Ottawa.
- [19] Joel M. Devonshire, James R. Sayer, Radiant heat and thermal comfort in vehicles, The University of Michigan, Transportation Research Institute, Report No. UMTRI-2003-32, November 2003, Michigan, U.S.A.
- [20] Huizenga, C. Zhang, H., Mattelaer, P., Tiefeng, Yu, Arens, E., Window performance for human thermal confort- final report, The National Fenestration Rating Council, february 2006, Center For the Built Environment, University of California, Berkeley.
- [21] Parsons, Ken, Human thermal environments – second edition, Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-23793-9.

---

\* Radu Musat, inginer, Renault Technologie Roumanie, tel. 0723 151844, e-mail: r\_musat@yahoo.com.

\*\* Elena Helerea, prof. dr. ing.,Universitatea „Transilvania” Brasov, tel. 0744624682, e-mail: helerea@unitbv.ro.

## MODIFICATIONS OF ELECTRICAL AND CHEMICAL RESISTANCE OF LOW DENSITY POLYETHYLENE FOR CABLE INSULATIONS

Emil Dumitru POPESCU \*  
Florin BUȘE \*\*  
Gheorghe GAVRILĂ \*\*\*  
Traian ZAHARESCU \*\*\*\*

The behavior of polyethylene electrical insulation under hard operation conditions is investigated. The low density polyethylene (LDPE) manufactured by ARPECHIM Pitești was kept in thin sheets (thickness of about 150  $\mu\text{m}$ ). They were subjected to the action of high energy irradiation ( $^{137}\text{Cs}$  source), when the polymer was degraded. The radiochemical exposure was carried out at different doses: 5, 10, 20, 50 and 100 kGy in air and in water at room temperature. The accelerated ageing of polyethylene was evaluated by oxygen uptake procedure (testing temperature: 180 $^{\circ}\text{C}$ , isothermal and isobaric determinations). Conduction measurements performed on irradiated LDPE samples revealed the decrease in the material resistivity due to the polar entities formed in polymer matrix. Some mechanistic considerations on the worsening in the electrical properties of polyethylene are discussed.

### I. INTRODUCTION

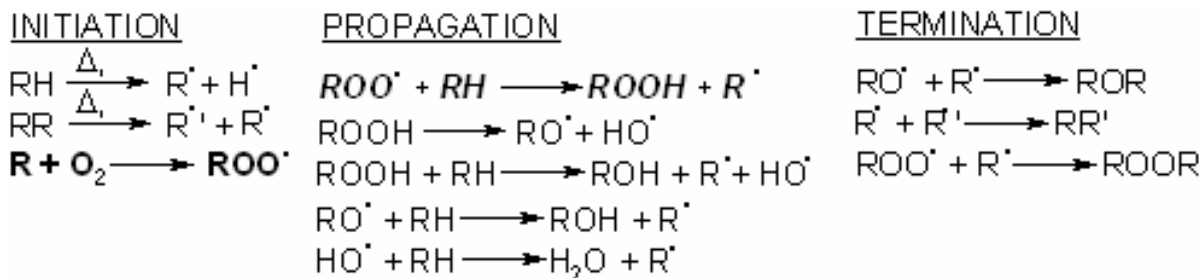
High energy irradiation (gamma or accelerated electrons) is a well-known tool used for the modification of polymers [1, 2]. The radiation modified polymer materials reveal the potential applications on various areas of work. One of the most important usages of polymers, especially polyethylene, is the electrical insulation because of its good mechanical and chemical resistances under the strong and long-term action of degrading agents.

Several papers have been reported on the evaluation of the operational features and durability of polymer cable materials due to the necessity of proper finding of suitable compounds for the manufacture of electrical insulations. Sun et al [3] and Chou et al [4] investigated the contribution of carbon black on the thermal and electrical properties of polyolefins: low density polyethylene and ethylene-propylene elastomer, respectively. Electrical conduction of different insulation compositions was assessed [5 – 15], who have emphasized the influences of structural parameters, the presence of stabilizers or the interaction between blending components. The output information is useful either for the quality control of materials or for the development of new technologies in the branch of dielectric materials.

The environmental conditions play an important role in the degradation of polymers. The actions of oxygen, heat, ionizing radiation, UV light cause the advanced modifications in the molecular structures of macromolecular matrix, which may change the functional features of exposed materials [16]. Also, the presence of any stabilizer brings about the improvement in the lifetime of items in direct connection with its antioxidant efficiency [17]

In the recent years, a main attention is focused on the durability of electrical materials in order to validate the material availability for the special applications including military purposes (insertion of proper insulation that can resist on the wartime or on terrorist attacks). The problem of material durability must be solved for all areas of usage, because it determines the warranty of products where they are one of components.

The energy transfer onto polymer materials causes damages by bond scissions. The primary processes occurred in high energy irradiation were previously presented by Stephens et al. [18]. Free radicals that are formed react with diffused molecular oxygen and hydroperoxides appear (Figure 1). The further processes involve these intermediates that generate final and stable oxygenated products. The consequence of this degradation process is the accumulation of compounds with oxygenated functions like ketones, aldehydes, acids, hydroperoxides and other related structures, and the depletion of double bonds that are the reactive sites in relation with free radicals and O<sub>2</sub>. The oxidative degradation is a chain process, which is promoted by RO<sub>2</sub>· radicals. The mechanism of thermal and radiochemical degradation is described by the Bolland and Gee's scheme [19] (Figure 1).



**Fig. 1.** Oxidative degradation of polyolefins.

This paper presents the behavior of low density polyethylene (LDPE) that was subjected to accelerate testing by its high energy irradiation in various conditions of degradation. The comments on ageing mechanism are also presented. The correlation between oxidative behavior and electrical properties of studied material is emphasized in the connection with the operation environment (air and water).

## II. EXPERIMENTAL

Low density polyethylene (LDPE) was provided by ARPECHIM Pitești (Romania) as A23 BP085 type. Neat material was inserted in an electrically heated plate press and it was maintained at 150°C and 180 bars for 10 minutes. Sheets of 150 μm thickness were obtained.

They were subjected to the action of γ-rays provided by <sup>137</sup>Cs source incorporated in GAMMATOR M-38-2 installation (USA) at a dose rate of 0.4 KGy/h. Irradiation/measurement cycles were applied because of the accumulation of dose.

Spectral measurements were carried out with JASCO 4200A (Japan) FTIR spectrophotometer and electrical investigations were performed with Keithley 6517A (USA) electrometer. Oxygen uptake determinations (testing temperature: 180°C, oxidize environment: air at normal pressure). Isothermal and isobaric experiments were done in an original equipment built up in our laboratory [20].

## III. Results and discussion

The degradation of low density polyethylene was assessed by the accumulation of oxygenated products in accordance with the mechanism presented in figure 1. Figure 2 shows the FTIR spectra recorded on the neat polyethylene and on 100 kGy air irradiated polyethylene.

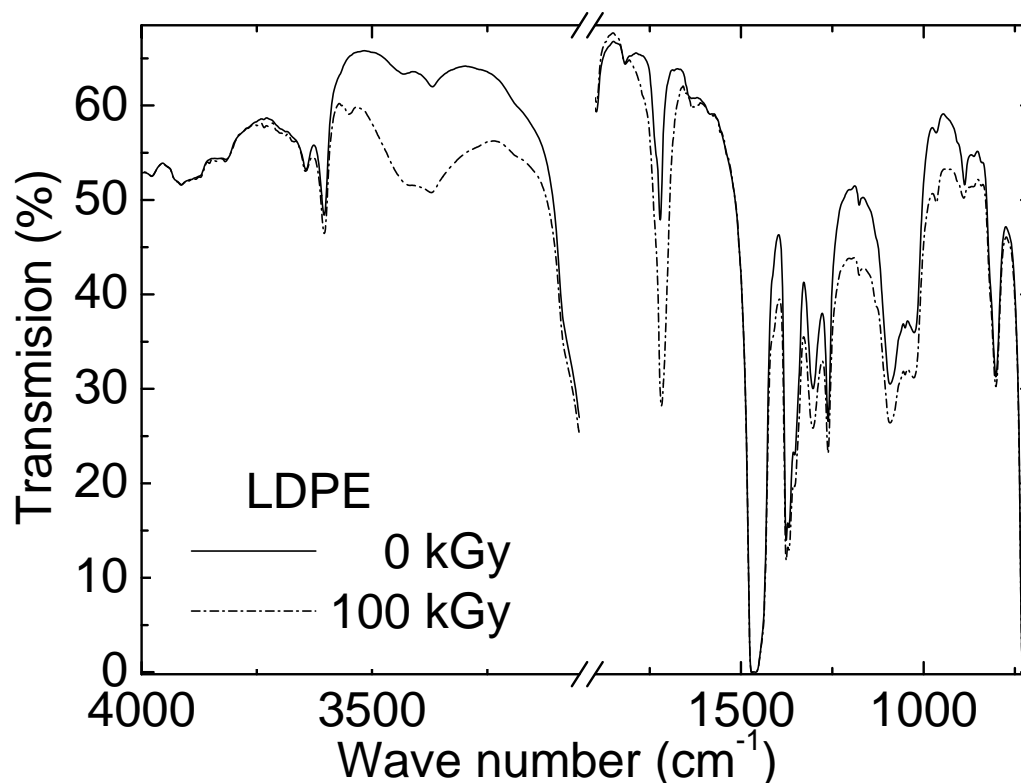
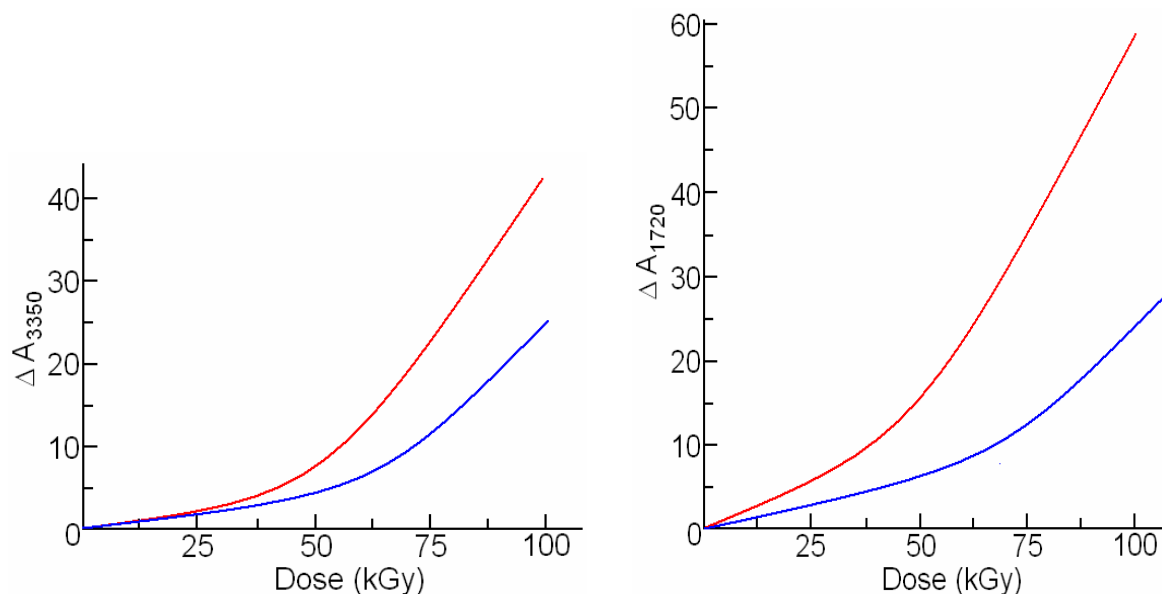


Fig. 2. FTIR spectra for low density polyethylene film

The changes in the prominent peaks of recorded spectra in the region of  $3450\text{ cm}^{-1}$  and  $1720\text{ cm}^{-1}$  illustrate the increase in the amounts of hydroperoxides and carbonyl units, respectively. The initiation of oxidation is ensured by peroxy radicals, which produce various oxygenated products [21]. They are dipoles, which are involved in the variation of electrical behavior. The progress in the main oxygenated functions is presented in figure 3. It may be noticed that the ROOH content (expressed as absorbance at  $3350\text{ cm}^{-1}$ ,  $A_{3350}$ ) exhibits a slower increase that happens with carbonyl units expressed as absorbance at  $1720\text{ cm}^{-1}$ ,  $A_{1720}$ ). The conversion of hydroperoxides (alcoholic function) into carbonyl structures takes place simultaneously with its accumulation from the reactions of free radicals with molecular oxygen that penetrates and diffuses in polyethylene.



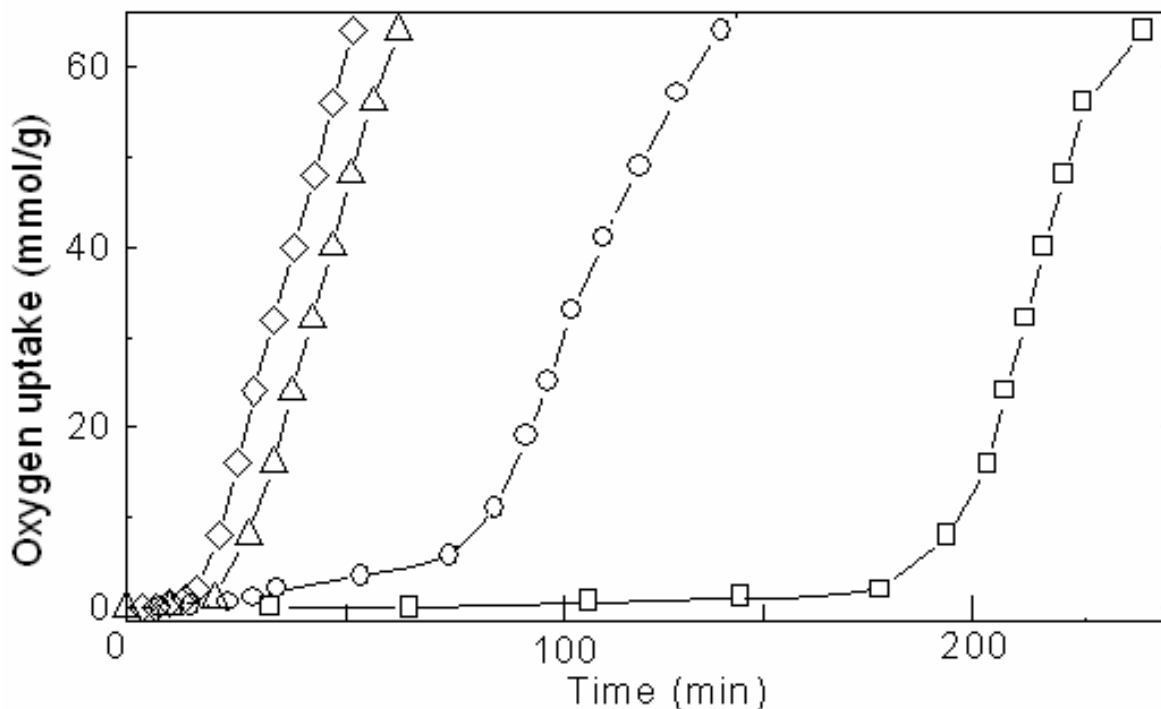
**Fig. 3.** Changes in the absorbance of bonded hydroxyl (left side) and carbonyl (right side) during the  $\gamma$ -irradiation of LDPE.  
(red line: exposure in water; blue line: exposure in air)

The oxidative process occurs with different rates, when polyethylene samples are radiation-processed in water or in air [22]. The contributions of radiolysis intermediates that exist as radicals react with the first layer of LDPE and transfer the radical position onto macromolecules. The new intermediates act simultaneously with high energy radiation themselves for the formation of degradation precursors, peroxy radicals (figure 1).

The oxidation states of LDPE specimens are characterized by two main kinetic parameters: oxidation induction time (the period when material preserves its initial structure; it is expressed in minutes) and rate of oxidation (the quantity of oxygen that reacts with material; it is expressed in  $\text{mmol O}_2/\text{polymer mass}\cdot\text{min}$ ). These parameters were calculated from the oxydograms recorded for each dose and the type of irradiation environment. The induction time was determined as the time value obtained by the intersection of Ox axis with the tangent on the oxidation curve on the propagation step; the oxidation rate was computed by the division of a certain oxygen amount to the corresponding time of reaction. In figure 4 the oxydograms drawn for air-irradiated low density polyethylene are presented. The effect of radiation exposure may be

remarked by the shortening of oxidation induction times and the increase in the oxidation rates of processed polyethylene sheets.

The full description on the radiochemical oxidation of studied LDPE samples is exhibited in table 1.



**Fig. 4.** Oxydograms drawn for  $\gamma$ -irradiated LDPE in air at various doses.

Testing temperature: 180°C

(□) unirradiated sample; (○) dose = 20 kGy; (Δ) dose = 50 kGy; (◇) dose = 100 kGy.

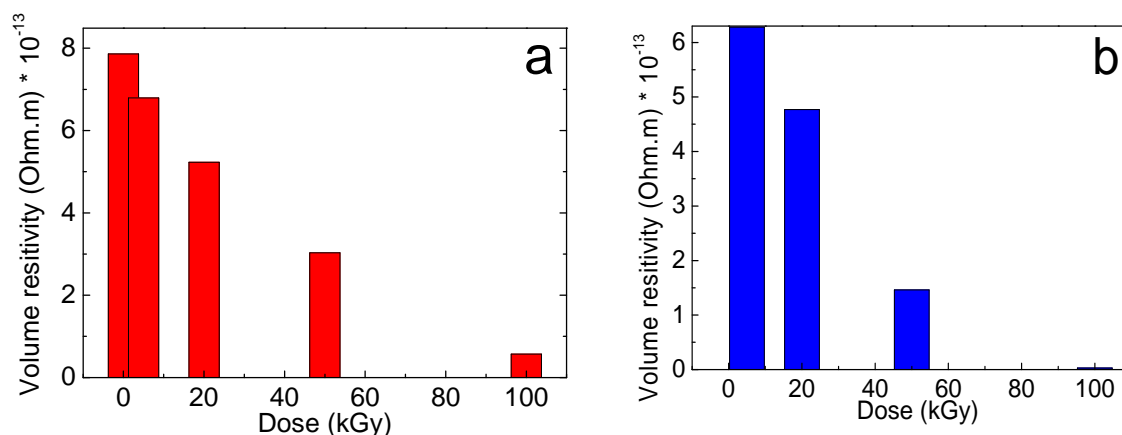
**Table.** The main kinetic parameters for  $\gamma$ -irradiated LDPE

Dose (kGy)	Irradiation environment			
	air		water	
	Induction time (min)	Oxidation rate (mmol O <sub>2</sub> /g.min).10 <sup>-3</sup>	Induction time (min)	Oxidation rate (mmol O <sub>2</sub> /g.min) .10 <sup>-3</sup>
0	195	2.42	195	2.42
5	141	3.55	122	4.02
20	73	5.21	52	6.34
50	24	7.03	15	9.50
100	12	9.86	6	11.79

The oxidation of cables takes place in the presence of oxygen and water vapors. It means that the synergistic effect of these stressors would be expected. These data regards the polymer degradation at 180°C, the high temperature for usual regime of operations, except the cases of

accidents. By the evaluation of oxidation rates and oxidation induction time under the accelerated testing, a clear consequence of cable-insulation resistance in outdoor positions can be revealed. However, the oxidative degradation occurs, even the temperature is not so high. The accumulation of degradation product brings about a depreciation of material quality in direct relation with the working temperature, the mechanical charge, the electrical voltage, the duration of operation [23].

The conduction of irradiated LDPE samples is modified by the increase in the irradiation dose. Because a very small amount of double bonds is formed during  $\gamma$ - exposure and due to the appearance of oxygenated products that plays the role of electron scavengers (the electronegativity of oxygen), a fraction of  $\delta$ -electrons are trapped on these structural positions. In addition, the electrons which escape from bond-orbital level contribute to the measure current intensity. The resistivity measured for radiation processed LDPE mitigates and the quality of electrical insulation is diminished. In figure 5 the values of measured resistivities are presented in comparison with the unirradiated material.



**Fig. 5.** Changes in the resistivity of  $\gamma$ -irradiated LDPE.

Similar trends in the results on the oxidation of polypropylene were reported for irradiated samples in air and water [24].

The damage of electrical insulations happened due to the alteration of chemical resistance by the presence of degradation products containing oxygen. Their electronegativity causes the local accumulation of charges and the breakdown of dielectric cover takes place where the concentration of electrons is higher than in the other places of polymer. The treeing structure appears by the certain directing of residual currents. The probability of insulation breakdown increases with the concentration of oxygenated products and an advanced degradation minimizes the lifetime of cable. In this respect, the modification of dielectric formulation may induce the change in the quality of material and the restriction in the voltage regime of applications [25].

The energy transfer during  $\gamma$ -irradiation is done with a high rate and the initial local order is profoundly altered. The conditioning of electrical insulation is a main purpose in the manufacture of wires and cables. The chemical resistance of polymer establishes the class of insulation, which directs the area of implementation. The high voltage range of energy transport requires proper materials that can resist for long term work to the action of degrading agents. It



has to be taken into consideration the synergistic effects of these factors, which diminish the lifetime of materials.

#### IV. CONCLUSION

The study on the different aspects of polymer degradation involves the evaluation of chemical modifications occurred during this process and the direct consequences on the functional characteristics of material. An advanced state of oxidation determines the most probable breakdown of material. The accelerated testing of electrical insulations, like low density polyethylene, is a good tool for the evaluation of material quality and its limits of operation. The characteristics of electrical insulators must be judged by the correlation between chemical strength under hard conditions and the answer of material, which determines the area of applications.

#### References

- [1] Zaharescu, T., Podină, C., Radiochemistry of Polymers, Bucharest University Printing House, 2003.
- [2] Gillen, K. T. Clough, R. L., Ageing Predictions of Nuclear Power Plants: Crosslinked Polyolefins and EPR Cable Insulation Materials”, Report SAND-91-0822, 1991.
- [3] Sun, Y. Y., Fan, L. H., Watkins, K., Peak, J., Wong, C. P., J. Appl. Polym. Sci., 93, 509 (2004).
- [4] Chou, H. W., Huang, J. S., Lin, S. T., J. Appl. Polym. Sci., 103, 1244 (2007).
- [5] Acosta, J. L., Gonzáles, L., del Rio, C., Ojeda, C., Rodriguez, A., J. Appl. Polym. Sci., 79, 2136 (2001).
- [6] Lee, M. G., Nho, Y. C., J. Appl. Polym. Sci., 83, 2440 (2002).
- [7] Soljovrujić, E., Kostoski, D., Dojčilovoć, J., Polym. Degrad. Stabil., 74, 167 (2001).
- [8] Gillen, K. T., Bernstein, R., Clough, R. L., Celina, M., Polym. Degrad. Stabil., 91, 2146 (2006).
- [9] Gasa, J. V., Liu, Z., Shaw, M. T., Polym. Degrad. Stabil., 87, 77 (2005).
- [10] John, H., Josef, R., Mathew, K. T., J. Appl. Polym. Sci., 103, 2682 (2007).
- [11] Tjing, S. C., Liang, G. D., e-Polymer, no. 037 (2007).
- [12] Zamora, F., Gonzáles, C., Carballo, T., Zamora, N., Lezama, L., e-Polymer, no. 032 (2008).
- [13] Souza F. G– jr, Michel, R. C., Soares, B. G., Polym. Testing, 24, 998 (2005).
- [14] Fouracre, R. A., MacGregor, S. J., Judd, M., Banford, H. M., Radiat. Phys. Chem., 54, 209 (1999).
- [15] Zhou, X. Z., Zhou, Y., Zhou, Y., Tang, Q., Radiat. Phys. Chem., 63, 267 (2002).
- [16] Ranby B., Rabek J. F., ESR Spectroscopy in Polymer Research, Springer Verlag, Berlin, 1977.
- [17] Gorghiu, L. M., Dumitrescu, C., Jipa, S., Olteanu, R., Zaharescu, T., Gigante, B., Santos, C., Silva, A. M., Rev. Chim. (Bucharest), 55, 777 (2004).
- [18] Stephens, C. P., Benson, R. S., Ling, X., Song, H., Ham, H.-J., Buchanan, R.A., Chipară, M.; e-Polymer, no. 042 (2008).
- [19] Bolland J. L., Gee, G., Trans. Faraday Soc., 42, 236 (1946).
- [20] Zaharescu, T., Jipa, S., Setnescu, R., Rev. Chim. (Bucharest), 55, 320 (2004).

- [21] Singh, A., Radiat. Phys. Chem., 56, 375 (1999).  
[22] Gettoff, N., Radiat. Phys. Chem, 76, 1577 (2007).  
[23] Zaharescu, T, Jipa, S., Gigante, B., Polym. Bull., 57, 729 (2006).  
[24] Zaharescu, T., Jipa, S., Kappel, W., Supaphol, P., Polym Symp., 242, 319 (2006).  
[25] Desado, L. A., Fothergill, J. C., Electrical Degradation and breakdown in Polymers, Peter Peregrinus, 1992

---

\* **Emil Dumitru Popescu**, PhD candidate, Military Technical Academy, 81-83 George Cosbuc Av., Bucharest 050141, tel: 0723556562, e-mail: edp171@yahoo.com

\*\* **Florin Bușe**, PhD candidate, Military Technical Academy, 81-83 George Cosbuc Av., Bucharest 050141, tel: 0723556562, e-mail: buseflorin@yahoo.com

\*\*\* **Gheorghe Gavrilă**, Prof. PhD, Military Technical Academy, 81-83 George Cosbuc Av., Bucharest 050141, tel. 021 3354660, e-mail: atm@mta.ro

\*\*\*\* **Traian Zaharescu**, Senior Researcher, Assoc. Prof., PhD, National Institute for Electrical Engineering (INCDIE ICPE CA), 313 Splaiul Unirii, Bucharest 030138, tel. 0726636222, e-mail: zaharescu@icpe-ca.ro; traian\_zaharescu@gw-chimie.math.unibuc.ro

## SIMULAREA SPICE A UNUI SISTEM ELECTRONIC DE MONITORIZARE A ACTIVITĂȚII INIMII

Ana-Maria PUȘCAȘ\*  
Gheorghe PANĂ\*\*

*Abstract: The present paper describes an electronic system used to process an electrocardiograph (ECG) signal. In order to validate the functioning of the system in question, a Spice ECG signal is generated. This Spice ECG signal follows the AHA (American Heart Association) specifications and the instructions of the Spice program. The power supply is a very important aspect if the electrocardiograph system is a portable monitoring one. Consequently, with the help of the Spice program, the single or dual-supplied instrumentation amplifier is analyzed. Three different characteristics can be selected for the low-pass filter. By using the Spice program the most appropriate type of response according to the analyzed application is chosen.*

### I. Introducere

Electrocardiograma (ECG) reprezintă înscrierea grafică a diferențelor de potențial generate în timpul activității electrice cardiace prin care se monitorizează curentul electric generat de miocard în timpul unei băți a inimii.

Potențialele electrice sunt produse în inimă ca sumă a potențialelor generate de celulele musculare cardiace în timpul depolarizării și repolarizării.

La nivel celular, depolarizarea reprezintă modificarea potențialului transmembranar și este determinată de deplasarea sarcinilor electrice (electroni sau ioni); repolarizarea reprezintă refacerea potențialului transmembranar de repaus și este indusă de deplasarea sarcinilor electrice în sens opus [1].

Electrocardiogramele normale prezintă deflexiuni pozitive și negative care reflectă contracțiile alternative ale atriilor (camerele superioare) și ventriculelor (camerele inferioare) inimii.

Primul punct de deflexiune al complexului PQRS (fig. 1), *unda P*, se datorează contracțiilor (depolarizării) atriale și este cunoscut și sub denumirea de *complex atrial*. Celelalte puncte de deflexiune (Q, R, S și T) se datorează ventriculelor și se mai numesc și *complexe ventriculare* (*unda QRS* corespunde depolarizării ventriculare (sistola) iar *unda T* corespunde repolarizării ventriculare (diastola)).

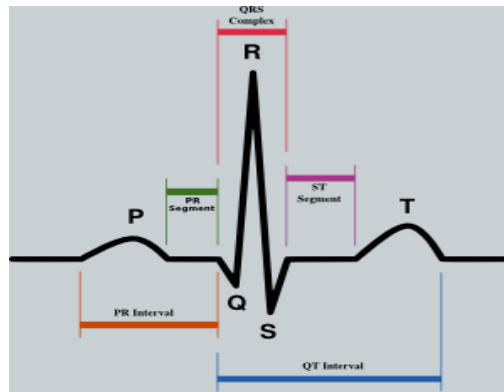


Fig. 1: Complexul QRS

## II. Descrierea sistemului

În prelucrarea semnalelor electrocardiografice se utilizează un amplificator de instrumentație urmat de un filtru trece-jos (FTJ) de ordinul 4, 5 sau 6, atunci când convertorul analog-digital (CAD) al aplicației are o topologie SAR (Successive Approximation Register - registru cu aproximări succesive), așa cum este cazul aplicației analizate.

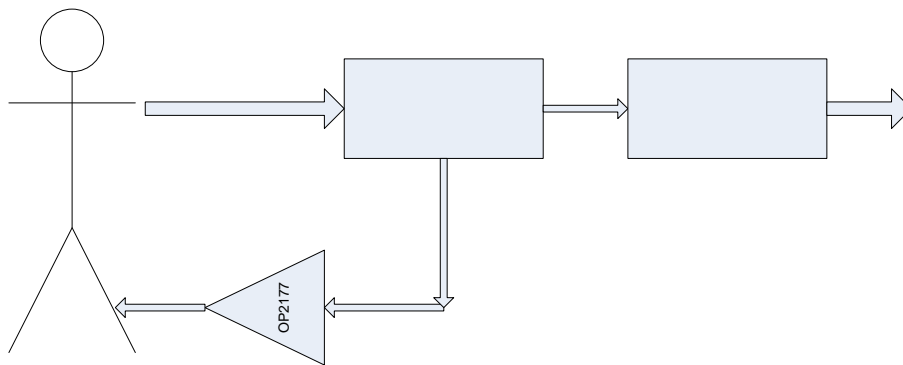


Fig.2: Schema bloc a sistemului analizat

### 1. Amplificatorul de instrumentație

Schema amplificatorului de instrumentație și a circuitului de reacție pentru semnalul de mod comun se prezintă în fig. 3.

Peste semnalul alternativ de tensiune (de valori mai mici de 5mV) detectat de electrozi se suprapune o componentă de mod comun (semnalul din rețeaua de curent alternativ de 50Hz) care poate avea amplitudini de până la 1.5V și o componentă de curent continuu care reprezintă tensiunea de offset a electrozilor și a cărei valoare poate atinge 300mV. [2]

Semnalul de mod comun este eliminat de amplificatorul de instrumentație dar valoarea individuală a acestei tensiuni contează și de aceea se utilizează diodele de limitare D1...D4 (fig. 3).

În afară de amplificatorul de instrumentație, pentru o rejecție foarte bună a semnalului de mod comun de 50 Hz, se utilizează un amplificator operațional care inversează semnalul de mod comun și îl transmite înapoi la pacient prin piciorul drept al acestuia. Pentru a atinge un un factor de rejecție de mod comun semnificativ sunt necesari doar câțiva microamperi. În sistemul analizat se utilizează un amplificator operațional (AO) dual. Primul AO este repetor (X2A) iar al doilea este inversorul propriu zis (X2B) (fig. 3).

electrozi Amplificator de in  
AD822

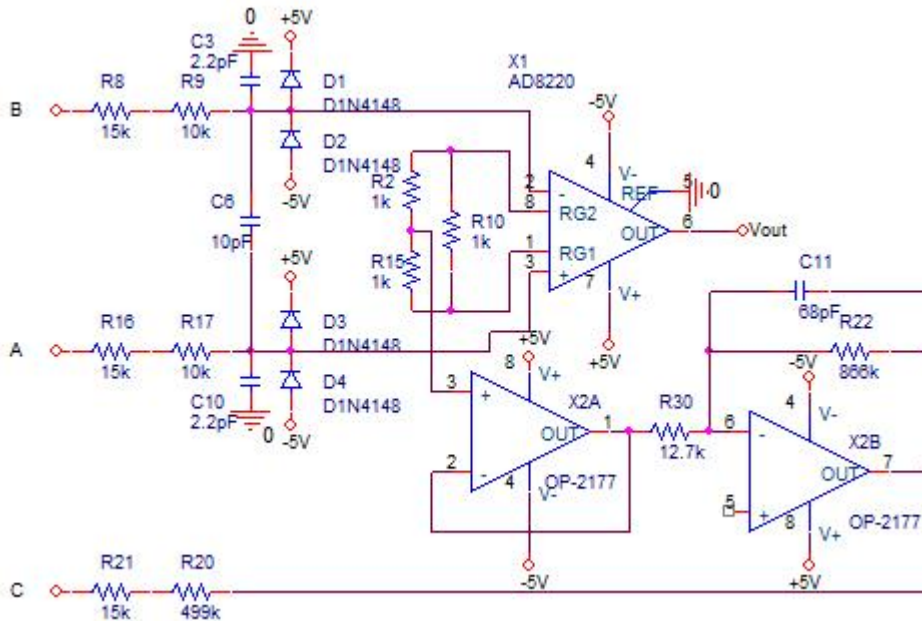


Fig. 3: Amplificatorul de instrumentație și circuitul de reacție de mod comun

## 2. Filtrul trece-jos

Semnalul obținut de la amplificatorul de instrumentație este inversat, motiv pentru care și filtrul trece jos este tot de tip inversor (fig. 4).

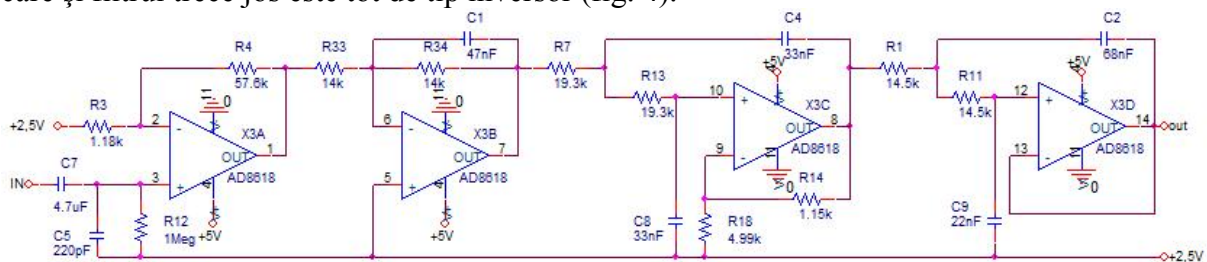


Fig. 4: Schema FTJ

Filtrul trece-jos poate avea trei tipuri de răspunsuri: Butterworth, Bessel sau Cebîsev.

Răspunsul Cebîsev este cel mai bun din punct de vedere al benzii de tranziție. În schimb, cu cât frontul semnalului este mai abrupt cu atât riplurile de pe palier sunt mai accentuate.

Un dezavantaj al filtrelor Cebîsev îl reprezintă faptul că, în cazul aplicațiilor analogice, sunt greu de dimensionat. Filtrele Cebîsev se implementează, în general, digital evitându-se dimensionarea lor prin componente analogice. Acestea se utilizează numai în cazul în care aplicația necesită o tranziție foarte abruptă. În cazul sistemului ECG acest lucru nu este necesar.

Mai mult, în cazul sistemului analizat, riplurile accentuate ale caracteristicii Cebîsev conduc la eliminarea acestui tip de răspuns al filtrului din ipoteza proiectării circuitului datorită faptului că riplurile din banda de trecere induc amplificări sau atenuări diferite ale semnalului util la frecvențe diferite. Consecința reducerii ondulațiilor în banda de trecere și banda de oprire este creșterea lățimii benzii de tranziție.

Structura FTJ reprezentată în fig. 4 are un răspuns de tipul Bessel, simularea Spice evidențiind o comportare mai bună decât cea a filtrului cu răspuns de tip Butterworth.

### III. Simularea Spice

Pentru a efectua analizele Spice s-a creat un semnal PQRS utilizând specificațiile AHA (American Heart Association) și funcția PWL din Spice (fig. 5).

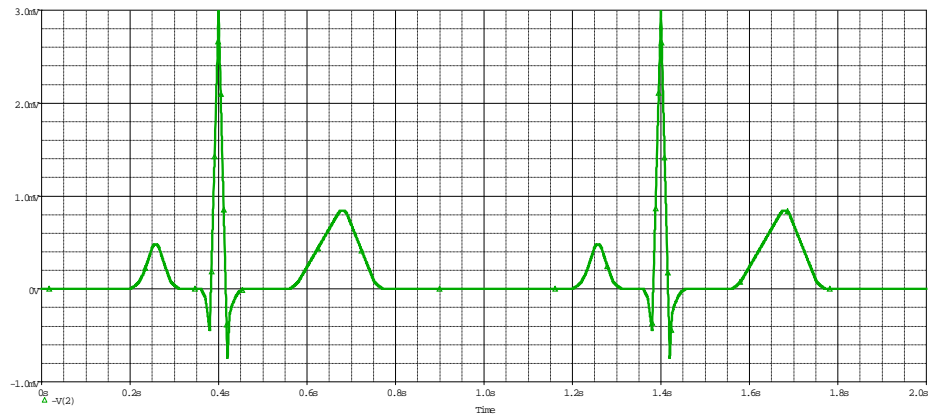


Fig. 5: Complexul QRS realizat în Spice

#### 1. Alimentarea circuitului

O problemă importantă în cazul aparaturii portabile o constituie alimentarea sistemului cu energie electrică. Dacă se folosesc baterii, atunci o soluție posibilă și ușor de implementat constă în alimentarea întregului sistem cu tensiune simplă.

La alimentarea amplificatorului de instrumentație cu tensiune simplă, diodele de limitare a amplitudinii semnalelor de mod comun (D1...D4) stabilesc nivele diferite de limitare în funcție de alternanța semnalului de mod comun. Forma semnalului obținut se prezintă în fig. 6.

Dacă amplificatorul de instrumentație se alimentează cu tensiune dublă atunci forma semnalului este identică cu cea din fig. 5.

La alimentare cu tensiune dublă diodele acționează pentru nivele de tensiune de mod comun mai mari de 5V iar la alimentare simplă diodele acționează asimetric (5V pentru dioda legată la 5V și -0.4, -0.6V pentru dioda legată la masă).

Având în vedere că alimentarea dublă nu modifică forma semnalului este obligatoriu să se utilizeze alimentare cu tensiune dublă.

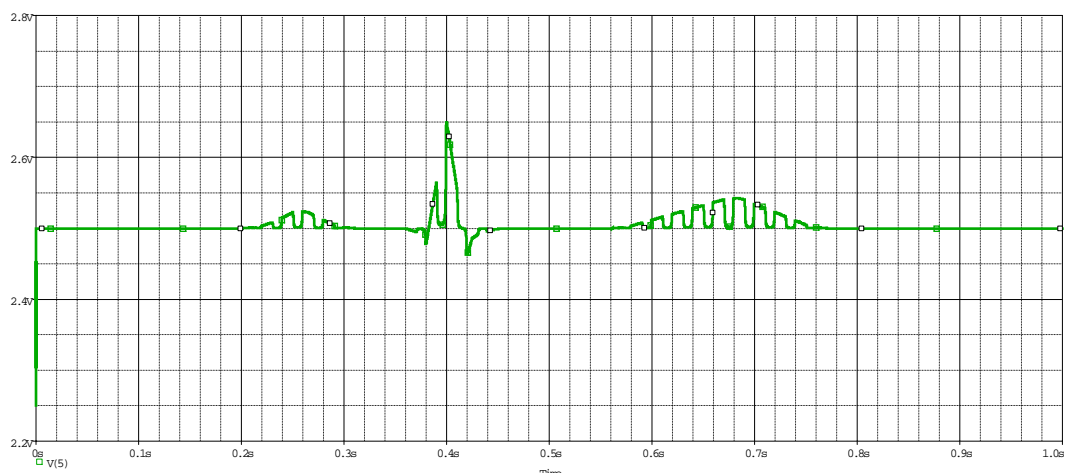


Fig. 6: Semnalul de la ieșirea amplificatorului de instrumentație alimentat cu tensiune simplă

## 2. Alegerea tipului de filtru

Conform teoriei filtrelor [3], filtrul cu panta cea mai abruptă este filtrul Cebîșev, dar răspunsul lui în bandă conține supracreșteri (pulsatii), în funcție de numărul de poli. Urmează în ordine filtrele Butterworth și Bessel. În lucrare, se studiază comportarea filtrelor Butterworth și Bessel de ordinul 5, filtrul cu răspuns Cebîșev alterând acuratețea sistemului.

S-au analizat caracteristicile filtrelor trece jos de tip Butterworth și Bessel în funcție de caracteristicile amplitudine-frecvență.

Pentru ca răspunsurile filtrelor Butterworth și Bessel să poată fi comparate, s-au considerat aceleași frecvențe de frângere ale caracteristicilor și aceeași amplificarea.

Prin suprapunerea caracteristicilor amplitudine-frecvență ale celor două filtre se observă o asemănare aproape perfectă rezultând concluzia că ar putea fi utilizat oricare dintre cele două tipuri analizate (fig. 7).

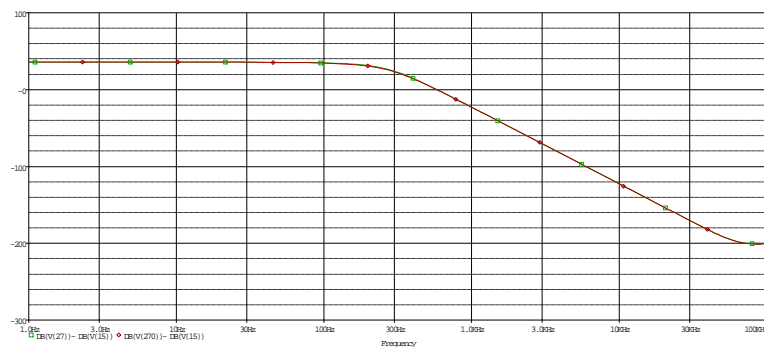


Fig. 7: Caracteristicile amplitudine-frecvență ale filtrelor Butterworth și Bessel

Datorită faptului că răspunsurile în frecvență ale filtrelor Butterworth și Bessel se suprapun, pentru a decide care filtru este mai bun s-au analizat și caracteristicile fază-frecvență (caracteristici Bode) ale filtrelor (fig. 8 și 9).

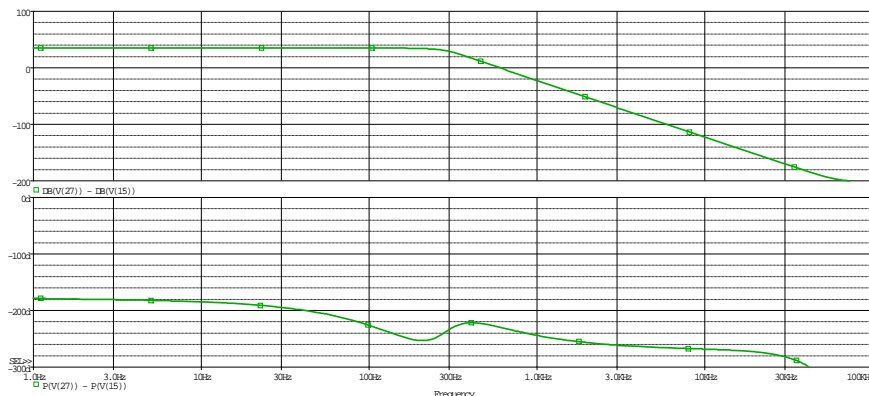


Fig. 8: Caracteristicile Bode pentru filtrul Butterworth

Caracteristica de fază a filtrului Butterworth este neliniară, în schimb, cea a filtrului Bessel este liniară. Acest fapt influențează comportarea în timp a celor două circuite.

Semnalul QRS se apropie de forma unui semnal de tip impuls și datorită caracteristicii de fază neliniare filtrul Butterworth intră în oscilații în momentul în care i se aplică un astfel de semnal. Filtrul Bessel are o comportare liniară (fig. 10).

În fig. 10 se evidențiază faptul că răspunsul în timp al filtrului Bessel este nedistorsionat în timp ce filtrul Butterworth distorsionează semnalul QRS.



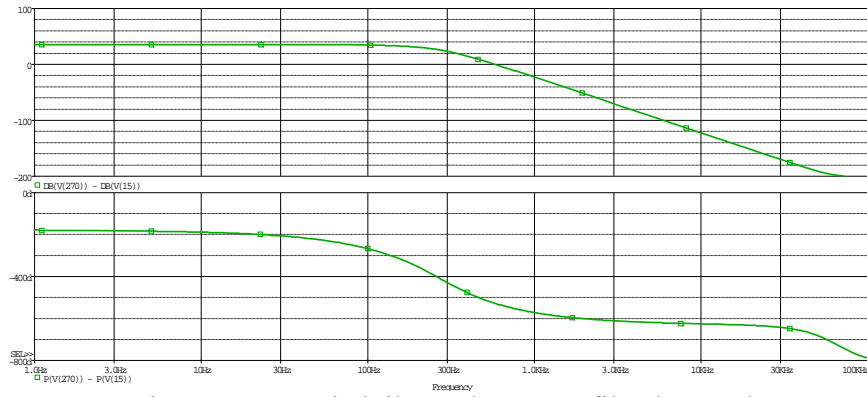


Fig. 9: Caracteristicile Bode pentru filtrul Bessel

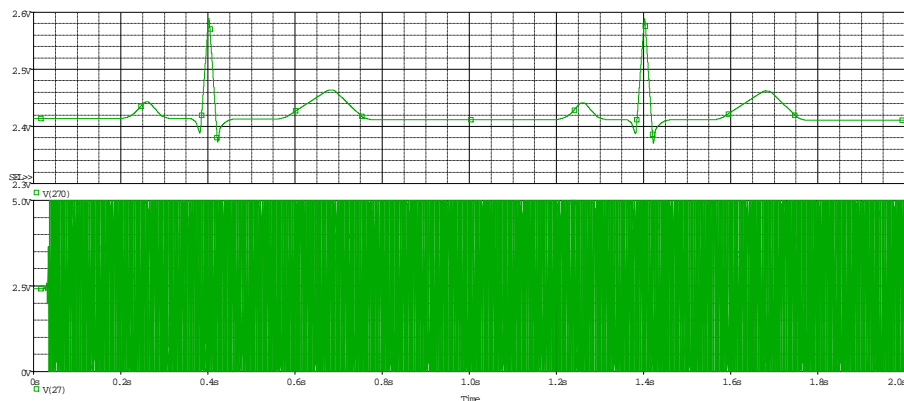


Fig. 10: Răspunsurile în timp ale filtrelor analizate (Bessel – sus, Butterworth – jos)

#### IV. Concluzii

Simularea Spice a unui sistem electronic de prelucrare a semnalelor electrocardiografice conduce la următoarele concluzii:

- Pentru acuratețea procesării analogice a semnalelor, amplificatorul de instrumentație trebuie alimentat cu tensiune dublă;
- Filtrarea semnalului se face cel mai bine cu un filtru trece-jos de tip Bessel.

#### Bibliografia

- [1] Bunu, C. – *Sistemul Cardiovascular*, Universitatea de Medicină și Farmacie “Victor Babeș”, Catedra de Fiziologie, Timișoara, 2002
- [2] Hartmann, Eckart – *ECG Front-End Design is Simplified with MicroConverter*, Analog Dialogue 37-11, Noiembrie, 2003
- [3] Floyd, Thomas L. – *Dispozitive Electronice*, Ed Teora, București, 2003, Traducere Teodoru, A.
- [4] Rijnbeek, R. Peter, Kors, A. Jan, Witsenburg, Maarten - *Minimum Bandwidth Requirements for Recording of Pediatric Electrocardiograms*, Circulation 2001;104:3087-3090, DOI: 10.1161/hc5001.101063, AHA, 2001

\* Ana-Maria Pușcaș, studentă, Anul V, EA, Universitatea “Transilvania”, Brașov, Str. Politehnicii, Nr. 1-3, Tel. 0268-478705, e-mail: [ana-maria.puscas@yahoo.com](mailto:ana-maria.puscas@yahoo.com)

\*\* Gheorghe Pană, conf. univ. dr. ing., Universitatea “Transilvania”, Brașov, Str. Politehnicii, Nr. 1-3, Tel. 0268-478705, e-mail: [pana@vega.unitbv.ro](mailto:pana@vega.unitbv.ro)

## ANALIZE COMPARATIVE ALE COMPORTAMENTULUI ELEMENTELOR ELASTICE CU ACUMULARE DE ENERGIE DE TIP CILINDRIC DIN COMPONENTA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE LA TEMPERATURI ÎNALTE

Gheorghe RAȚIU\*

### **Abstract:**

*There is a tendency for miniaturization in the electrical equipments industry. Due to the miniaturization, electrical stress is increasing, so that deflection may appear. Deflection processes modeling needs complete information. In order to change a determinist design to a operational one, that will take into account the reliability, one needs to know each parameter variation low. In this paper one make a forecast estimation of the helicoidally cylindrical springs characteristics, by the reliability indicators and by the performance degradation coefficient of the spring metal "b", that is experimentally measured using some original stand in heating conditions.*

### **I. REZULTATE EXPERIMENTALE PENTRU COEFICIENTUL DE DEGRADARE A PERFORMANȚELOR SISTEMELOR ELASTICE CILINDRICE LA TEMPERATURI INALTE**

Concepția din fiabilitate și mentenabilitate a echipamentelor electrice, presupune o strategie diferită de cea tradițională.

Algoritmii de dimensionare preliminară se bazează pe considerarea defectului, utilizarea modelelor stochastice și a coeficienților operaționali de siguranță. Proiectarea calității echipamentelor electrice necesită organizarea unui sistem informațional total, care să pună la dispoziția concepției datele și informațiile necesare (bănci de date). Cunoașterea mecanismelor fizice de oboseală este esențială în considerarea fiabilității în faza de concepție.

În structura aparatajului electric de joasă și înaltă tensiune o importanță deosebită o reprezintă elementele și subsistemele cu acumulare de energie, prevăzute în general cu elemente elastice, care asigură fie închiderea, fie deschiderea căilor de curent.

Pentru a găsi o relație între forța elementului elastic după  $N$  cicluri față de forța elementului elastic la zero cicluri când săgeata resortului este dată, ținând seama de temperatura de lucru a resortului, s-a construit un stand original de încercări

A fost stabilită o temperatură de  $80^{\circ}\text{C}$  apoi de  $60^{\circ}\text{C}$ . Schema electrică a standului de termostatare este dată în lucrarea [1]. El a fost montat pe standul de încercări de fiabilitate pentru temperatura mediului ambiant dat în figura 1.

Pentru 80°C. măsurătorile au fost făcute pe patru tipuri de arcuri, reprezentate fiecare de 20 de arcuri. Modul de măsurare a fost similar cu cel pentru temperatura mediului ambiant. Măsurătorile sunt exemplificate în tabelul 1.

Pentru 60°C. măsurătorile au fost făcute pe 3 tipuri de arcuri, reprezentate fiecare de 20 de arcuri. Au fost întocmite tabele de măsurători. La fiecare tip de resort a fost verificată legea de repartiție a valorilor măsurătorilor reale cu legea de repartiție normală utilizând testul de concordanță Massey. Legile au corespuns.

Valorile măsurate au fost trecute în tabele iar funcțiile

$\bar{P}_{N_2} = f(N)$  și  $\ln \bar{P}_{N_2} = f(N)$  au fost reprezentate grafic. Pentru 80°C. există tabelul 2 iar pentru 60°C. există tabelul 4.

Algoritmul de calcul pentru coeficienții de degradare  $b_{1t}$ ,  $b_{2t}$ ,  $b_{3t}$ ,  $b_{4t}$  este similar cu cei ai coeficienților  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$  corespunzători mediului ambiant cf.[2]. A fost întocmit tabelul 3 pentru 80°C. și tabelul 5 pentru 60°C.

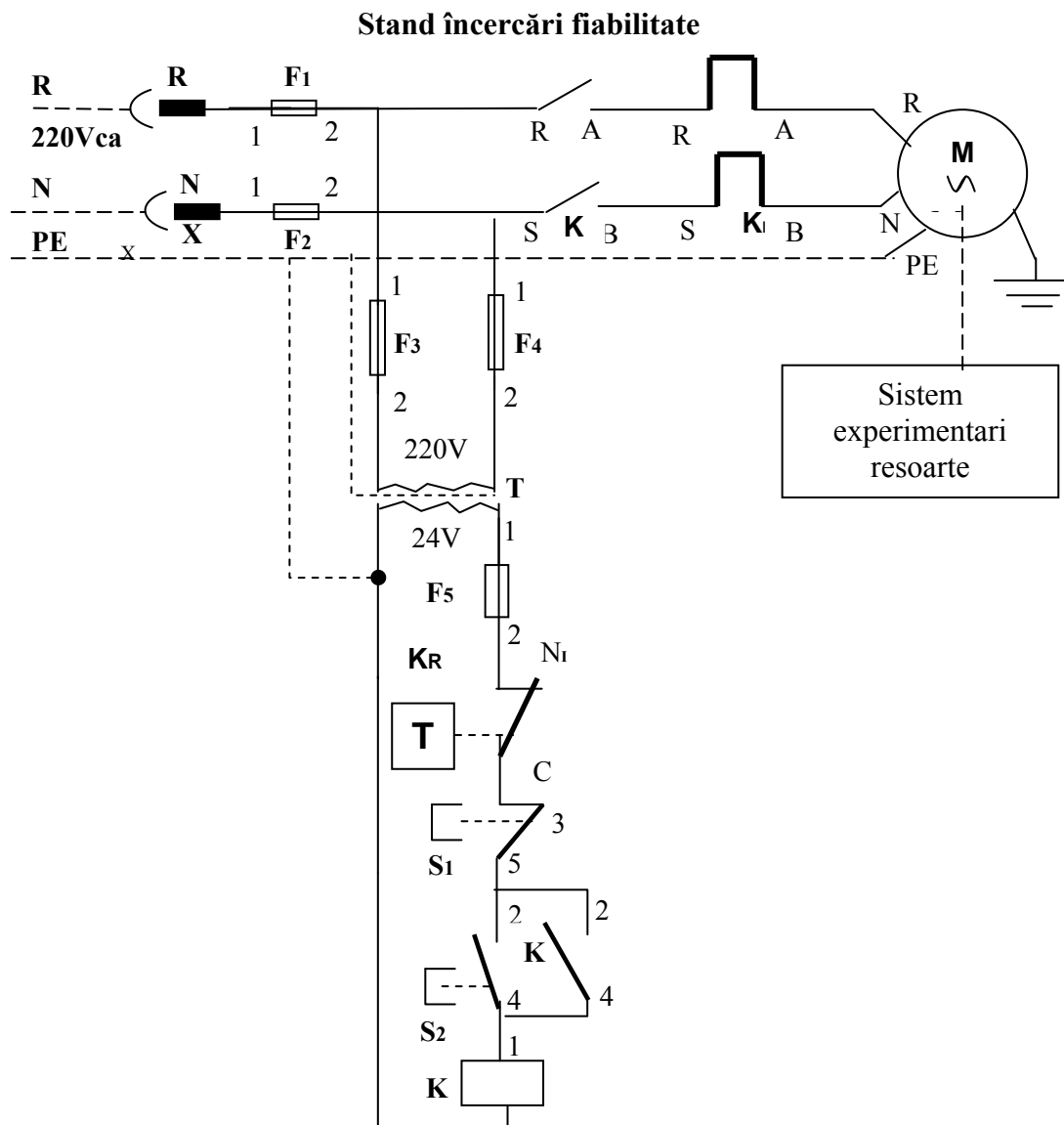


Fig.1. Schema electrică

## Lista echipamentului electric:

M – motor asincron monofazat, 220 V c.a., 1450 rot/min, 1,1 kW, 9,8 A	
1 buc.;	
X – fișă monofazată cu contact de protecție	1 buc.;
F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>5</sub> – siguranță fuzibilă 16 A	3 buc.;
F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub> – siguranță fuzibilă mignon 2 A	2 buc.;
T – transformator monofazat 220/24 V, 100 VA	1 buc.;
K – contactor tripolar TCA 16 A	1 buc.;
K <sub>R</sub> – releu termic	1 buc.;
S <sub>1</sub> – buton oprire	1 buc.;
S <sub>2</sub> – buton pornire	1 buc.

Observație: Motorul electric pentru protecția la suprasarcină este prevăzut cu releu termic iar instalația electrică pentru protecția la scurt circuit este prevăzută cu siguranțe fuzibile.

Motorul electric este legat la centura de pământare a laboratorului, iar pentru protecția la puneri la masă prin desprinderea unor conductoare sub tensiune se folosește fișa și priza cu contact de protecție.

## Măsurări:

Resort cindric de compresiune tip AC 19

Caracteristici:  $d = 1,8$  mm;  $\bar{D}_e = 20,8$  mm;  $\bar{D}_m = 19$  mm;  $n_t = 11$  spiral;  $n = 9,5$  spiral;  $H_2 = 31$  mm;  $f_2 = 20$  mm; RR fir;  $\theta_i = 80^\circ$  C.

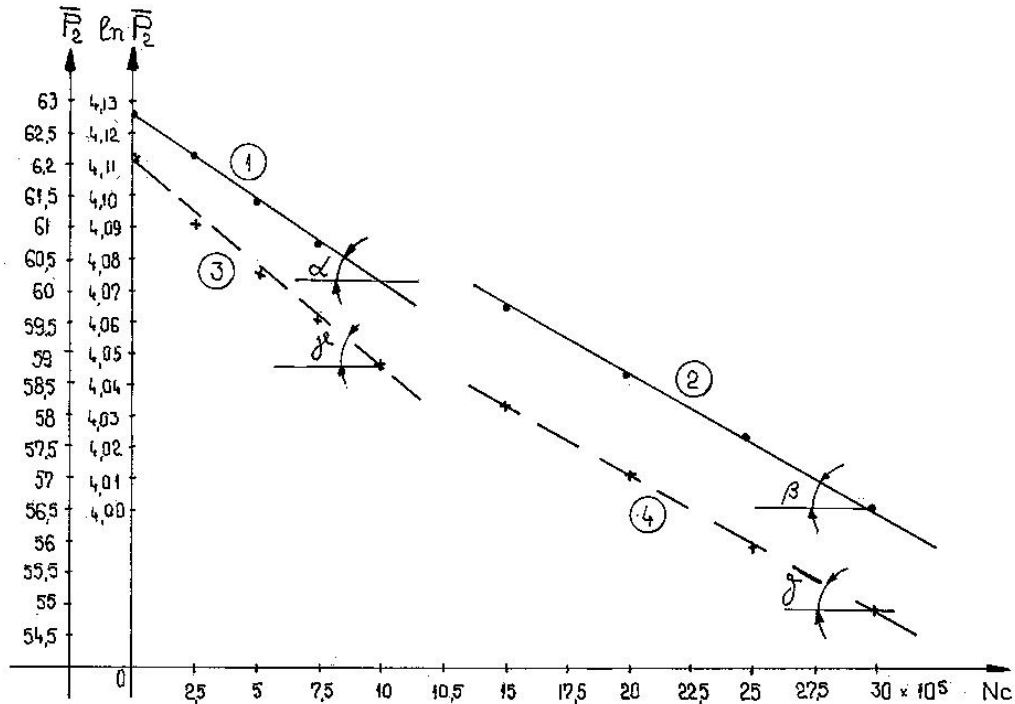
Tabel 1

Nr. Crt.	0 cicli		$5 \cdot 10^5$ cicli		$10^6$ cicli		$2 \cdot 10^6$ cicli		$3 \cdot 10^6$ cicli	
	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]
1	50	31,6	48,7	30,6	47,5	29,8	45	28,8	43,1	27,6
2	50	31,6	48,8	30,6	47,5	29,8	45	29	43,1	27,7
3	50,2	31,8	49	30,8	47,5	30	45	29	43,3	27,7
4	50,2	32	49	31	47,6	30,2	45,1	29,2	43,3	28
5	50,4	32	49,2	31	48	30,2	45,4	29,2	43,4	28
6	50,5	32,2	49,2	31,2	48	30,4	45,4	29,4	43,4	28,2
7	50,5	32,3	49,3	31,3	48	30,5	45,5	29,4	43,6	28,4
8	50,7	32,5	49,4	31,5	48,1	30,5	45,5	29,6	43,6	28,4
9	50,7	32,5	49,4	31,5	48,2	30,5	45,6	29,6	43,8	28,6
10	50,7	32,7	49,5	32	48,2	31	45,6	30	43,8	28,8
11	50,9	32,8	49,5	32	48,4	31	45,7	30	43,8	29
12	51	33	49,8	32,2	48,4	31,5	45,7	30,5	43,9	29,2
13	51	33	49,8	32,2	48,7	31,5	45,8	30,5	43,9	29,5
14	51,2	33,2	50	32,3	48,8	31,6	46	30,6	44,1	29,5
15	51,2	33,3	50	32,3	48,9	31,6	46,2	30,8	44,2	29,6
16	51,3	33,5	50,2	32,6	48,9	31,8	46,2	30,8	44,2	29,7
17	51,5	33,5	50,2	32,6	49	31,8	46,4	31	44,4	30
18	51,6	33,7	50,4	32,8	49	32,1	46,4	31	44,4	30
19	51,7	33,8	50,6	33	49,3	32,3	46,7	31,3	44,8	30,2
20	51,8	34,1	50,7	33,1	49,3	32,5	46,7	31,5	44,8	30,4
H <sub>0</sub>	50,86		49,6		48,3		45,7		43,8	
P <sub>2</sub>		32,76		31,83		31,07		30,06		28,9

$P_{2 \text{ calc}} (0 \text{ cicli}) = 32,7 \text{ N}$

**Diagrama**  
**Resort cilindric de compresiune A.C. 11,  $\theta_i = 80^\circ\text{C}$**  **Tabel 2**

N (cicli)	0	$5 \cdot 10^5$	$10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
$\bar{P}_2$ (N)	62,02	60,21	58,74	57,07	55,93	54,91
$\ln \bar{P}_2$	4,127	4,098	4,073	4,044	4,024	4,006



– Pentru curba 1 – scală semilogaritmică

$$\operatorname{tg} \alpha = b_{1t} = \frac{\ln \bar{P}_{02} - \ln \bar{P}_{10^6}}{10^6} = \frac{4,127 - 4,073}{10^6} = \frac{0,054}{10^6} = 5,4 \cdot 10^{-8}$$

$$b_{1t} = \frac{\ln \bar{P}_{02} - \ln \bar{P}_{N_2}}{N}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N_2} e^{b_{1t} \cdot N}, \quad b_{1t} = 5,4 \cdot 10^{-8}; \text{ pentru } N \leq 10^6 \text{ cicli};$$

– Pentru curba 2 – scală semilogaritmică

$$\operatorname{tg} \beta = b_{2t} = \frac{\ln \bar{P}_{1,5 \cdot 10^6} - \ln \bar{P}_{3 \cdot 10^6}}{1,5 \cdot 10^6} = \frac{4,062 - 4,006}{1,5 \cdot 10^6} = 3,73 \cdot 10^{-8}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N_2} e^{b_{2t} \cdot N} \quad b_{2t} = 3,73 \cdot 10^{-8}; \quad \text{pt. } N \geq 10^6 \text{ cicli};$$

– Pentru curba 3 – scală normală

$$\operatorname{tg} \gamma = b_{3t} = \frac{\bar{P}_{02} - \bar{P}_{10^6}}{10^6} = \frac{62,02 - 58,74}{10^6} = 3,28 \cdot 10^{-6}$$

$$b_{3t} = \frac{\bar{P}_{02} - \bar{P}_{N_2}}{N};$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N_2} + b_{3t} \cdot N; \quad b_{3t} = 3,28 \cdot 10^{-6}; \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicli}$$

– Pentru curba 4 – scală normală

$$- \operatorname{tg} \delta = b_{4t} = \frac{\bar{P}_{1,5 \cdot 10^6} - \bar{P}_{3 \cdot 10^6}}{1,5 \cdot 10^6} = \frac{58,10 - 54,91}{1,5 \cdot 10^6} = 2,12 \cdot 10^{-6}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N_2} + b_{4t} \cdot N; \quad b_{4t} = 2,12 \cdot 10^{-6}; \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicluri}$$

### Compararea coeficienților "b"

Tabel 3

Nr crt	Arc tip	Scală semi logaritmică		Scală normală		Obs.
		$b_{1ti}$	$b_{2ti}$	$b_{3ti}$	$b_{4ti}$	
1	AC 11	$5,40 \cdot 10^{-8}$	$3,73 \cdot 10^{-8}$	$3,28 \cdot 10^{-7}$	$2,12 \cdot 10^{-7}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$
2	AC 12	$5,10 \cdot 10^{-8}$	$3,60 \cdot 10^{-8}$	$0,82 \cdot 10^{-6}$	$0,53 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$
3	AC 19	$5,30 \cdot 10^{-8}$	$4,06 \cdot 10^{-8}$	$1,69 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$
4	AC 20	$5,10 \cdot 10^{-8}$	$3,80 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$0,73 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$

### Diagramă

Resort cilindric de compresiune A.C. 11,  $\theta_i = 60^\circ \text{C}$  Tabel 4

$N_c$ (cicli)	0	$5 \cdot 10^5$	$10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
$\bar{P}_2$ (N)	62,02	58,40	56,98	55,36	54,25	53,26
$\ln \bar{P}_2$	4,127	4,067	4,028	4,014	3,994	3,975

### Compararea coeficienților "b"

Tabel 5

Nr crt	Tip arc	scală semilogaritmică		scală normală		Obs.
		$b_{1ti}$	$b_{2ti}$	$b_{3ti}$	$b_{4ti}$	
1	AC 11	$5,24 \cdot 10^{-8}$	$3,62 \cdot 10^{-8}$	$3,14 \cdot 10^{-7}$	$2,06 \cdot 10^{-7}$	$\theta = 60^\circ \text{C}$
2	AC 12	$4,95 \cdot 10^{-8}$	$3,48 \cdot 10^{-8}$	$0,79 \cdot 10^{-6}$	$0,51 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 60^\circ \text{C}$
3	AC 20	$4,94 \cdot 10^{-8}$	$3,65 \cdot 10^{-8}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$	$0,70 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 60^\circ \text{C}$

## OBSERVAȚII

a) Experimentările s-au efectuat exclusiv asupra resoartelor elicoidale cilindrice de compresiune din aparatele electrice de comutație preluate din producția de serie a uzinei „Electroaparataj” București, executate din sârmă RR, având diametrul maxim al sârmei de 2 mm și diametrul minim al sârmei de 0,55 mm. Forța măsurată maximă a fost de 131 N și forța măsurată minimă de 1,18 N.

b) S-au efectuat măsurători a resoartelor în instalația de termostatare numai pentru temperaturile de  $80^\circ \text{C}$ . și  $60^\circ \text{C}$

c) Coeficienții  $b_{1ti}$ ,  $b_{2ti}$  au valori apropiate între ele la fiecare tip de coeficient b, deci se poate folosi o valoare medie a fiecărui tip de coeficient ( $b_{1t}$ ,  $b_{2t}$ ).

-Pentru  $\theta = 80^\circ \text{C}$ :

$$\bar{P}_{N2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{1t} \cdot N};$$

$$b_{1t} = \frac{\sum_{i=1}^4 b_{1ti}}{4} = 5,22 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicluri.}$$

$$\bar{P}_{N2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{2t} \cdot N}; \quad b_{2t} = \frac{\sum_{i=1}^4 b_{2ti}}{4} = 3,80 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicli.}$$

- Pentru  $\theta = 60^\circ \text{ C}$ :

$$\bar{P}_{N2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{1t} \cdot N}; \quad b_{1t} = \frac{\sum_{i=1}^3 b_{1ti}}{4} = 5,04 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicli.}$$

$$b_{2t} = \frac{\sum_{i=1}^3 b_{2ti}}{4} = 3,58 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicli.} \quad b_{1t}, b_{2t} = [\text{cicli}^{-1}]$$

d) Coeficienții  $b_{3ti}$ ,  $b_{4ti}$  au valori îndepărtate, deci nu se poate folosi o valoare medie a acestora.

e) Analizând funcțiile  $\bar{P}_{N2} = f(N)$  se constată că variația funcției poate fi considerată liniară. Ținând seama de experimentările specificate se poate accepta ipoteza degradării liniare a performanțelor arcurilor

f) Coeficienții  $b_{1ti}$ ,  $b_{2ti}$  au valori apropiate între ele la fiecare tip de coeficient  $b$ , atât pentru  $\theta = 80^\circ \text{ C}$ . cât și pentru  $\theta = 60^\circ \text{ C}$ , deci se poate folosi o valoare medie a fiecărui tip de coeficient ( $b_{1t}$ ,  $b_{2t}$ )  $5.135 \cdot 10^{-8}$  pentru  $N < 10^6$  cicli și  $3.69 \cdot 10^{-8}$  pentru  $N > 10^6$  cicli.

## II. CONCLUZII

Cu ajutorul unui stand de încercări și a unei instalații de termostatare s-au efectuat cercetări asupra resoartelor pentru a determina influența unor factori (oboseala prin ciclu oscilant și temperatură) asupra performanțelor lor.

Relația care aproximează cel mai bine scăderea forței în funcție de numărul de cicli este de tip exponențial atât la temperatura mediului ambiant cât și la temperatura de  $80^\circ \text{C}$ . și  $60^\circ \text{C}$ .

Ținând seama de această variație a forței și impunând o anumită fiabilitate a aparatelor și elementelor componente se poate determina o forță de calcul, astfel încât aparatul să funcționeze la  $N$  cicluri și o temperatură dată.

În acest fel, se poate înlocui o proiectare deterministă cu o proiectare operațională care să țină seama de indicatorii de fiabilitate.

## Bibliografie

[1].Ratiu Gheorghe, “*Experimental results on the degradation coefficient of the elastic tronconical systems performances for electric equipments in high temperature*”, articol la Academia Forțelor Terestre, Sibiu, la a 12-a sesiune de comunicări științifice cu participare internațională din.11-14.06.2007

[2].Rațiu Gheorghe, “*Asigurarea calității și fiabilității elementelor active din componența echipamentelor electrice*”, Teză doctorat, Universitatea Politehnică, București, 2001.

---

\* Gheorghe Ratiu, conf.univ.dr.ing., Academia Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu, str. Revoluției nr. 3-5, tel. 0269 432990/ 1332, e-mail:ghratiu@armyacademy.ro



## ANALIZE COMPARATIVE ALE ELEMENTELOR ELASTICE CU ACUMULARE DE ENERGIE DE TIP CONIC DIN COMPONENTA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE LA DIFERITE TEMPERATURI

Gheorghe RAȚIU\*

### **Abstract:**

*There is a tendency for miniaturization in the electrical equipments industry. Due to the miniaturization, electrical stress is increasing, so that deflection may appear. Deflection processes modeling needs complete information. In order to change a determinist design to a operational one, that will take into account the reliability, one needs to know each parameter variation low. In this paper one make a forecast estimation of the helicoidally tronconical springs characteristics, by the reliability indicators and by the performance degradation coefficient of the spring metal "b", that is experimentally measured using some original stand in heating conditions.*

### **I. REZULTATE EXPERIMENTALE PENTRU COEFICIENTUL DE DEGRADARE A PERFORMANȚELOR SISTEMELOR ELASTICE TRONCONICE A ECHIPAMENTELOR ELECTRICE LA TEMPERATURI ÎNALTE**

Concepția din fiabilitate și mentenabilitate a echipamentelor electrice, presupune o strategie diferită de cea tradițională.

Algoritmii de dimensionare preliminară se bazează pe considerarea defectului, utilizarea modelelor stochastice și a coeficienților operaționali de siguranță. Proiectarea calității echipamentelor electrice necesită organizarea unui sistem informațional total, care să pună la dispoziția concepției, datele și informațiile necesare (bănci de date). Elementele elastice ale echipamentelor electrice sunt supuse ciclurilor de oboseala cu ciclu oscilant, astfel încât caracteristicile funcționale depind atât de numărul de cicluri cât și de temperatură. În acest fel degradarea performanțelor este caracterizată de coeficientul de degradare „b”.

În structura aparatului electric de joasă și înaltă tensiune o importanță deosebită o reprezintă elementele și subsistemele cu acumulare de energie, prevăzute în general cu elemente elastice, care asigură fie închiderea, fie deschiderea căilor de curent.

Pentru a găsi o relație între forța elementului elastic după  $N$  cicluri față de forța elementului elastic la zero cicluri când săgeata resortului este dată, ținând seama de temperatura de lucru a resortului, s-a construit un stand original de încercări, care a fost montat pe standul de încercări a fiabilității la temperatura mediului ambiant dat în [1]. A fost stabilită o temperatură de 80°C și 60°C.

Schema electrică a instalației de termostatare este dată în fig.1.

Măsurătorile au fost făcute pentru 3 respectiv 2 tipuri de arcuri, fiecare tip fiind reprezentat de 20 de arcuri pentru fiecare temperatură (80°C și 60°C). Măsurătorile sunt similare cu cele făcute la temperatura mediului ambiant și sunt date în tabelul 1.

La fiecare tip de resort a fost verificată legea de repartiție a valorilor măsurătorilor reale cu legea de repartiție normală utilizând testul de concordanță Massey. Legile au corespuns.

Valorile măsurate au fost trecute în tabele iar funcțiile

$\bar{P}_{N_2} = f(N)$  și  $\ln \bar{P}_{N_2} = f(N)$  au fost reprezentate grafic. Pentru 80°C. există tabelul 2 iar pentru 60°C. există tabelul 4.

Algoritmul de calcul pentru coeficienții de degradare  $b_{1t}$ ,  $b_{2t}$ ,  $b_{3t}$ ,  $b_{4t}$  este similar cu cei ai coeficienților  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_4$  corespunzători mediului ambiant cf.[2]. A fost întocmit tabelul final 3 pentru 3 tipuri de arcuri și pentru 80°C. și a fost întocmit tabelul final 5 pentru 2 tipuri de arcuri și pentru 60°C.

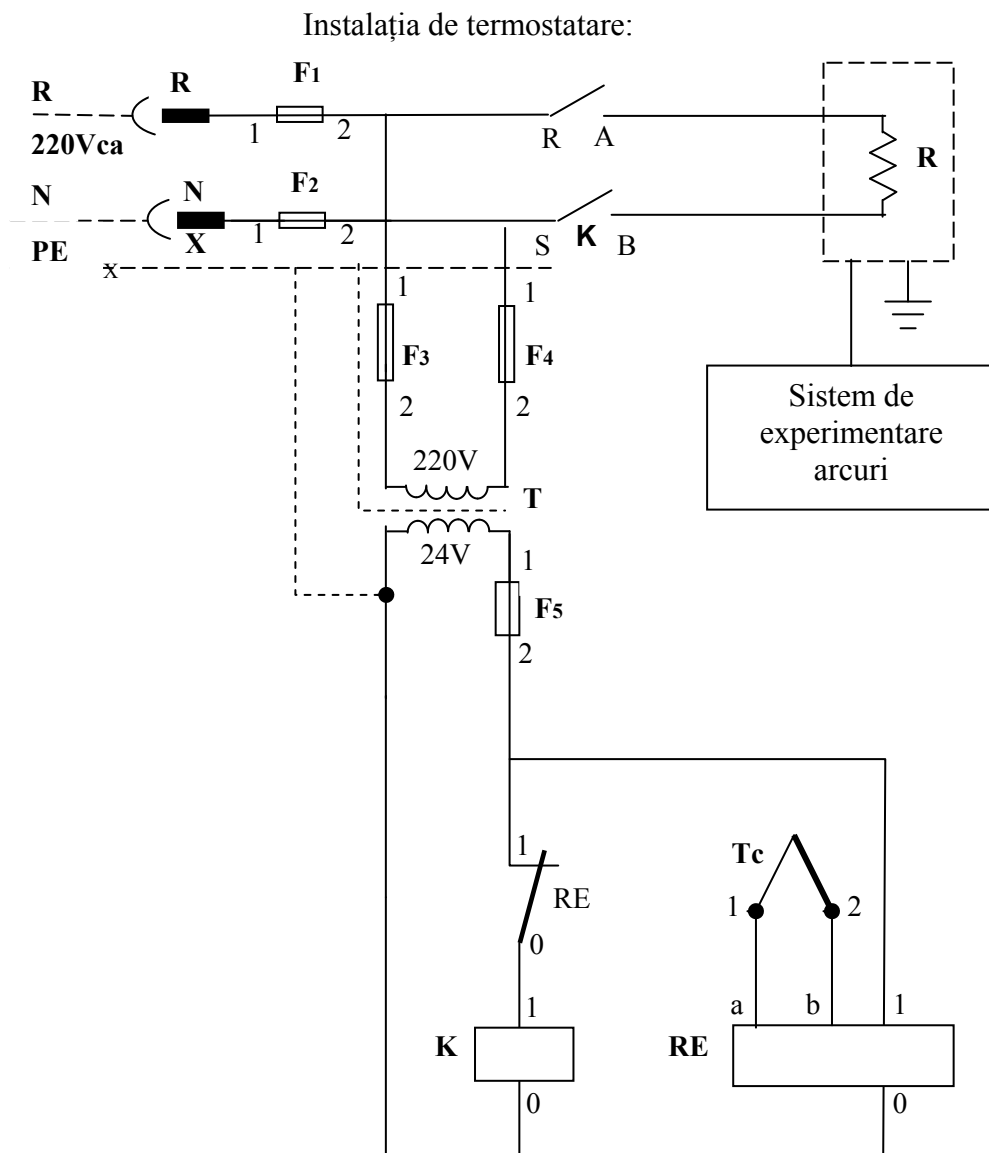


Fig. 1. Schema electrică

## Lista echipamentului electric:

F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub> – siguranță fuzibilă 4 A	4 buc.;
F <sub>5</sub> – siguranță fuzibilă de 10 A	1 buc.;
RE – regulator electronic de temperatură tip 1 RT 96	1 buc.;
K – contactor TCA 10 A	1 buc.;
T – transformator 220/24 V, 100 VA	1 buc.;
T <sub>C</sub> – termocuplu Fe-Constantan 50-400°C	1 buc.;
R <sub>T</sub> – rezistență 500 W	1 buc.;
X – fișă monofazată cu contact de protecție	1 buc.;

Observație: Incinta de termostatare este legată la centura de pământare a laboratorului, iar pentru protecția la puneri la masă prin desprinderea unor conductoare sub tensiune se folosește fișa și priza cu contact de protecție.

**MĂSURĂRI:**

Arc conic de compresie tip AC 25

Caracteristici:  $d = 0,9$  mm;  $\bar{D}_{Me} = 31,6$  mm;  $\bar{D}_{me} = 20$  mm;  $n_t = 5$  spire;  $n = 3,5$  spire;  $H_2 = 14$  mm;  $f_2 = 13$  mm; sârmă RR;  $\theta_i = 80^\circ$  C.

Tabel 1

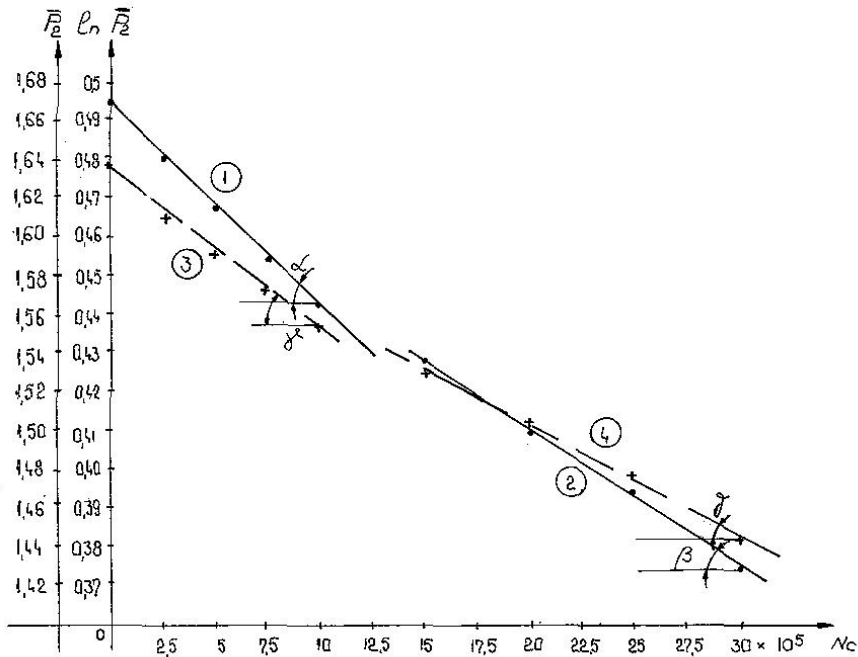
Nr. Crt.	0 cicli		5·10 <sup>5</sup> cicli		10 <sup>6</sup> cicli		2·10 <sup>6</sup> cicli		3·10 <sup>6</sup> cicli	
	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]	H <sub>0</sub> mm	P <sub>2</sub> [N]
1	26,3	1,57	25,7	1,51	25,3	1,46	24	1,43	23,1	1,37
2	26,3	1,58	25,7	1,52	25,3	1,47	24,1	1,44	23,2	1,38
3	26,5	1,58	25,9	1,54	25,3	1,5	24,2	1,45	23,3	1,4
4	26,7	1,59	26	1,55	25,5	1,5	24,3	1,46	23,5	1,4
5	26,7	1,59	26,2	1,56	25,8	1,51	24,4	1,46	23,6	1,4
6	26,9	1,6	26,3	1,57	25,8	1,52	24,6	1,47	23,7	1,42
7	26,9	1,61	26,3	1,58	25,9	1,53	24,6	1,47	23,8	1,43
8	27	1,62	26,5	1,58	26	1,53	24,7	1,47	23,8	1,43
9	27	1,62	26,5	1,59	26	1,55	24,8	1,48	23,9	1,44
10	27	1,63	26,5	1,59	26,1	1,55	24,8	1,48	23,9	1,44
11	27,1	1,65	26,6	1,6	26,1	1,56	24,9	1,51	24	1,45
12	27,1	1,66	26,6	1,6	26,2	1,57	24,9	1,51	24	1,45
13	27,2	1,66	26,6	1,61	26,2	1,58	25	1,53	24,1	1,47
14	27,2	1,67	26,7	1,62	26,3	1,59	25,1	1,54	24,1	1,48
15	27,3	1,67	26,7	1,62	26,3	1,6	25,2	1,55	24,2	1,49
16	27,4	1,68	26,7	1,63	26,4	1,61	25,2	1,56	24,2	1,5
17	27,5	1,68	26,8	1,63	26,5	1,61	25,2	1,56	24,3	1,5
18	27,5	1,70	26,9	1,64	26,5	1,62	25,3	1,57	24,4	1,51
19	27,6	1,71	27	1,66	26,6	1,63	25,3	1,58	24,6	1,53
20	27,7	1,72	27,1	1,66	26,8	1,65	25,5	1,6	24,6	1,55
$\bar{H}_0$	27		26,4		26,0		25		23,9	
$\bar{P}_2$		1,639		1,593		1,557		1,506		1,452

$P_{2\text{ calc}} (0 \text{ cicli}) = 1,59$  N

**Diagramă**  
**Arc conic de compresiune tip AC 25**  $\theta_i = 80^\circ\text{C}$

Tabel 2

No. (cicli)	0	$5 \cdot 10^5$	$10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
$\bar{P}_2$ (N)	1,639	1,593	1,557	1,532	1,506	1,485	1,452
$\ln \bar{P}_2$	0,494	0,466	0,443	0,427	0,409	0,395	0,373



– Pentru curba 1 – scală semilogaritmică

$$\operatorname{tg} \alpha = b_{1t} = \frac{\ln \bar{P}_{02} - \ln \bar{P}_{10^6}}{10^6} = \frac{0,494 - 0,44}{10^6} = 5,1 \cdot 10^{-8}$$

$$b_{1t} = \frac{\ln \bar{P}_{02} - \ln \bar{P}_{N2}}{N}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N2} e^{b_{1t} N} \quad b_{1t} = 5,1 \cdot 10^{-8}; \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicluri}$$

– Pentru curba 2 – scală semilogaritmică

$$\operatorname{tg} \beta = b_{2t} = \frac{\ln \bar{P}_{1,5 \cdot 10^6} - \ln \bar{P}_{3 \cdot 10^6}}{1,5 \cdot 10^6} = \frac{0,427 - 0,373}{1,5 \cdot 10^6} = 3,6 \cdot 10^{-8}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N2} e^{b_{2t} N} \quad b_{2t} = 3,6 \cdot 10^{-8}; \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicluri}$$

– Pentru curba 3 – scală normală

$$\operatorname{tg} \gamma = b_{3t} = \frac{\bar{P}_{02} - \bar{P}_{10^6}}{10^6} = \frac{1,639 - 1,557}{10^6} = 0,82 \cdot 10^{-7}$$

$$b_{3t} = \frac{\bar{P}_{02} - \bar{P}_{N2}}{N}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N2} + b_{3t} N; \quad b_{3t} = 0,82 \cdot 10^{-7}; \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicluri}$$

– Pentru curba 4 – scală normală

$$\operatorname{tg} \delta = b_{4t} = \frac{\bar{P}_{1,5 \cdot 10^6} - \bar{P}_{3 \cdot 10^6}}{1,5 \cdot 10^6} = \frac{1,532 - 1,452}{1,5 \cdot 10^6} = 0,53 \cdot 10^{-7}$$

$$\bar{P}_{02} = \bar{P}_{N_2} + b_{4t} \cdot N; \quad b_{4t} = 0,53 \cdot 10^{-7}; \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicluri}$$

Compararea coeficienților experimentali „b”

Tabel 3

Nr crt	arc tip	scală semilogaritmică		scală normală		Obs.
		$b_{1ti}$	$b_{2ti}$	$b_{3ti}$	$b_{4ti}$	
1	AC 21	$5,30 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,15 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$
2	AC 22	$5,15 \cdot 10^{-8}$	$3,85 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$0,75 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$
3	AC 25	$5,10 \cdot 10^{-8}$	$3,60 \cdot 10^{-8}$	$0,82 \cdot 10^{-7}$	$0,53 \cdot 10^{-7}$	$\theta = 80^\circ \text{ C}$

Diagramă

Arc conic de compresiune tip AC 25

 $\theta_i = 60^\circ \text{ C}$ 

Tabel 4

No. (cycl)	0	$5 \cdot 10^5$	$10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
$\bar{P}_2 \text{ (N)}$	1,639	1,545	1,487	1,486	1,460	1,445	1,408
$\ln \bar{P}_2$	0,494	0,435	0,397	0,396	0,378	0,365	0,342

Compararea coeficienților experimentali „b”

Tabel 5

Nr crt	arc tip	scală semilogaritmică		scală normală		Obs.
		$b_{1ti}$	$b_{2ti}$	$b_{3ti}$	$b_{4ti}$	
1	AC 21	$5,12 \cdot 10^{-8}$	$3,65 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$2,08 \cdot 10^{-6}$	$\theta = 60^\circ \text{ C}$
2	AC 25	$5,94 \cdot 10^{-8}$	$3,55 \cdot 10^{-8}$	$0,79 \cdot 10^{-7}$	$0,51 \cdot 10^{-7}$	$\theta = 60^\circ \text{ C}$

**OBSERVAȚII**

a) Experimentările s-au efectuat exclusiv asupra resoartelor elicoidale tronconice de compresiune din aparatele electrice de comutație preluate din producția de serie a uzinei „Electroaparataj” București, executate din sârmă RR, având diametrul maxim al sârmei de 2 mm și diametrul minim al sârmei de 0,55 mm. Forța măsurată maximă a fost de 131 N și forța măsurată minimă de 1,18 N.

b) S-au efectuat măsurători a resoartelor în instalația de termostatare numai pentru temperaturile de  $80^\circ \text{ C}$ . și  $60^\circ \text{ C}$ .

c) Coeficienții  $b_{1ti}$ ,  $b_{2ti}$  au valori apropiate între ele la fiecare tip de coeficient b, deci se poate folosi o valoare medie a fiecărui tip de coeficient ( $b_{1t}$ ,  $b_{2t}$ ).

- Pentru  $\theta = 80^\circ \text{ C}$ :

$$\bar{P}_{N_2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{1t} \cdot N}; \quad b_{1t} = \frac{\sum_{i=1}^3 b_{1ti}}{3} = 5,18 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicluri.}$$

$$\bar{P}_{N_2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{2t} \cdot N}; \quad b_{2t} = \frac{\sum_{i=1}^3 b_{2ti}}{3} = 3,72 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicluri.}$$

-Pentru  $\theta = 60^\circ \text{ C}$ :

$$\bar{P}_{N_2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{1t} \cdot N}; b_{1t} = \frac{\sum_{i=1}^2 b_{1ti}}{2} = 5,03 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N \leq 10^6 \text{ cicluri.}$$

$$\bar{P}_{N_2} = \bar{P}_{02} \cdot e^{-b_{2t} \cdot N}; b_{2t} = \frac{\sum_{i=1}^2 b_{2ti}}{2} = 3,6 \cdot 10^{-8} \quad \text{pt. } N > 10^6 \text{ cicluri.} \quad b_{1t}, b_{2t} = [\text{cicli}^{-1}]$$

d) Coeficienții  $b_{3ti}$ ,  $b_{4ti}$  au valori îndepărtate, deci nu se poate folosi o valoare medie a acestora.

e) Analizând funcțiile  $\bar{P}_{N_2} = f(N)$  se constată că variația funcției poate fi considerată liniară. Ținând seama de experimentările specificate se poate accepta ipoteza degradării liniare a performanțelor arcurilor

f) Coeficienții  $b_{1ti}$ ,  $b_{2ti}$  au valori apropiate între ele la fiecare tip de coeficient  $b$ , atât pentru  $\theta = 80^\circ \text{ C}$ . cât și pentru  $\theta = 60^\circ \text{ C}$ , deci se poate folosi o valoare medie a fiecărui tip de coeficient ( $b_{1t}$ ,  $b_{2t}$ )

$5.105 \cdot 10^{-8}$ , pentru  $N < 10^6$  cicluri și  $3.66 \cdot 10^{-8}$  pentru  $N > 10^6$  cicluri.

## II. CONCLUZII

Cu ajutorul unui stand de încercări și a unei instalații de termostatare s-au efectuat cercetări asupra resoartelor pentru a determina influența unor factori (oboseala prin ciclu oscilant și temperatură) asupra performanțelor lor.

Prin efort material propriu și cu ajutorul mai mic al unor sponsori, s-a reușit realizarea unui stand de încercări pentru estimarea previzională a caracteristicilor elementelor elastice pe baza indicatorilor de fiabilitate, și realizarea unei instalații de termostatare, prin intermediul căreia să fie posibilă determinarea forței resortului după un număr de cicluri  $N$  la o săgeată dată, ținând seama de temperatura de lucru a resortului.

Relația care aproximează cel mai bine scăderea forței în funcție de numărul de cicluri este de tip exponențial atât la temperatura mediului ambiant cât și la temperatura de  $80^\circ \text{C}$ . și  $60^\circ \text{C}$ .

Ținând seama de această variație a forței și impunând o anumită fiabilitate a aparatelor și elementelor componente se poate determina o forță de calcul, astfel încât aparatul să funcționeze la  $N$  cicluri și o temperatură dată.

În acest fel, se poate înlocui o proiectare deterministă cu o proiectare operațională care să țină seama de indicatorii de fiabilitate.

## Bibliografie

[1].Rațiu Gheorghe, „*Experimental results on the degradation coefficient of the elastic cylindrical systems performances for electric equipments in high temperature*”, articol la Academia Forțelor Terestre, Sibiu, la a 12-a sesiune de comunicări științifice cu participare internațională din.11-14.06.2007

[2].Rațiu Gheorghe, „*Asigurarea calității și fiabilității elementelor active din componența echipamentelor electrice*”, Teză doctorat, Universitatea Politehnică, București, 2001.

\* Gheorghe Rațiu, conf.univ.dr.ing., Academia Forțelor Terestre “Nicolae Bălcescu” Sibiu, str. Revoluției nr. 3-5, tel. 0269 432990/ 1332, e-mail:ghratiu@armyacademy.ro

## MICROCENTRALĂ HIDROPNEUMATICĂ PENTRU CAPTAREA ȘI CONVERSIA ENERGIEI VALURILOR

Samoilescu Gheorghe \*  
Barbu Alina \*\*

### *Abstract:*

*The paper proposes a functional model of a micro power plant which shall be located nearby the Black Sea shore. A special issue of hydro-pneumatic installations for the conversion of wave energy is represented by the construction and operation of the irreversible turbine which triggers the installation generator.*

*A new type of turbine is proposed which is deemed to remove blockages and the extremely low efficiency of Wells turbines, as well as the complications for driven variable pace turbines.*

*The purpose is to achieve a micro power plant, having a nominal power of 5 kW, based on the hydro-pneumatic principle. The projection, shaping, as well as the dimensions of the installation shall be achieved taking into account the parameters of hydrodynamic, aerodynamic, mechanical and electrical charging of the entire micro power plant, and also the hydro-meteorological conditions on the Black Sea shore.*

### **1. Introducere**

Realizarea unor centrale pentru energia valurilor constituie o preocupare deosebită pentru țările care beneficiază de țărmuri cu valuri puternice, problema prezintă totuși interes și pentru țările care dispun de valuri de mică amplitudine. Astfel, având în vedere necesitatea construirii unor diguri de protecție costieră se pune în prezent problema recuperării energiei valurilor care ajung la aceste diguri. Deși energia valurilor Mării Negre este relativ redusă și nu se poate pune în prezent problema livrării energiei captate în rețea, există nenumărate aplicații în care această energie este foarte utilă. [1]

Având în vedere cercetările efectuate la nivel mondial și experimentările efectuate în țara noastră se poate concluziona că energia valurilor Mării Negre poate fi captată și utilizată pentru aplicații locale în condiții eficiente cu ajutorul instalațiilor hidropneumatice cu coloană oscilantă. [1,3,7]



## II. Instalații de captare a energiei valurilor pentru zonele din apropierea țărmului și pentru zonele de larg

◆ *Instalații cu coloană oscilantă - OWC (oscillating water column).* Constau în principal dintr-o incintă în care valurile care pătrund formează o coloană oscilantă. Această coloană acționează un volum de aer care trece printr-o turbină de aer unisens;

◆ *Instalații tip TAPCHAN.* Constau dintr-un bazin în care valurile care vin printr-un canal special amenajat fac ca apa să se acumuleze la un nivel superior nivelului mării. Diferența de nivel obținută permite alimentarea unor turbine;

◆ *Instalații pendulare cu panou articulată.* Într-un spațiu special amenajat un panou oscilează datorită valurilor care se propagă pe orizontală și acționează o pompă hidraulică. Pompa alimentează o turbină hidraulică.

◆ *Instalația daneză cu pompă și flotor.* Este o instalație în care un flotor acționează o pompă ancorată de fundul mării care acționează turbine hidraulice;

◆ *Instalația suedeză HOSEPUMP.* Se bazează pe un cilindru realizat din elastomeri care antrenat de un flotor permite expulzarea apei din interior, alimentarea unei pompe hidraulice și acționarea unei turbine;

◆ *Instalația McCABE WAVE PUMP.* Constă din niște pontoane care se mișcă față de un ponton central, acționând pompe hidraulice care acționează turbine hidraulice.

Preluarea energiei valurilor se realizează prin: coloană oscilantă formată de apa mării; flotoare de diferite forme și dimensiuni; panouri oscilante; acumularea volumului de apă ridicat de valuri într-un bazin[2,3,4,5].

Acționarea directă a generatoarelor electrice se realizează cu turbine de aer și turbine hidraulice.

Agentul de acționare a turbinelor poate fi: aerul; apa de mare; lichidul acționat în circuit închis.

Din analiza acestor elemente de caracterizare se constată că nu apar elemente de acționare mecanică a generatoarelor cum sunt: multiplicatoarele de viteză, biețele, manivelele, frei-urile și volanții. Acționarea generatoarelor centralelor de valuri actuale se realizează direct de turbine sau cu ajutorul pompelor care acționează turbine cuplate cu generatoare. Aceasta se explică, prin discrepanța care există între viteza necesară generatoarelor electrice și viteza de deplasare a flotoarelor. Datorită acestui fapt se evită utilizarea dispozitivelor mecanice de multiplicare a vitezei flotoarelor care conduc la un randament global al instalațiilor redus și se utilizează turbine pentru aer sau lichide.

Dintre toate tipurile de instalații pentru captarea și conversia energiei valurilor se constată că cele care prezintă cea mai mare atenție sunt instalațiile hidropneumatice cu coloană oscilantă, cunoscute sub denumirea de instalații OWC (oscillating water column).

Printre avantajele instalațiilor hidropneumatice se pot enumera:

- schema cinematică foarte simplă;
- lipsa sistemelor de multiplicare a vitezei, turbina fiind cuplată direct cu generatorul;
- nu folosesc agent lichid pentru transmiterea energiei, evitând utilizarea etanșărilor;
- nu au structuri cinematice în contact cu apa mării;

Subansamblul cel mai important al acestor instalații este turbina unisens.

### III. Modele de microcentrale hidropneumatice

Propunem un model de microcentrală hidropneumatică, pornind de la un model realizat în anul 1984 de Institutul de Cercetări Electrotehnice București[6], la care modulul generator era alcătuit dintr-o turbină unisens și un mic alternator, iar axul turbinei se sprijinea pe doi rulmenți radiali și era cuplat elastic cu axul generatorului. Modulul generator avea un tub prevăzut cu flanșă pentru asamblare la capacul geamandurii.

Principiul de funcționare al turbinei unisens cu pale oscilante se bazează pe înclinarea alternantă a palelor față de planul de rotire al turbinei în funcție de sensul de acționare al fluxului de aer care duce la apariția forțelor tangențiale unidirecționale și la rotirea turbinei într-un singur sens.

Turbina unisens are un diametru de 216 mm și este formată dintr-un butuc central, care avea implantate radial 20 axe din oțel inox, pe care erau montate 20 de pale executate din dural prevăzute în bordul de atac cu câte două lagăre din poliamidă.

Oscilația palelor era limitată la un unghi de + 30° și - 30° față de planul turbinei cu ajutorul unor limitatoare sudate de axele radiale.

Pentru evitarea deplasării radiale palele erau prinse de butucul turbinei cu câte o lamelă îngustă din tombac fixată prin nituire.

Din datele statistice ale Institutului Meteorologic, , privind spectrul energetic al valurilor Mării Negre, disponibile în prezent, rezultă că la izobata de 9 m, în dreptul portului Constanța, înălțimea medie anuală a valurilor este de 0,46 m.

Pentru dimensionarea microcentralei s-a avut în vedere un coeficient de calcul al înălțimii medii a valurilor  $C_v = \sqrt{2}$ . Aceasta conduce la o înălțime de calcul a valurilor  $h_{vc} = 0,65$  m.

Conform metodologiei de calcul elaborate parametrii microcentralei se determină pe baza bilanțului energetic care are în vedere energia valurilor, pierderea de energie datorită presiunii exercitate asupra coloanei oscilante în interiorul instalației, randamentul estimat al turbinei și randamentul generatorului. Energia valurilor la intrarea în incinta instalației s-a determinat din relația Gerstner:

$$E = 975 \cdot h_{vc}^2 \cdot T^2 \cdot L \quad [\text{W} \cdot \text{s}], \quad [4],$$

unde:  $h_{vc}$ - înălțimea medie anuală de calcul a valurilor;

T - Perioada valului de calcul;

L – lungimea instalației

Trebuie precizat că această relație are în vedere, pentru calculele practice, numai 50% din energia totală a valurilor, alcătuită din energia potențială și energia cinetică.

Puterea instalată a microcentralei, având în vedere randamentele posibile de obținut rezultată:  $P_n = 3$  kW, pentru un front de val de 5 m.

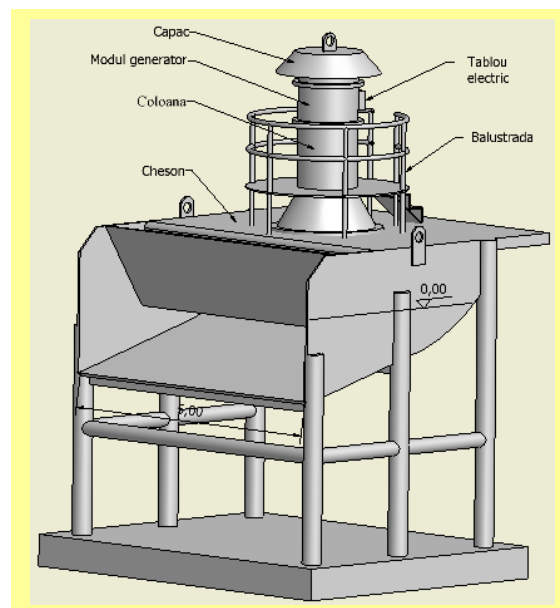
Microcentrala are un compartiment de 5 m lungime realizat din tablă de oțel. Compartimentul formează o incintă care are o deschidere îndreptată spre larg. Peretele din față al incintei formează un unghi de cca 40° față de orizontală pentru favorizarea pătrunderii valurilor în incintă. Peretele din spatele incintei este curb pentru favorizarea formării unei coloanei oscilante rezonante.

În plafonul incintei este prevăzută o deschidere circulară în care se montează modulul generator al instalației, alcătuit dintr-o turbină unisens cuplată cu un generator electric. Modulul generator este protejat de un tub, care ajunge la nivelul de 4,5 m. prevăzut în partea superioară cu un racord pentru vehicularea aerului montat cu gura în jos pentru a proteja modulul de ploaie și vânt.

Turbina microcentralei este o turbină unisens cu pale oscilante. Profilul palelor este simetric tip NACA 0012. Unghiul de funcționare al palelor este determinat în funcție de modulul vitezei  $\lambda$ . Datorită respectării caracteristicilor aerodinamice ale palelor precum și pentru

motivul că este întubată, turbina unisens propusă are o eficiență net superioară turbinelor Wells.

Un exemplu al microcentralei propuse este reprezentat în Figura 1.



Microcentrala este alcătuită dintr-un cheson prevăzut cu o deschidere spre largul mării și cu o deschidere circulară în plafon peste care se assemblează o coloană cilindrică. În această coloană este montat un modul generator alcătuit dintr-o turbină unisens și un generator trifazat cu puterea nominală de 5 kW

Coloana cilindrică, montată vertical deasupra chesonului este prevăzută cu o deschidere în partea superioară pentru vehicularea aerului acționat de valuri. Protecția modului generator este asigurată de coloană care este etanșă și deschisă la o înălțime la care nu ajung valurile de mare amplitudine.

Deschiderea chesonului spre larg este amenajată pentru captarea cu eficiență atât a valurilor mari cât și a valurilor mici.

Instalația este susținută de 6 piloni încastrați într-o placă de beton armat care permite așezarea instalației pe un pat amenajat pe fundul mării și lestarea ansamblului.

Pentru obținerea unui randament superior modulul generator al microcentralei este prevăzut cu un generator trifazat cu excitație realizată din magneți permanenți din pământuri rare. Funcționarea instalației propuse pentru cercetare se bazează pe următoarele principii:

- ◆ Spre deosebire de instalațiile hidropneumatice cu coloană oscilantă cunoscute, în instalația propusă valurile pătrund pe direcția lor de propagare, evitând schimbarea direcției fluxului energetic al valurilor și permițând captarea atât a valurilor mari cât și a valurilor mici;

- ◆ Pomirea turbinei se realizează prin inclinarea palelor la un unghi de + sau - 40° asigurand o pornire rapida a turbinei la viteze foarte mici ale fluxului ae aer;
- ◆ În timpul funcționarii instalației, unghiul de inclinare al palelor turbinei variaza până la unghiul nominal în funcție de viteza fluxului de aer și sarcina generatorului;
- ◆ Pentru protecția modului generator împotriva supraturației se are in vedere experimentarea a doua sisteme. Un sistem bazat pe frânarea turbinei, atunci când frecvența curentului debitat de generator depășește frecvența de 50 Hz. Al doilea sistem bazat pe frânarea turbinei prin înclinarea palelor cu ajutorul unui dispozitiv centrifugal.

Protecția turbinei la supraturație și supra presiune se realizează printr-un sistem centrifugal.

Pentru obținerea unui randament superior modulul generator al microcentralei este prevăzut cu un generator trifazat cu excitație realizată din magneți permanenți, iar viteza nominală de rotație a generatorului și a turbinei este de 3000 rot/min.

#### Parametrii Microcentralei

Înălțimea medie anuală a valurilor.....	0,46 m
Înălțimea medie de calcul a valurilor.....	0,65 m
Perioada de calcul a valurilor.....	3,3 s
Puterea nominală a Microcentralei.....	3 kW
Lungimea instalației.....	5 m
Înălțimea totală a instalației.....	7,4 m
Lățimea instalației.....	9 m
Randamentul global al Microcentralei.....	0,329

#### Caracteristicile turbinei

Tip.....	Unisens întubată
Profil aerodinamic pale.....	NACA 0012
Puterea nominală.....	3,5 kW
Viteza de rotație.....	3000 rot / min
Viteza aerului de acționare a turbinei la puterea nominală.....	53,7m/s
Diametrul turbinei.....	0,42 m
Randamentul estimat.....	0,5

#### Caracteristicile generatorului

Tip.....	Sincron , Vertical
Puterea nominală.....	3 kW
Viteza de rotație.....	3000 rot / min
Excitație.....	magneți permanenți din pământuri rare
Randamentul estimat.....	0,91

### IV Concluzii generale

Microcentrala hidropneumatică echipată cu turbina unisens propusă este o construcție relativ simplă care poate da satisfacție pentru aplicații locale în condițiile unor valuri medii anuale modeste cum sunt valurile Mării Negre.

Microcentrala propusă ar putea reprezenta o primă etapă pentru realizarea unor centrale electrice de valuri implantate în diguri din chesoane care se pot construi pentru

protecția litoralului. Centralele electrice astfel realizate ar fi convenabile, având un preț de cost redus, structura de bază a acestor centrale fiind suportată de diguri.

Experimentarea prototipului microcentralei propuse ar permite înlăturarea unor incertitudini existente, privind parametrii de funcționare ai centralelelor hidropneumatice.

Impactul economic al proiectului se reflecta pe de o parte în efectul financiar al exploatării centralei hidropneumatice realizate, respectiv a energiei electrice furnizate, iar pe de altă parte în perspectiva pe care o deschide fabricația unor astfel de centrale de diferite puteri instalate și exploatarea lor pe scară largă

Impactul social al proiectului, are loc în special în zonele unde se fac astfel de amenajări, prin degrevarea bugetelor locale și individuale de o parte a costurilor cu energia electrică, precum și cu venituri concrete provenite din injectia de energie electrică în rețeaua națională și posibil de comercializare a certificatelor verzi. De asemenea proiectarea și execuția judicioasă a acestor centrale, în corelare cu amenajările hidrotehnice aferente, vor conduce la micșorarea procesului de eroziune a coastei și limitarea pagubelor.

## Bibliografie

- [1] Iulian C., Lazăr P.D, Energia valurilor. Ed. Științifică și enciclopedică, București, 1982
- [2] Tănăsescu F.T. Conversia energiei - Tehnici neconvenționale. Ed. Tehnică, 1986
- [3] Olaru Gh., Lazăr P.D. Rotor de turbină pentru conversia energiei valurilor.  
Brevet Ro. 104576/1989
- [4] Iulian C. Utilizarea energiei valurilor. Ed. Tehnică, București. 1990
- [5] Olaru Gh., Lazăr P.D. Contribuții privind implementarea digurilor energetice în largul Mării Negre. În: Energetica, Mart- Apr. 1990
- [6] \*\*\* M.E.E - ISPH . Lucrarea nr.3509 Contract 2539/1984, Studiu privind realizarea unei centrale electrice marine – Sintează
- [7] \*\*\* Wavegen a world leader in marine renewable energy. <http://www.wavegen.co.uk>

---

\* Gheorghe Samoilescu, profesor univ.dr.ing. Academia Navală " Mircea cel Bătrân ", Constanța, email – samoilescugheorghe@yahoo.com

\*\*\* Barbu, Alina, assist.univ.Dr. Academia Navală " Mircea cel Bătrân ", Constanța, email alucu013@yahoo.com

## PĂTRUNDEREA ȘI MODELAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC DIN DIFERITE MEDII ALE UNEI NAVE MARITIME

Samoilescu Gheorghe \*  
Barbu Alina \*\*

*Abstract:*

*În scopul elaborării modelării se va utiliza metoda de ecranare pentru ecranul din două plăci paralele. Ecranul plan-paralel este singurul tip de ecran care poate fi calculat exact (în sensul determinării atenuării și factorului de ecranare), atât prin metoda ecuației lui Helmholtz, cât și prin metoda impedanțelor [1,2,4].*

*Trebuie precizate trei aspecte importante:*

- a. peretele analizat se consideră ca aparținând unui ecran paralelipipedic de dimensiuni finite;*
- b. calculul se face considerând peretele de dimensiune finită, caz în care:*
  - nu poate fi neglijat efectul de capăt al ecranului;*
  - componentele tangențiale ale intensității câmpului electric indus nu respectă legea conservării componentelor tangențiale la fața exterioară a ecranului.*
- c. se ia în calcul curentul de deplasare, deci frecvența unde incidente este ridicată.*

### Capitolul I

#### I. Etapele modelării

Se consideră un ecran în care cele două plăci metalice plan paralele au grosimea  $d$ , conductivitatea  $\sigma$ , permeabilitatea  $\mu$ , fiind separate prin distanța  $2x_0$ . Modelarea câmpului de reacție indus într-un perete metalic al navei, utilizând metodologia de calcul a unui ecran plan-paralel, are trei faze, și anume: 1. calculul câmpului în interiorul ecranului; 2. calculul câmpului în exteriorul ecranului; 3. calculul câmpului în peretele ecranului. [1,3,4,6]

## II. Calculul câmpului în interiorul ecranului

În interiorul ecranului  $\sigma=0$  (aer) și ecuația lui Helmholtz devine[1,4,5]:

$$\frac{d^2 Hy_i}{dx^2} = \Gamma_i^2 Hy_i; Hy_i = Hy_i(x); \Gamma_i = j\Gamma_0 = j\frac{2\pi}{\lambda_0}, \quad (1)$$

unde  $\Gamma_i$  reprezintă constanta de propagare.

Soluția ecuației este:

$$Hy_i(x) = C_1 e^{j\Gamma_0 x} + C_2 e^{-j\Gamma_0 x}; |x| \leq x_0 \quad (2)$$

unde  $x_0$  reprezintă distanța din centrul ecranului la perete.

Pe motive de simetrie, se poate scrie:

$$Hy_i(x) = Hy_i(-x); C_1 = C_2 = C \quad (3)$$

Câmpul magnetic în interior devine:

$$Hy_i(x) = 2C \cos(\Gamma_0 x); \quad (4)$$

Câmpul electric interior are caracter de undă staționară:

$$dEz_i = j\omega\mu_0 Hy_i dx; Ez_i = Ez_i(x); \quad (5)$$

Această relație este valabilă în oricare din cele trei regiuni-exterior, interior, perete ecran.

Dacă s-ar neglija curentul de deplasare :

$$Ez_i(x) = j\omega\mu_0 Hy_i x + C \quad (6)$$

iar dacă acest curent nu se neglijează,  $Ez_i(x)$  va rezulta prin integrarea ecuației (5).

Ecuatiile de propagare fiind liniare, iar excitația (unda incidentă la ecran) fiind considerată armonică, câmpul interior va fi armonic.:

$$Ez_i(x) = \int j\omega\mu_0 Hy_i(x) dx + C; C = 0 \quad (7)$$

Notând  $Hy_i(0)$  câmpul în centrul ecranului:

$$Hy_i(0) = 2C = Hi_0 \text{ (constant)} \quad (8)$$

respectiv:

$$Hy_i(x) = Hi_0 \cdot \cos(\Gamma_0 x) \quad (9)$$

Câmpul electric din interior devine:

$$Ez_i(x) = j\frac{\omega\mu_0}{\Gamma_0} Hi_0 \cdot \sin(\Gamma_0 x) + C \quad (10)$$



respectiv

$$Ez_i(x) = j \frac{\omega \mu_0}{\Gamma_0} Hi_0 \cdot \sin(\Gamma_0 x) ; C = 0 , \quad (11)$$

deoarece câmpul este considerat armonic.

Cum:

$$\begin{aligned} \frac{\mu_0}{\Gamma_0} &= \frac{\mu_0}{\frac{2\pi}{\lambda_0}} = \frac{\mu_0 \cdot \lambda_0}{2\pi} = \frac{\mu_0}{2\pi} c_0 \cdot T = \frac{\mu_0}{2\pi f} c_0 = \\ &= \frac{\mu_0}{\omega} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \frac{Z_0}{\omega} , \end{aligned} \quad (12)$$

unde :  $Z_0 = 120\pi$

se obține:

$$Ez_i(x) = j\omega \frac{Z_0}{\omega} Hi_0 \sin(\Gamma_0 x) = jZ_0 Hi_0 \sin(\Gamma_0 x) ; |x| \leq x_0 \quad (13)$$

### III. Calculul câmpului în exteriorul ecranului (spațiu liber)

Pornind de la ecuația lui Helmholtz [1,4,5]:

$$\frac{d^2 Hy_e}{dx^2} = \Gamma_e^2 \cdot Hy_e , \sigma=0 ; \Gamma_e = j\Gamma_0 = \Gamma_i \quad (14)$$

se obține:

$$Hy_e(x) = C_1 e^{j\Gamma_0 x} + C_2 e^{-j\Gamma_0 x} \quad |x| \leq x_0 + d$$

Câmpul fiind de valoare finită, rezultă:

$$C_1 = 0 \quad (16)$$

Ca urmare:

$$Hy_e(x) = C_2 e^{-j\Gamma_0 x} ; \quad (17)$$

și:

$$|Hy_e(x)| = C_2 = He , \quad (18)$$

unde  $He$  este câmpul emis de sursă, la distanță de ecran, având o valoare constantă și cunoscută, putând fi măsurată. Câmpul magnetic exterior devine:

$$Hy_e(x) = He \cdot e^{-j\Gamma_0 x} ; |x| \geq x_0 + d \quad (19)$$

Câmpul electric din exteriorul ecranului se obține din ecuația:

$$dEz_e(x) = j\omega \mu_0 Hy_e(x) dx ; \quad (20)$$

Câmpul este armonic,  $C=0$ , și:

$$Ez_e(x) = -Z_0 He \cdot e^{-j\Gamma_0 x} ; He = ct ; |x| \geq x_0 + d \quad (21)$$

### IV. Calculul câmpului în peretele ecranului

Ecuția de propagare (*Helmholtz*)[1,4,5]:

$$\frac{d^2 Hy_p}{dx^2} = \Gamma_p^2 Hy_p \quad (22)$$

are soluția:

$$Hy_p(x) = Ae^{\Gamma_p x} + Be^{-\Gamma_p x}; \quad x_0 \leq |x| \leq x_0 + d \quad (23)$$

Câmpul electric este de forma:

$$Ez_p(x) = \frac{\Gamma_p}{\sigma} (Ae^{\Gamma_p x} - Be^{-\Gamma_p x}) = Zs(Ae^{\Gamma_p x} - Be^{-\Gamma_p x}), \quad (24)$$

unde  $Zs$  este impedanța intrinsecă a ecranului.

Pentru determinarea constantelor se pun condițiile la limită:

$$\begin{aligned} Ht(x_0)^- &= Ht(x_0)^+ \\ Ht(x_0 + d)^- &= Ht(x_0 + d)^+ \\ Et(x_0)^- &= Et(x_0)^+ \end{aligned} \quad (25)$$

unde:

$$\begin{aligned} Ht(x_0)^- &- \text{câmpul } Hy_i(x), \text{ pentru } x=x_0; & Ht(x_0)^+ &- \text{câmpul } Hy_p(x), \text{ pentru } x=x_0; \\ Ht(x_0 + d)^- &- \text{câmpul } Hy_p(x), \text{ pentru } x=x_0+d; & Ht(x_0 + d)^+ &- \text{câmpul } Hy_e(x), \text{ pentru } x=x_0+d; \\ Et(x_0)^- &- \text{câmpul } Ez_i(x), \text{ pentru } x=x_0; & Et(x_0)^+ &- \text{câmpul } Ez_p(x), \text{ pentru } x=x_0. \end{aligned}$$

Ținând cont de aceste condiții, se obțin relațiile:

$$\begin{aligned} Hi_0 \cos(\Gamma_0 x_0) &= Ae^{\Gamma_p x_0} + Be^{-\Gamma_p x_0} \\ Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} &= He \cdot e^{-j\Gamma_0(x_0+d)} \\ jZ_0 Hi_0 \sin(\Gamma_0 x_0) &= Zs(Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0}) \end{aligned} \quad (26)$$

se obține:

$$\begin{aligned} Ae^{\Gamma_p x_0} + Be^{-\Gamma_p x_0} &= Hi_0 \cos(\Gamma_0 x_0) \\ Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} &= He \cdot e^{-j\Gamma_0(x_0+d)} \\ Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0} &= j \cdot \frac{Z_0}{Zs} Hi_0 \cdot \sin(\Gamma_0 x_0) \end{aligned} \quad (27)$$

Din ecuațiile (27) se calculează  $A$  și  $B$ :

$$A = \frac{Hi_0}{2} [\cos(\Gamma_0 x_0) + K_0 \sin(\Gamma_0 x_0)] \quad (28)$$

$$B = He \cdot e^{-j\Gamma_0(x_0+d)} e^{\Gamma_p(x_0+d)} - \frac{Hi_0}{2} [\cos(\Gamma_0 x_0) + K_0 \sin(\Gamma_0 x_0)] e^{2\Gamma_p(x_0+d)} \quad (29)$$

unde:

$$K_0 = \frac{\mu_0 \Gamma_p}{\mu \Gamma_0} = j \frac{Z_0}{Z_s}$$

iar  $Z_s$  este impedanța față de câmp a ecranului.

În relațiile (28) și (29) apar trei necunoscute și anume:  $A$ ,  $B$ ,  $Hi_0$ , unde  $Hi_0 = ct$  (în centrul ecranului); câmpul exterior fiind considerat cunoscut. Mai este necesară o ecuație pentru determinarea acestor mărimi, care sunt necesare la determinarea câmpului de reacție,  $Hy_p(x_0+d)$ .

Se aplică teorema conservării componentelor tangențiale ale câmpului electric la suprafața interioară de separație *perete ecran – spațiu liber* (interior ecranului):

$$Ez_p = Ez_i$$

Nu există surse de câmp electric pe suprafața interioară a ecranului.

$$\bar{E} = Ez(x) \cdot \bar{k}$$

Se calculează:

$$\text{rot } \bar{E} = -j \left( \frac{\partial Ez(x)}{\partial x} \right) \quad (30)$$

Se scrie legea inducției electromagnetice:

$$\text{rot } \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}, \quad (31)$$

care devine în complex:

$$\text{rot } \bar{E} = -j\omega B y \bar{j} = -j\omega\mu H y_i \bar{j} \quad (32)$$

Prin compararea relațiilor (30) și (31) se obține:

$$dEz(x) = j\omega\mu H y_i(x) dx \quad (33)$$

În interiorul ecranului, la peretele interior, se poate scrie:

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_0 \\ H y_i(x) &= H i_0 \cos(\Gamma_0 \cdot x_0), \quad x = x_0, \end{aligned}$$

Ca urmare, relația (33) devine:

$$dEz_i(x) = j\omega\mu_0 H i_0 \cos(\Gamma_0 x_0) dx, \quad (34)$$

de unde, prin integrare, rezultă:

$$Ez_i(x) = j\omega\mu_0 H i_0 \cos(\Gamma_0 x_0) x + C \quad (35)$$

Având ecuațiile de propagare liniare și excitație armonică, câmpul interior fiind armonic, deci  $C=0$ ; ca urmare:

$$Ez_i(x) = j\omega\mu_0 H i_0 \cos(\Gamma_0 x_0) x \quad (36)$$

Dacă în relația (33) se înlocuiește  $Hy(x)$  cu relația sa din perete, (23), se obține:

$$dEz_p(x) = j\omega\mu \left( A e^{\Gamma_p x} + B e^{-\Gamma_p x} \right) dx, \quad (37)$$

prin integrare și notând  $j\omega\mu = \Gamma_p^2 / \sigma$  rezultă:

$$Ez_p(x) = \frac{\Gamma_p}{\sigma} \left( A e^{\Gamma_p x} - B e^{-\Gamma_p x} \right) \quad (38)$$

La peretele interior al ecranului ( $x=x_0$ ), relațiile (37) și (38) devin:

$$Ez_i(x_0) = j\omega\mu_0 H i_0 \cos(\Gamma_0 \cdot x_0) x_0, \quad (39)$$

sau

$$Ez_p(x) = \frac{\Gamma_p}{\sigma} \left( A e^{\Gamma_p x_0} - B e^{-\Gamma_p x_0} \right)$$

Pe baza teoremei conservării componentelor tangențiale și ținând seama de expresia lui  $\Gamma^2$ :

$$\Gamma^2 = j\omega\sigma\mu, \quad (40)$$

se obține o a treia ecuație:

$$Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0} = KHi_0 \cos(\Gamma_0 x_0), \quad (41)$$

unde:

$$K = \frac{\mu_0}{\mu} \Gamma_p x_0; \quad \Gamma_p = \Gamma_{\text{perete}}.$$

Sistemul format din cele trei ecuații devine:

$$\begin{aligned} A &= \frac{Hi_0}{2} [\cos(\Gamma_0 x_0) + K_0 \sin(\Gamma_0 x_0)]; \\ B &= H_e \cdot e^{\Gamma_p(x_0+d)} e^{-j\Gamma_0(x_0+d)} - \frac{Hi_0}{2} [\cos(\Gamma_0 \cdot x_0) + K_0 \sin(\Gamma_0 \cdot x_0)] e^{2\Gamma_p(x_0+d)}; \\ Hi_0 &= \frac{I}{K \cos(\Gamma_0 x_0)} (Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0}) \end{aligned} \quad (42)$$

Din relațiile (42), se calculează câmpul  $Hi_0$ , în centrul ecranului, precum și constantele  $A$  și  $B$ , în funcție de  $He$ . Înlocuind pe  $A$  și  $B$  în relația (23) și punând  $x=x_0+d$ , se obține câmpul magnetic de reacție la suprafața peretelui exterior:

$$Hyp_e = Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} \quad (43)$$

## V. Concluzii

Relația (9) arată neuniformitatea câmpului în interiorul ecranului - câmpul având caracter de undă staționară -, spre deosebire de cazul neglijării curentului de deplasare, când acesta este constant.

Câmpul magnetic în exteriorul ecranului, în imediata vecinătate a acestuia va fi afectat de câmpul de reacție (din peretele ecranului); datorită efectului de capăt.

Relația (33) este valabilă în oricare din cele trei zone: interiorul ecranului, peretele ecranului, exteriorul ecranului (ca o consecință a unei legi generale).

Pentru a calcula puterea radiată de perete am determinat câmpul electric indus în ecran.

Curentul indus în peretele ecranului creează câmpul de reacție care are sens opus câmpului de excitație (exterior).

## Bibliografie

- [1] Sotir, A., Samoilescu, Ghe, *Compatibilitate electromagnetă. Baze teoretice. Ecranarea antiperturbativă*, Ed. Academiei Navale "Mircea cel Bătrân", Constanța, 2001
- [2] Mocanu, C. I., *Teoria câmpului electromagnetic*, EDP, București, 1981
- [3] Hadrian, W., *Measuring tests for shielding effectiveness of an enclosure of energy distribution devices used in building complexes*, EMC 80
- [4] Nicolau, E., *Radiația și propagarea undelor electromagnetice*, Ed. Academiei RSR, București, 1989
- [5] Schwab, J.A., *Compatibilitatea Electromagnetă*, Ed. Tehnică, București, 1996
- [6] Oltu, O., *Elemente de teoria ecranării antiperturbative*, Ed. Universitatea Politehnica București, 1994

---

\* Gheorghe Samoilescu, profesor univ.dr.ing. Academia Navală " Mircea cel Bătrân ", Constanța, email – samoilescugheorghe@yahoo.com

\*\*\* Barbu, Alina, assist.univ.Dr. Academia Navală " Mircea cel Bătrân ", Constanța, email alucu013@yahoo.com

## ABOUT THE PERIODIC COMMUTATION IN ALTERNATING CURRENT (A.C.) (WITH DIODE) OF THE SINGLE-PHASED TRANSFORMER (IN SIMPLIFIED KAPP SCHEME) WITH CHARGE PUMP

Constantin STRÎMBU\*  
Laura COZLOV\*

### Resume

*This paperwork presents an analysis of the functioning in commutation of a single-phased transformer with charge pump, made in a Kaap scheme. The commutation element is a diode. The commutation study is done for the two working regimes: periodic and aperiodical.*

### I. INTRODUCTION

The simplified equivalent scheme of the transformer in commutation with a diode in the secondary circuit, with charge pump is presented in figure 1.

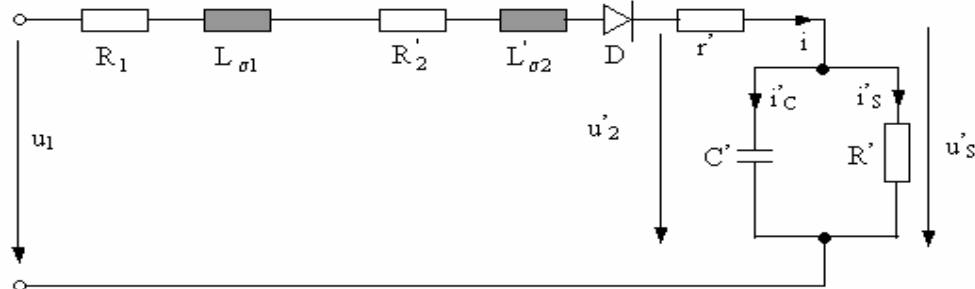


Fig. 1. The diode commutation of the (Kaap) transformer with RC charge in parallel

In diode conduction's length of time, the system of equations associated to the circuit is the following:

$$\begin{cases} u_1 = U_M \sin(\omega t) = R_\sigma i + L_\sigma \frac{di'_s}{dt} + R i'_s \\ i = i'_s + i'_c ; i'_c = R' C' \frac{di'_s}{dt} ; u'_s = R i'_s \end{cases} \quad (1)$$

In diode blockage's length of time, the sistem of equations associated to the circuit is the following:

$$i = 0 ; i'_C = -i'_S ; u'_S = R' i'_S \quad (2)$$

## II. THE COMMUTATION STUDY WHEN THE FREE REGIME SOLUTION HAS A DEEMED PERIODICAL CHARACTER

The recurrence relations for the circuit's currents expressions are the following:

- The n<sup>st</sup> commutation
  - Diode D conducts  $\omega t \in [\alpha_{pn} + 2(n-1)\pi, \beta_n + 2(n-1)\pi]$

The initial conditions are the following:

$$\begin{cases} i'_S [\omega t = \alpha_{pn} + 2(n-1)\pi] = I_{S\alpha_{pn}} \\ i'_C [\omega t = \alpha_{pn} + 2(n-1)\pi] = -I_{S\alpha_{pn}} \end{cases} \quad (3)$$

The currents expressions are:

$$\begin{cases} i'_S = I_S \left[ \sin(\omega t - \psi) + \frac{\omega}{v} \frac{H_n}{\cos(c_n)} \cos(vt - c_n) e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ i'_C = I_S \operatorname{tg} \xi \left[ \cos(\omega t - \psi) - \frac{H_n}{\cos b \cos(c_n)} \sin(vt + b - c_n) e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ i = \frac{I_S}{\cos \xi} \sin(\omega t + \xi - \psi) + I_S \frac{H_n}{\cos(c_n)} \left[ \frac{\omega}{v} \cos(vt - c_n) - \frac{\operatorname{tg} \xi}{\cos b} \sin(vt + b - c_n) \right] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \end{cases} \quad (4)$$

where it is noted:

$$\begin{aligned} u_n &= \frac{v}{\omega} [2(n-1)\pi + \alpha_{pn}] ; p_n = \cos u_n ; q_n = \sin u_n \\ m_n &= \frac{\delta p_n + v q_n}{\omega} ; n_n = \frac{\delta q_n - v p_n}{\omega} \end{aligned} \quad (5)$$

$$A_n = \frac{R_t}{R} \frac{1 - \operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{pn} - \sin(\alpha_{pn} - \psi)$$

$$B_n = \frac{R_t}{R} \frac{1 - \operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}}{\cos \psi \operatorname{tg} \xi} \sin \alpha_{pn} + \cos(\alpha_{pn} - \psi)$$

$$H_n = B_n q_n - A_n n_n ; \operatorname{tg} c_n = \frac{A_n m_n - B_n p_n}{B_n q_n - A_n n_n}$$

From the condition  $i[\omega t = 2(n-1)\pi + \beta_n] = 0$  results the expression of the blockage angle  $\beta_n$ :

$$\begin{aligned} & \frac{\sin(\beta_n + \xi - \psi)}{\cos \xi} + \frac{H_n}{\cos(c_n)} \left[ \frac{\omega}{v} \cos\left(\frac{v}{\omega}(2(n-1)\pi + \beta_n) - c_n\right) - \right. \\ & \left. - \frac{\operatorname{tg} \xi}{\cos b} \sin\left(\frac{v}{\omega}(2(n-1)\pi + \beta_n) + b - c_n\right) \right] e^{-\frac{\delta}{\omega}(\beta_n - \alpha_{pn})} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$



□ Diode D is blocked  $\omega t \in [2(n-1)\pi + \beta_n, 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}]$

The initial condition is:  $i'_S [\omega t = 2(n-1)\pi + \beta_n] = I_{S\beta_n}$

From the initial condition the value of the current trough the charge it is calculated when the diode enters in it's blockage lenght of time.

$$I_{S\beta_n} = I_S \left[ \sin(\beta_n - \psi) + \frac{\omega}{v} \frac{H_k}{\cos(c_n)} \cos\left(\frac{v}{\omega}(2(n-1)\pi + \beta_n) - c_n\right) e^{-\frac{\delta}{\omega}(\beta_n - \alpha_{pn})} \right] \quad (7)$$

The expression of the current trough the charge is:

$$i'_S = I_{S\beta_n} e^{-[\omega t - 2(n-1)\pi - \beta_n] \text{ctg } \xi} \quad (8)$$

From the condition  $u'_S(\omega t = 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}) = u_1(\omega t = 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}) = U_M \sin \alpha_{p(n+1)}$  you achieve the expression of the conduction entrance angle  $\alpha_{p(n+1)}$ :

$$\sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R I_{S\beta_n}}{U_M} e^{-(2\pi + \alpha_{p(n+1)} - \beta_n) \text{ctg } \xi} \quad (9)$$

The value of the current trough the charge when the diode enters in it's conduction lenght of time is:

$$I_{S\alpha_{p(n+1)}} = \frac{U_M}{R} \sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R_t}{R} I_S \frac{1 - \text{tg } \xi \text{tg } \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{p(n+1)} \quad (10)$$

The expressions of the relative values are the following:

We refer the value of the current trough the charge (R) to the value of the current when the charge is pure resistive:

$$i'_r = \frac{i'}{I_{SM}} \quad (11)$$

- Diode D conducts (the n-st time)  $\omega t \in [2(n-1)\pi + \alpha_{pn}, 2(n-1)\pi + \beta_n]$

From (5) we obtain:

$$\left\{ \begin{array}{l} i'_{S,r} = d \left[ \sin(\omega t - \psi) + \frac{\omega}{v} \frac{H_n}{\cos(c_n)} \cos(vt - c_n) e^{-\frac{\delta}{\omega}[\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ i'_{C,r} = d \text{tg } \xi \left[ \cos(\omega t - \psi) - \frac{H_n}{\cos b \cos(c_n)} \sin(vt + b - c_n) e^{-\frac{\delta}{\omega}[\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ i_r = \frac{d}{\cos \xi} \sin(\omega t + \xi - \psi) + \\ + d \frac{H_n}{\cos(c_n)} \left[ \frac{\omega}{v} \cos(vt - c_n) - \frac{\text{tg } \xi}{\cos b} \sin(vt + b - c_n) \right] e^{-\frac{\delta}{\omega}[\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \end{array} \right. \quad (12)$$

The relative value of the current trough the charge when the diode enters in it's blockage lenght of time.

$$I_{S\beta_n,r} = d \left[ \sin(\beta_n - \psi) + \frac{\omega}{v} \frac{H_k}{\cos(c_n)} \cos\left(\frac{v}{\omega}(2(n-1)\pi + \beta_n) - c_n\right) e^{-\frac{\delta}{\omega}(\beta_n - \alpha_{pn})} \right] \quad (13)$$

- Diode D is blocked (the n-st time)  $\omega t \in [2(n-1)\pi + \beta_n, 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}]$

The relative expression of the current trough the charge is:

$$i'_{S,r} = I_{S\beta_n,r} e^{-[\omega t - 2(n-1)\pi - \beta_n] \text{ctg } \xi} \quad (14)$$

The expression of the conduction entrance angle  $\alpha_{p(n+1)}$  :

$$\sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R}{R_t} I_{S\beta_{n,r}} \cos \psi_{\min} e^{-(2\pi + \alpha_{p(n+1)} - \beta_n) \text{ctg } \xi} \quad (15)$$

The relative value of the current trough the charge when the diode enters in it's conduction length of time is:

$$I_{S\alpha_{p(n+1),r}} = \frac{R_t}{R} d \frac{1 - \text{tg } \xi \text{ tg } \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R_t}{R} \frac{1}{\cos \psi_{\min}} \sin \alpha_{p(n+1)} \quad (16)$$

### III. THE COMMUTATION STUDY WHEN THE FREE REGIME SOLUTION HAS A DEEMED APERIODICAL CHARACTER

The recurrence relations established for the circuit currents expressions are the following:

$$I_{S\alpha_{p2}} = \frac{U_M}{R} \sin \alpha_{p2} = \frac{R_t}{R} I_S \frac{1 - \text{tg } \xi \text{ tg } \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{p2} \quad (17)$$

- The n<sup>st</sup> commutation
  - Diode D conducts  $\omega t \in [\alpha_{pn} + 2(n-1)\pi, \beta_n + 2(n-1)\pi]$

The initial conditions are the following:

$$\begin{cases} i'_S [\omega t = \alpha_{pn} + 2(n-1)\pi] = I_{S\alpha_{pn}} \\ i'_C [\omega t = \alpha_{pn} + 2(n-1)\pi] = -I_{S\alpha_{pn}} \end{cases} \quad (18)$$

The expressions of the currents are:

$$\begin{cases} i'_S = I_S \left[ \sin(\omega t - \psi) + \frac{\omega}{v} H_n [\text{ch } vt + \text{tg } c_n \text{ sh } vt] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ i'_C = I_S \text{tg } \xi \left[ \cos(\omega t - \psi) + \right. \\ \left. + H_n [( \text{tg } c_n - \text{tg } b) \text{ch } vt + (1 - \text{tg } b \text{ tg } c_n) \text{sh } vt] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ i = \frac{I_S}{\cos \xi} \sin(\omega t + \xi - \psi) + I_S H_n \left[ \left[ \frac{\omega}{v} + \text{tg } \xi (\text{tg } c_n - \text{tg } b) \right] \text{ch } vt + \right. \\ \left. + \left[ \frac{\omega}{v} \text{tg } c_n + \text{tg } \xi (1 - \text{tg } b \text{ tg } c_n) \right] \text{sh } vt \right] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \end{cases} \quad (19)$$

where it has been noted:

$$u_n = \frac{v}{\omega} [2(n-1)\pi + \alpha_{pn}]; p_n = \text{ch } u_n; q_n = \text{sh } u_n; m_n = \frac{\delta p_n - v q_n}{\omega}; n_n = \frac{\delta q_n - v p_n}{\omega}$$

$$A_n = \frac{R_t}{R} \frac{1 - \text{tg } \xi \text{ tg } \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{pn} - \sin(\alpha_{pn} - \psi) \quad (20)$$

$$B_n = \frac{R_t}{R} \frac{1 - \text{tg } \xi \text{ tg } \psi_{\min}}{\cos \psi \text{ tg } \xi} \sin \alpha_{pn} + \cos(\alpha_{pn} - \psi)$$

$$H_n = B_n q_n - A_n n_n; \text{tg } c_n = \frac{A_n m_n - B_n p_n}{B_n q_n - A_n n_n}$$

From the condition  $i[\omega t = 2(n-1)\pi + \beta_n] = 0$  we obtain the expression for the blockage angle  $\beta_n$ :

$$\begin{aligned} & \frac{\sin(\beta_n + \xi - \psi)}{\cos \xi} + H_n \left[ \left[ \frac{\omega}{v} + \text{tg} \xi (\text{tgc}_n - \text{tgb}) \right] \text{ch} \left( \frac{v}{\omega} (2(n-1)\pi + \beta_n) \right) + \right. \\ & \left. + \left[ \frac{\omega}{v} \text{tgc}_n + \text{tg} \xi (1 - \text{tgb} \text{tgc}_n) \right] \text{sh} \left( \frac{v}{\omega} (2(n-1)\pi + \beta_n) \right) \right] e^{-\frac{\delta}{\omega} (\beta_n - \alpha_{pn})} = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

□ Diode D is blocked  $\omega t \in [2(n-1)\pi + \beta_n, 2n\pi + \alpha_{p(n+1)})$

The initial condition is:  $i'_S [\omega t = 2(n-1)\pi + \beta_n] = I_{S\beta_n}$

From the initial condition we determine the value of the current trough the charge when the diode enters in it's blockage lenght of time:

$$\begin{aligned} I_{S\beta_n} &= I_S \sin(\beta_n - \psi) + \\ &+ I_S \frac{\omega}{v} H_n \left[ \text{ch} \left( \frac{v}{\omega} (2(n-1)\pi + \beta_n) \right) + \text{tgc}_n \text{sh} \left( \frac{v}{\omega} (2(n-1)\pi + \beta_n) \right) \right] e^{-\frac{\delta}{\omega} (\beta_n - \alpha_{pn})} \end{aligned} \quad (22)$$

The expression of the current trough the charge:

$$i'_S = I_{S\beta_n} e^{-[\omega t - 2(n-1)\pi - \beta_n] \text{ctg} \xi} \quad (23)$$

From the condition  $u'_S (\omega t = 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}) = u_1 (\omega t = 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}) = U_M \sin \alpha_{p(n+1)}$

$$\sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R I_{S\beta_n}}{U_M} e^{-(2\pi + \alpha_{p(n+1)} - \beta_n) \text{ctg} \xi} \quad (24)$$

we obtained the expression of the conduction entrance angle:

The value of the current trough the charge when the diode enters in it's conduction lenght of time is:

$$I_{\alpha_{p(n+1)}} = \frac{U_M}{R} \sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R_t}{R} I_S \frac{1 - \text{tg} \xi \text{tg} \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{p(n+1)} \quad (25)$$

The expressions of the relative values are the following:

Using relation (12) results that:

- Diode D conducts (the n-st time)  $\omega t \in [2(n-1)\pi + \alpha_{pn}, 2(n-1)\pi + \beta_n]$

$$\left\{ \begin{aligned} & i'_{S,r} = d \left[ \sin(\omega t - \psi) + \frac{\omega}{v} H_n [\text{ch} vt + \text{tgc}_n \text{sh} vt] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ & i'_{C,r} = d \text{tg} \xi \left[ \cos(\omega t - \psi) + \right. \\ & \left. + H_n [( \text{tgc}_n - \text{tgb} ) \text{ch} vt + (1 - \text{tgb} \text{tgc}_n) \text{sh} vt] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \right] \\ & i_r = \frac{d}{\cos \xi} \sin(\omega t + \xi - \psi) + d H_n \left[ \left[ \frac{\omega}{v} + \text{tg} \xi (\text{tgc}_n - \text{tgb}) \right] \text{ch} vt + \right. \\ & \left. + \left[ \frac{\omega}{v} \text{tgc}_n + \text{tg} \xi (1 - \text{tgb} \text{tgc}_n) \right] \text{sh} vt \right] e^{-\frac{\delta}{\omega} [\omega t - 2(n-1)\pi - \alpha_{pn}]} \end{aligned} \right. \quad (26)$$

The relative value of the current trough the charge when the diode enters in it's blockage lenght of time.

$$I_{S\beta_{n,r}} = d \sin(\beta_n - \psi) + d \frac{\omega}{v} H_n \left[ \operatorname{ch} \left( \frac{v}{\omega} (2(n-1)\pi + \beta_n) \right) + \operatorname{tgc}_n \operatorname{sh} \left( \frac{v}{\omega} (2(n-1)\pi + \beta_n) \right) \right] e^{-\frac{\delta}{\omega}(\beta_n - \alpha_{pn})} \quad (27)$$

- Diode D is blocked (the n<sup>st</sup> time)  $\omega t \in [2(n-1)\pi + \beta_n, 2n\pi + \alpha_{p(n+1)}]$

The relative expression of the current trough the charge is:

$$i'_{S,r} = I_{S\beta_{n,r}} e^{-[\omega t - 2(n-1)\pi - \beta_n] \operatorname{ctg} \xi} \quad (28)$$

The expression of the conduction entrance angle  $\alpha_{p(n+1)}$ :

$$\sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R I_{S\beta_n}}{U_M} e^{-(2\pi + \alpha_{p(n+1)} - \beta_n) \operatorname{ctg} \xi} = \frac{R}{R_t} I_{S\beta_{n,r}} \cos \psi_{\min} e^{-(2\pi + \alpha_{p(n+1)} - \beta_n) \operatorname{ctg} \xi} \quad (29)$$

The referenced value of the current trough the charge when the diode enters in it's conduction lenght of time is:

$$I_{\alpha_{p(n+1),r}} = \frac{R_t}{R} d \frac{1 - \operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}}{\cos \psi} \sin \alpha_{p(n+1)} = \frac{R_t}{R} \frac{1}{\cos \psi_{\min}} \sin \alpha_{p(n+1)} \quad (30)$$

#### Bibliography:

- [1] Matlac, I.: *Convertoare electroenergetice*, Editura Facla, Timișoara, 1987.
- [2] Matlac, I., Cernat, M., Szekely, I.: *Convertoare electrice*, Universitatea Brașov, 1975.
- [3] Matlac, I., Marinescu, C., Helera, E.: *Convertoare electrice, vol I*, Universitatea Transilvania Brașov, 1994.
- [4] Nicolaide, A.; *Mașini Electrice*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1975.
- [5] Strîmbu, C.: *Comutația periodică a circuitului RC paralel cu un tiristor*. Sesiunea Națională de Comunicări Științifice, Academia Aviației și Apărării Antiaeriene "Henri Coandă" și Centrul Regional pentru Managementul Resurselor Umane, Brașov, 1-2 noiembrie 2002, pp 247- 256, ISSN 1453-0139.
- [6] Strîmbu, C.: *Considerații asupra funcționării redresoarelor de tensiune monofazate*, Sesiunea Națională de Comunicări Științifice, Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă", Brașov, 26 - 27 noiembrie 2004, pag 196-201, ISSN 1453-0139.
- [7] Strîmbu, C.; Cozlov, L.; Chitaș, E. M.: *Regimul Tranzitoriu al Comutației Periodice în c.a. cu Diodă a unui Circuit RC Paralel*, International Session of Scientific Papers "Education and Scientific Research at European Standards", "Henri Coandă" Air Force Academy, Brașov 11-12 may 2007, Romania, vol II, pp 686-691, ISBN 978-973-8415-45-4;
- [8] Strîmbu, C.; Cozlov, L.; Chitaș, E. M.: *Regimul Tranzitoriu al Comutației Periodice în ca cu Tiristor a unui Circuit RC Paralel*, International Session of Scientific Papers "Education and Scientific Research at European Standards", "Henri Coandă" Air Force Academy, Brașov 11-12 may 2007, Romania, vol II, pp 662-700, ISBN 978-973-8415-45-4;

\* Constantin Strîmbu – șef lucrări dr.ing., Academia Forțelor Aeriene Brașov, Mihai Viteazu nr. 160, e-mail strimbu\_c@yahoo.com

\* Laura Cozlov – masterand la Universitatea București, Facultatea de Limbi Străine, secția Interpretare de Conferință, Sublocotenent, Baza 90 Transport Aerian Otopeni, e-mail laura\_cozlov\_2003@yahoo.com

## ABOUT THE SINGLE-PHASED TRANSFORMER (IN SIMPLIFIED KAPP SCHEME) WITH CHARGE PUMP

Constantin STRÎMBU\*  
Laura COZLOV\*

### **Resume**

*This paperwork presents an analysis of the functioning of the single-phased transformer with charge pump, modelled by a Kaap scheme. The theoretical values that the capacitor can have are determined in the first part of this article, using the phaser diagrams asociated to the scheme and the condition that the charge must behave like a capacitor. The mathematical expressions of the current flowing through the charge are presented next in the situation in witch the transformer is functioning in the two work regimes: periodical and aperiodical.*

### I. THE PHASE DIAGRAMS ASOCIATED TO THE CIRCUIT

The simplified equivalent scheme of the charge pump transformer is presented in figure 1.

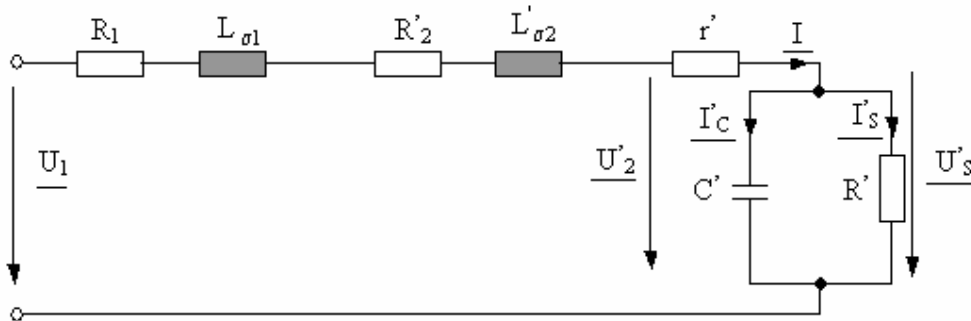


Fig. 1 Kapp scheme of the charge pump transformer

The study of the functioning is made in the hypothesis in witch the circuit is under permanent regime, each value having a sinuous variation.

$u_1 = U_M \sin(\omega t)$  - the voltage from the main circuit;

The parameters of the equivalent scheme and of the charge are the following:

$$\begin{aligned} X_{\sigma 1} &= \omega L_{\sigma 1} ; X'_{\sigma 2} = \omega L'_{\sigma 2} ; R'_2 = k_U^2 R_2 ; X'_{\sigma 2} = k_U^2 X_{\sigma 2} ; r' = k_U^2 r ; \\ R' &= k_U^2 R ; C' = \frac{1}{k_U^2} C ; X_{\sigma} = X_{\sigma 1} + X'_{\sigma 2} ; R_{\sigma} = R_1 + R'_2 + r' ; R_t = R_{\sigma} + R' \end{aligned} \quad (1)$$

The phasors diagram associated to the charge pump transformer in Kaap scheme is presented in figure 2.

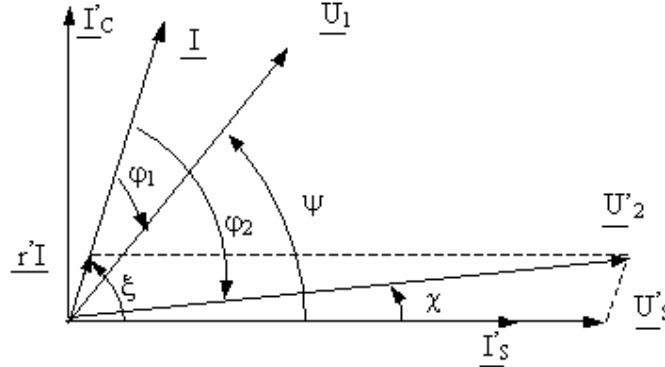


Fig. 2 The phasors diagram of the charge pump transformer in Kaap scheme

The phase differences between the values are noted like this:

$$\operatorname{tg} \xi = \omega R' C' > 0, \text{ phase difference between } I \text{ and } U'_s ; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{r}{r+R} \omega R' C' = \frac{r}{r+R} \operatorname{tg} \xi > 0, \text{ phase difference between } U'_2 \text{ and } U'_s ; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{X_{\sigma}(1 + \operatorname{tg}^2 \xi) - R' \operatorname{tg} \xi}{R_t + R_{\sigma} \operatorname{tg}^2 \xi}, \text{ phase difference between } U_1 \text{ and } I ; \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{R' \operatorname{tg} \xi}{R' + r'(1 + \operatorname{tg}^2 \xi)} < 0, \text{ phase difference between } U'_2 \text{ and } I ; \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R_{\sigma} \operatorname{tg} \xi + X_{\sigma}}{R_t - X_{\sigma} \operatorname{tg} \xi} > 0, \text{ phase difference between } U_1 \text{ and } U'_s ; \quad (6)$$

Because the charge is behaving like a capacitor it is necessary that  $\operatorname{tg} \varphi_1 < 0$ , from were it results that for a given transformer (the equivalent scheme parameters being known) the capacitor's capacity must fulfill the following condition:

$$C' \in \left( \frac{R' - \sqrt{(R')^2 - 4(X_{\sigma})^2}}{2\omega R' X_{\sigma}}, \frac{R' + \sqrt{(R')^2 - 4(X_{\sigma})^2}}{2\omega R' X_{\sigma}} \right) \quad (7)$$

From (6) it results that:

$$R_t > X_{\sigma} \operatorname{tg} \xi \quad (8)$$

We present two particular cases:

- 1) The charge is pure resistive ( $C = 0$ ), the phase diagram is presented in figure 3.

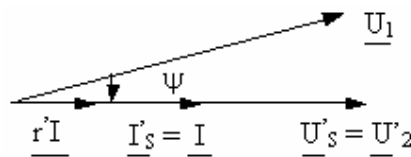


Fig. 3. The phasors diagram of the Kaap scheme transformer with resistiv charge

In this case you can observe that:

$$\operatorname{tg} \varphi_{1R} = \frac{X_{\sigma}}{R_t} > 0 ; \operatorname{tg} \varphi_{1R} < \operatorname{tg} \psi ; \operatorname{tg} \varphi_{1R} = \operatorname{tg} \psi_{\min} (C=0) ; \operatorname{tg} \varphi_{1R} > \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (9)$$

where  $\operatorname{tg} \varphi_{1R}$  is the phase difference between  $U_1$  and  $I$ ;

2) When the transformer is working in short circuit the charge is pure capacitive ( $C \rightarrow \infty$ ) and the phase diagram is presented in figure 4.

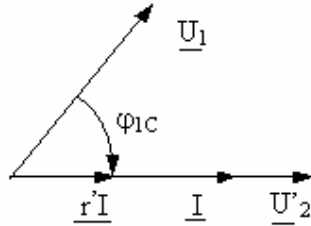


Fig. 4. The phasors diagram of the Kaap scheme transformer, with pure capacitive charge

In this case you can observe that:

$$\operatorname{tg} \varphi_{1C} = \frac{X_{\sigma}}{R_{\sigma}} > \operatorname{tg} \varphi_1 ; \operatorname{tg} \varphi_{1C} = \lim_{C \rightarrow \infty} \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (10)$$

where  $\operatorname{tg} \varphi_{1C}$  is the phase difference between  $U_1$  and  $I$ ;

## II. THE EXPRESSION OF THE CURRENT THROUGH THE CHARGE

The system of equation associated to the circuit is the following:

$$\begin{cases} u_1 = U_M \sin(\omega t) = R_{\sigma} i + L_{\sigma} \frac{di'_S}{dt} + R i'_S \\ i = i'_S + i'_C \\ i'_C = R' C' \frac{di'_S}{dt} \\ u'_S = R i'_S \end{cases} \quad (11)$$

The differential equation, non homogeneous of second degree is:

$$\frac{d^2 i'_S}{dt^2} + \left[ \frac{1}{R' C'} + \frac{R_{\sigma}}{L_{\sigma}} \right] \frac{di'_S}{dt} + \frac{1}{R' C' L_{\sigma}} i'_S = \frac{U_M}{R' C' L_{\sigma}} \sin \omega t \quad (12)$$

Noting:

$$2\delta = \frac{1}{R' C'} + \frac{R_{\sigma}}{L_{\sigma}} ; \omega_0^2 = \frac{1}{R' C' L_{\sigma}} ; v = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} \quad (13)$$

you observe that:

$$\frac{\delta}{\omega} = \frac{1}{2} \frac{\operatorname{tg} \varphi_{1C} + \operatorname{tg} \xi}{\operatorname{tg} \varphi_{1C} \operatorname{tg} \xi} ; \frac{\omega_0^2}{\omega^2} = \frac{1}{\operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}} ; \operatorname{tg} \psi = \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (14)$$

from (13) and (14) the differential equation becomes:

$$\frac{d^2 i'_S}{dt^2} + 2\delta \frac{di'_S}{dt} + \omega_0^2 i'_S = \frac{U_M}{X_{\sigma}} \frac{\omega^2}{\operatorname{tg} \xi} \sin \omega t \quad (15)$$

of witch general's solution is:

$$i'_S = i'_{S,l} + i'_{S,f}$$



- Determining the particular solution of the non homogeneous equation (the forced component of the current)  $i'_{S,f}$  :

$$i'_{S,f} = I_S \sin(\omega t - \psi) \quad (16)$$

where:

$$I_S = \frac{U_M \cos \psi}{X_\sigma \operatorname{tg} \xi} \frac{1}{\left[ \left( \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 - 1 \right]} = U_M \frac{\sin \psi}{X_\sigma + R_\sigma \operatorname{tg} \xi} =$$

$$= U_M \frac{\cos \psi}{R_t - X_\sigma \operatorname{tg} \xi} = \frac{U_M}{R_t} \frac{\cos \psi}{1 - \operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}} \quad (17)$$

you can see that the maximum value of the current through the charge it is obtained when the value of the C capacitor is very low (resistive charge).

$$I_{SM} = \frac{U_M}{R_t} \cos \psi_{\min} \quad (18)$$

$$\text{We note: } d = \frac{I_S}{I_{SM}} = \frac{\frac{U_M}{R_t} \frac{\cos \psi}{1 - \operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}}}{\frac{U_M}{R_t} \cos \psi_{\min}} = \frac{1}{1 - \operatorname{tg} \xi \operatorname{tg} \psi_{\min}} \frac{\cos \psi}{\cos \psi_{\min}} \quad (19)$$

- The determination of the general solution of the differential homogeneous equation (the free component of the current)  $i'_{S,1}$  .

The characteristic equation attached to the homogeneous differential equation is:

$$r^2 + 2\delta r + \omega_0^2 = 0$$

We present the two possible cases:

- The free regime solution has a deemed periodic character  $\delta^2 < \omega_0^2$

From (13) results the condition:

$$C' \in \left( \frac{L_\sigma}{R'(R_\sigma)^2} \left[ (R' + R_t) - 2\sqrt{R'R_t} \right], \frac{L_\sigma}{R'(R_\sigma)^2} \left[ (R' + R_t) + 2\sqrt{R'R_t} \right] \right) \quad (20)$$

The solutions of the characteristic equation have the following shape:

$$r_{1,2} = -\delta \pm j\nu$$

and the general solution of the homogeneous differential equation is:

$$i'_{S,1} = K_1 e^{\nu t} + K_2 e^{j\nu t} = [(K_1 + K_2) \cos \nu t + j(K_1 - K_2) \sin \nu t] e^{-\delta t} \quad (21)$$

The constants  $K_1$  respectively  $K_2$ , are determined from the initial conditions.

The free regime solution has a deemed non periodic character  $\delta^2 > \omega_0^2$

From (13) results the condition:

$$C' \in \left( 0, \frac{L_\sigma}{R'(R_\sigma)^2} \left[ (R' + R_t) - 2\sqrt{R'R_t} \right] \right) \cup \left( \frac{L_\sigma}{R'(R_\sigma)^2} \left[ (R' + R_t) + 2\sqrt{R'R_t} \right], \infty \right) \quad (22)$$

The solutions of the characteristic equation are:

$$r_{1,2} = -\delta \pm \nu$$

and the general solution of the homogeneous differential equation is:

$$i'_{S,1} = K_3 e^{\nu t} + K_4 e^{\nu t} = [(K_3 + K_4) \operatorname{ch} \nu t + (K_3 - K_4) \operatorname{sh} \nu t] e^{-\delta t} \quad (23)$$

The constants  $K_3$  respectively  $K_4$ , being determined from the initial conditions.

## Bibliography:

- [1] Matlac, I.: *Convertoare electroenergetice*, Editura Facla, Timișoara, 1987.
- [2] Matlac, I., Cernat, M., Szekely, I.: *Convertoare electrice*, Universitatea Brașov, 1975.
- [3] Matlac, I., Marinescu, C., Helera, E.: *Convertoare electrice, vol I*, Universitatea Transilvania Brașov, 1994.
- [4] Nicolaide, A.; *Mașini Electrice*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1975.
- [5] Strîmbu, C.: *Comutația periodică a circuitului RC paralel cu un tiristor*. Sesiunea Națională de Comunicări Științifice, Academia Aviației și Apărării Antiaeriene “Henri Coandă” și Centrul Regional pentru Managementul Resurselor Umane, Brașov, 1–2 noiembrie 2002, pp 247- 256, ISSN 1453-0139.
- [6] Strîmbu, C.: *Considerații asupra funcționării redresoarelor de tensiune monofazate*, Sesiunea Națională de Comunicări Științifice, Academia Forțelor Aeriene “Henri Coandă”, Brașov , 26 – 27 noiembrie 2004, pag 196-201, ISSN 1453-0139.
- [7] Strîmbu, C.; Cozlov, L.; Chitaș, E. M.: *Regimul Tranzitoriu al Comutației Periodice în c.a. cu Diodă a unui Circuit RC Paralel*, International Session of Scientific Papers “Education and Scientific Research at European Standards”, “Henri Coandă” Air Force Academy, Brașov 11-12 may 2007, Romania, vol II, pp 686-691, ISBN 978-973-8415-45-4;
- [8] Strîmbu, C.; Cozlov, L.; Chitaș, E. M.: *Regimul Tranzitoriu al Comutației Periodice în ca cu Tiristor a unui Circuit RC Paralel*, International Session of Scientific Papers “Education and Scientific Research at European Standards”, “Henri Coandă” Air Force Academy, Brașov 11-12 may 2007, Romania, vol II, pp 662-700, ISBN 978-973-8415-45-4;

---

\* Constantin Strîmbu – șef lucrări dr.ing., Academia Forțelor Aeriene Brașov, Mihai Viteazu nr. 160, e-mail strimbu\_c@yahoo.com

\* Laura Cozlov – masterand la Universitatea București, Facultatea de Limbi Străine, secția Interpretare de Conferință, Sublocotenent, Baza 90 Transport Aerian Otopeni, e-mail laura\_cozlov\_2003@yahoo.com

## MICROWAVE CIRCUIT ANALYZE USING SPACE MAPPING RLC MICROWAVE MODELS

Alexandru STEFAN\*

*The space mapping techniques supplied designers with strong and reliable tools necessary for the complex and demanding needs of modern circuit design. They utilize the circuit responses and possibly derivative information in the optimization loop. Recently, commercial software packages have been developed that solve Maxwell's equations for circuits of arbitrary geometrical shapes. Such simulators are denoted as Electromagnetic (EM) simulators. They utilize different methods of the analysis of microwave circuits such as the Finite Element Method (FEM), the Method of Moments (MoM), etc. These simulators are accurate but they require intensive CPU time. The optimization algorithms employ the coarse model in the search for the fine model minimizer. This is done through a parameter mapping, the so called space mapping, which in effect makes the coarse model behave as the fine model. We call this combination of the space mapping and the coarse model, the mapped coarse model. Hence, in the space mapping technique, applied on microwave RLC circuits, mapped coarse model is to take the place of the fine model in search for a minimizer model. Beginning with space mapping conditions we can present some software algorithms for optimization algorithms applied on microwave RLC circuits models.*

### **I. Introduction**

The initial use of these EM simulators was limited to validating designs obtained through traditional optimization of empirical/analytical models. Over the years, empirical and circuit theoretic models of many microwave circuits have been developed and accumulated. The empirical and circuit-theoretic models are denoted as "coarse" models. Advances in the technology of workstations and PCs enabled traditional EM optimization of simple structures. However, the increasing complexity of microwave circuits still makes traditional EM optimization a formidable task. A mathematical link (mapping) is established between the spaces of the parameters of the empirical and EM models. This approach directs the bulk of the required CPU time to the fast model while preserving the accuracy and confidence supplied by few EM analyses. The target of circuit optimization is to determine a set of values for the circuit parameters such that certain design specifications are satisfied. These specifications represent constraints on the circuit responses. Usually, a model of the physical circuit is utilized in simulating and thus optimizing the circuit. Traditional optimization techniques utilize the simulated circuit responses directly and possibly available derivatives. Engineering models used in simulating the circuit responses vary in accuracy and speed. In some engineering problems, applying traditional optimization using the accurate models directly may be prohibitively impractical. On the other hand, applying optimization using the less accurate models may indicate feasibility of the design but could lead to unreliable results.

These results must be validated using the accurate models or even using measurements. It follows that alternative optimization approaches must be utilized.

The problems to be solved by the optimization algorithms in this presentation have two general models available: first model denoted the fine model, being the model of primary interest, and the second denoted the coarse model. We are proposing for our analyze four models covering the general models algorithms. It is expected that the coarse model somehow resembles the behavior of the fine model. Further, it is expected that the coarse model is cheaper to evaluate than the fine model, and therefore it is most likely less accurate than the fine model. The optimization algorithms employ the coarse model in the search for the fine model minimizer. We call this combination of the space mapping and the coarse model, the mapped coarse model.

## II. Space Mapping (SM) Optimization Algorithms

The space mapping particular models used for our study problems covers are:

RLCA : The fine model has an exact linear mapping to the coarse model.

RLCB : The fine model has an exact nonlinear mapping to the coarse model.

RLCC : The fine model has an inexact non-linear mapping (different topology) to the coarse model.

RLCD : The fine model has an inexact non-linear mapping to the coarse model.

Using SM theory we developed 4 algorithms models for this analyze based on the following definitions: regularization with regard to the distance to  $z^*$ ,

$$p_\lambda(x) \in \arg \min \{ (1-\lambda) \|c(z)-f(x)\| + \lambda \|z-z^*\| \} \quad (1)$$

Regularization with regard to the distance to  $x$ ,

$$p_\lambda(x) \in \arg \min \{ (1-\lambda) \|c(z)-f(x)\| + \lambda \|z-x\| \} \quad (2)$$

Regularization using gradient information,

$$p_\lambda(x) \in \arg \min \{ (1-\lambda) \|c(z)-f(x)\| + \lambda \|z'(z)-f'(x)\| \} \quad (3)$$

With this theoretical introduction we are now in a position to introduce the algorithms.

ALG1: Original Space Mapping Model. The function ALG1 implements the original space mapping technique using a trust region secant method. The secant method involves a linear Taylor model of the space mapping with a secant approximation to the Jacobian matrix.

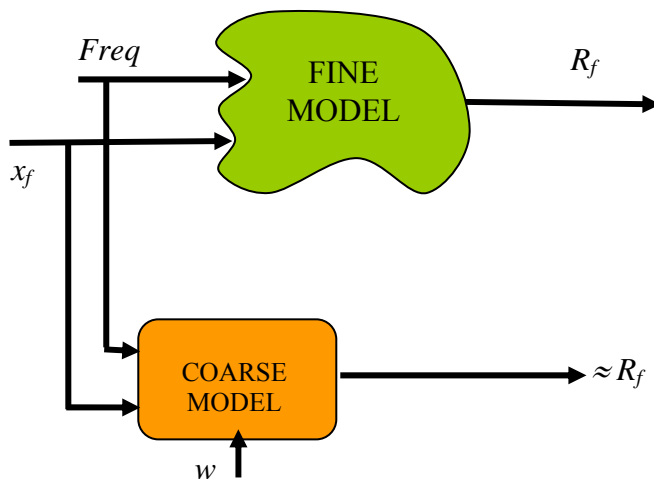


FIG.1 ALG1

ALG2: Hybrid Space Mapping Model. The function ALG2 implements the hybrid space mapping algorithm, with a gradual switching between the mapped coarse model and the linear Taylor model of the fine model.

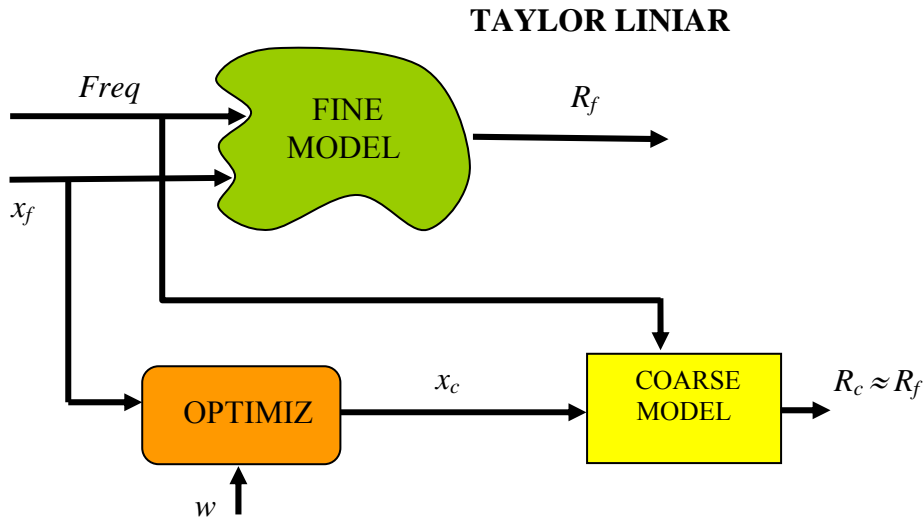


FIG.2 ALG2

ALG3: Hybrid Space Mapping Model with Orthogonal Updates. The function Alg3 implements a hybrid space mapping algorithm with orthogonal updating steps of the space mapping approximation. If the space mapping fails within the first  $n$  iterations the algorithm evaluates the fine model at a step in a direction orthogonal to previous steps, this is in order to improve the quality of the space mapping secant approximation. Which of the orthogonal directions that is chosen and the length of the step in that direction can be controlled by the options ortho met, ortho scale type and ortho scale. If a single orthogonal step is not sufficient, further steps are taken, until the fine model has been evaluated at most  $n$  times. Thereafter the algorithm switches to a linear Taylor model of the fine model.

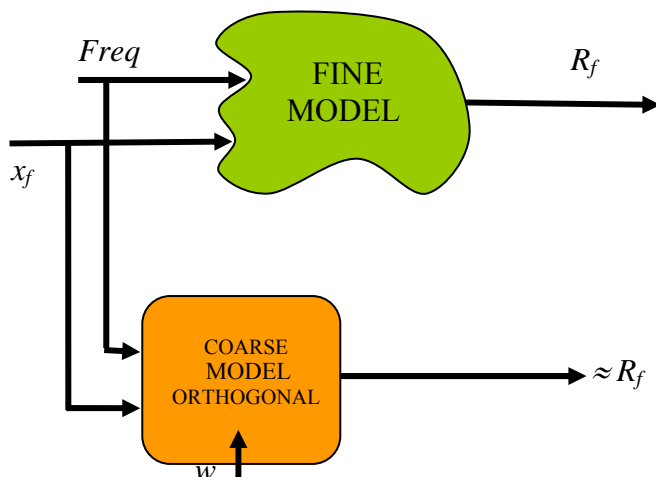


FIG3. ALG3

ALG4: Hybrid Space Mapping Model with Response Correction. The function ALG4 implements a hybrid space mapping algorithm with response correction of the mapped coarse model.

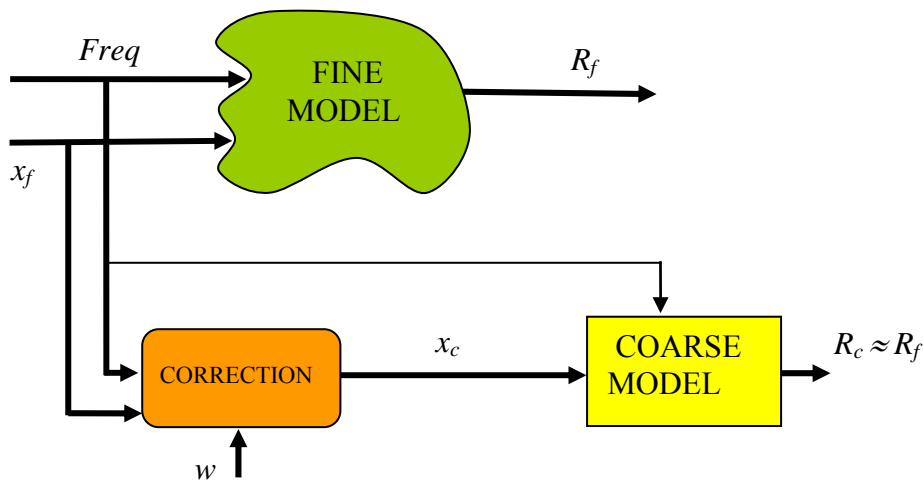


FIG.4 ALG4

The RLC microwave models implementation for all four algorithms was run together with the convergence tests on all SM models and the results for all problems are presented in [10]. The exact non-linear mapping (RLCB) results are represented in Table 1.

	Alg.1	Alg.2	Alg.3	Alg.4
$10^0$	1	1	1	1
$10^{-1}$	65	2	2	2
$10^{-2}$	-	13	24	23
$10^{-3}$	-	-	59	67
$10^{-4}$	-	-	83	-
$10^{-5}$	-	-	93	-
$10^{-6}$	-	-	123	-
$10^{-8}$	-	-	139	-
$10^{-10}$	-	-	148	-
$10^{-12}$	-	-	152	-
$10^{-14}$	-	-	154	-
STOP	VE	VE	VE	VK

Table 1: Exact non-linear mapping (RLCB)

VK : The algorithm stop because the fine model evaluation reached the condition (3)

VE : The algorithm stop because the time of the last tentative step was too small

### III. Conclusions

The original space mapping algorithms are in general not preferable over any other algorithms we have studied and presented in this paper, except special cases presented in [10]. It is most likely a better choice to initialize a direct, classical method with Jacobian approximation obtained from the coarse model, than to use the original space mapping algorithms. The Hybrid Space Mapping algorithms showed good results for initial convergence and for microwave RLC circuits the Hybrid Space Mapping with Response Correction are recommended because of the good final convergence better to that of the direct, classical method started in the coarse model minimizer.

#### **IV. Bibliography**

- [1] Paulo j. Rodrigues “Computer-aided analysis of nonlinear microwave circuits” Artech house inc. Boston,1998 / 2003
- [2] Stephen Mass “Nonlinear microwave circuits “, Artech House inc. boston,1998
- [3] “Microwave Office 3.2 “User Manual”, 2004
- [4] Alexandru Stefan, Constantin Strambu “Simularea circuitelor de microunde”, Editura albastra, Cluj-Napoca, 2000
- [5] Alexandru Stefan, “Indrumar de laborator pentru studiul dispozitivelor de microunde”, Academia Aviatiei, Brasov, 1997
- [6] Alexandru Stefan... “Semnale, Circuite, Sisteme” , vol.1 Academia Aviatiei, Brasov, 2001
- [7] Constantin Strimbu, Alexandru Stefan “Analiza semnalelor cu pspice” Editura albastra, Cluj-Napoca, 2000
- [8] Alexandu Stefan “Extragerea parametrilor circuitelor de microunde”, Simpozion de referate, Institutul de cercetari militare, Bucuresti, 2002
- [9] Alexandru Stefan “ Optimizarea circuitelor de microunde folosind metoda suprapunerii spațiale” Academia Tehnica Militara, 2002
- [10] Alexandru Stefan “ Research Contract 1013 01/03/03: Microwave Circuits Models Optimization”, V Entr., NJ, USA 2003
- [11] J.W.Bandler, M.A.Ismail, J.E.Rayas-Sanchez, and Q.J.Zhang, “Neuromodeling of Microwave Circuits Exploiting Space-Mapping Technology,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 47, no. 12, pp. 2417–2427,Dec. 1999.
- [12] J.W.Bandler, R.M.Biernacki, S.H.Chen, P.A.Grobelny, and R.H.Hemmers, “Space Mapping Technique for Electromagnetic Optimization,” IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, no. 12, pp. 2536–2544, Dec. 1994.

---

\* Lt.col(r) Dr. ing. Alexandru STEFAN, Air Force Academy, Brasov ROMANIA



## COMPUTER AIDED PRELIMINARY DESIGN OF THE HEIGHT CONTROL SYSTEMS

Róbert SZABOLCSI\*  
György MÉSZÁROS\*\*

**Abstract.** *Height control of the aircraft is one of the most important tasks to be solved during preliminary design of the flight phases. From the point of view of the flight safety it is also important to design a safe automatic flight control system. There is a big challenge in this field of derivation of the flying and handling qualities of the remotely piloted airplanes, such as unmanned aerial vehicles, including both airplanes and helicopters. The paper highlights this problem giving some suggestion for the solution. These results are very early and pilot – they belong to a research program called “Computer Aided Analysis and Design of the Vehicle Systems” lead at Miklós Zrínyi National Defense University. Design methods applied during series controller synthesis are both classical, and modern optimal ones. Design requirements are defined in military specifications of MIL-F-8785C, and MIL-STD-1797A. Solution of the closed loop control system design, and analysis problem is supported by MATLAB® computer package supplemented with its necessary toolboxes.*

### I. INTRODUCTION

Height control of the UAV is important from many aspects. The first reason is that it is important phase of the automated control allowing monitor the ground, or the water surfaces. Height control consists of many possible flight regimes, such as height stabilization, or model following. In this particular case height changes as pre-defined deterministic flight parameter and, mission is to follow this reference value. These regimes are applied during landing, during flare phase of the landing, in emergency landing, and, during avoiding obstacles on the ground. There is no question about this, and understanding importance of this topic authors are investigating the preliminary design of the height control system for the hypothetical UAV aircraft, having slow dynamics. During control system preliminary synthesis requirements are taken from military standards given for piloted airplanes. The reason for this is lack of flying and handling qualities for the UAV aircraft. After design we will show results of the computer simulation both in frequency, and time domain.

## II. BRIEF HISTORY & LITERATURE OVERVIEW

Basic methodology of modern control systems based on state space representation is outlined in references of [1, 2, 3, 5, 7]. This fundamental literature was used during preparing this article. Automatic control systems and its applications are discussed in [4, 5, 13, 16]. Dynamics of flying objects and its mathematical description is given in [6, 15]. Last decades application of CAD technology in classical, in modern, and, in post-modern control systems analysis and design became evidence. There are many excellent textbooks propagating computer aided design and analysis such as [10, 11, 12, 13, 16, 17, 18]. There are many early [8, 9] and late [14, 19] military standards about automatic flight control systems, and lots of flying and handling qualities are summarized here. The only bothering thing arising here is that these standards are for airplanes piloted by the human operator on the board. However, if to think over problems of design control systems for the manned, and for the unmanned aircraft, it is easy to see that requirements of manned aircraft are stricter, and they can be applied also for UAV systems. Computer aided analysis will be carried out to test whether automatic flight control system is able to minimize unwanted effects from environmental disturbances, namely, atmospheric turbulences and its effects on flight of the hypothetical UAV will be analyzed. Mathematical models and theirs computer aided simulation is outlined in [20]. Computer code used for this task is a new MATLAB embedded file created by the authors.

## III. CONTROL SYSTEM DESIGN USING LQR METHOD

Dynamics of the LTI system can be defined using the following state and output equations [6, 7, 10, 11, 12, 13, 16]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu}, \mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du}, \quad (3.1)$$

where  $\mathbf{A}$  represents a state matrix,  $\mathbf{B}$  is input matrix,  $\mathbf{C}$  is output matrix, and finally,  $\mathbf{D}$  is a direct feedforward matrix, respectively, and  $\mathbf{x}$  is a state vector, and  $\mathbf{u}$  represents input vector. Block diagram of the closed loop control system built by equations (3.1) can be seen in Figure 3.1., when feedforward matrix is zero, i.e.  $\mathbf{D}=0$ .

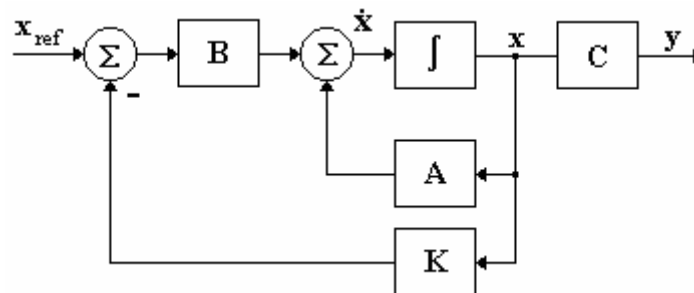


Figure 3.1. Block Diagram of the Control System.

Optimal control law can be determined evaluating the following integral performance criteria [10, 11, 12]:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) dt \rightarrow Min. \quad (3.2)$$

In this cost function main design parameters are weights on state vector  $\mathbf{Q} \geq 0$ , i.e. it is a positive semi-definite matrix, and weights on control vector  $\mathbf{R} > 0$ , i.e. it is a positive definite weighting matrix. If  $\mathbf{Q}$  is very large relative to  $\mathbf{R}$  one can get a closed loop system response with large overshoots. If  $\mathbf{R}$  is chosen to be very large relative to  $\mathbf{Q}$  control system has smaller

actuators, electric motors, amplifier gains and other devices. During controller synthesis weighting matrices can be derived using the so-called inverse square rule.

The LQ optimal control problem can be solved using wide variety of techniques. Let us consider method of Euler-Lagrange equations, Hamilton-Jacobi-Bellman theory and Pontryagin's minimum principle. Firstly let us define the so-called Hamiltonian matrix:

$$\mathbf{H}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, t) = \frac{1}{2}(\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u}) + \boldsymbol{\lambda}^T (\mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u}), \quad (3.3)$$

where  $\boldsymbol{\lambda}$  is the Lagrange multiplier,  $\mathbf{H}$  is the Hamiltonian matrix.

It is well-known that Pontryagin's minimum principle states that optimal state and control trajectories must satisfy the following equations [7]:

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial \boldsymbol{\lambda}} = \dot{\mathbf{x}}; \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial \mathbf{x}} = -\dot{\boldsymbol{\lambda}}; \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial \mathbf{u}} = 0. \quad (3.4)$$

Using rules for differentiation of matrices and vectors equations of (3.4) can be rewritten in the following manner

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u}, \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \quad (3.5)$$

$$-\dot{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{Q} \mathbf{x} + \mathbf{A}^T \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\lambda}(T) = 0, \quad (3.6)$$

$$\mathbf{u}^o = -\mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \boldsymbol{\lambda}. \quad (3.7)$$

Formula (3.7) defines the optimal control law of the closed loop control system. The coupled equations (3.5), (3.6) and (3.7) are main equations for the so-called 'two point boundary value problem' (TPBWP). Substituting equation of control law (3.7) into state equation (3.5) results in following formula:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \dot{\boldsymbol{\lambda}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \\ -\mathbf{Q} & -\mathbf{A}^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{bmatrix} = \mathbf{H} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{bmatrix}. \quad (3.8)$$

Let us make the following substitution in equation (3.8):

$$\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{P} \mathbf{x}, \quad (3.9)$$

where  $\mathbf{P}$  is the so-called cost matrix. Differentiating both sides of equation (3.9) with respect to time and considering equations (3.5) and (3.7) the following equation can be derived:

$$\frac{d\boldsymbol{\lambda}}{dt} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} \mathbf{x} + \mathbf{P} \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} \mathbf{x} + \mathbf{P} \mathbf{A} \mathbf{x} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} \mathbf{x} = -\mathbf{Q} \mathbf{x} - \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{x}. \quad (3.10)$$

The sufficient condition for optimal control is that  $\mathbf{P}$  must satisfy the following Riccati differential equation:

$$-\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{Q} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}, \mathbf{P}(T) = 0. \quad (3.11)$$

Solution of the optimal controller synthesis problem using Riccati equation in control theory is regarded as the finite time problem. This solution results in the linear time varying static controller of the feedback, i.e.:

$$\mathbf{u}^o(t) = -\mathbf{K}(t) \mathbf{x}(t), \mathbf{K}(t) = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}(t). \quad (3.12)$$

Equation (3.11) is a nonlinear first order matrix differential equation, which has to be solved backwards in time. During solution of the infinite time LQR problem it is considered that  $T \rightarrow \infty$ . It is obvious that under mild conditions cost matrix  $\mathbf{P}$  can be considered as constant and solution of Ricatti equation results in the asymptotically stable closed loop control system. In this particular case equation (3.11) can be rewritten as:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{Q} - \mathbf{P} \mathbf{B} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P} = 0, \quad (3.13)$$

and, the optimal control vector can be derived as:

$$\mathbf{u}^0(t) = -\mathbf{K} \mathbf{x}(t), \mathbf{K} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}. \quad (3.14)$$

In modern control theory equation (3.13) is known as algebraic Ricatti equation (ARE). Conditions defined by equations (3.13) and (3.14) are necessary and sufficient for existence of the optimal controller, which will asymptotically stabilize the closed loop control system. Thus, procedure of optimal control law synthesis consists of the following two steps:

- 1, solution of the ARE – equation (3.13) – in order to find constant cost matrix  $\mathbf{P}$ ,
- 2, substitution cost matrix  $\mathbf{P}$  into equation (3.14). The resulting feedback gain matrix  $\mathbf{K}$  is an optimal for the chosen weighting matrices  $\mathbf{Q}$  and  $\mathbf{R}$ .

#### IV. A NUMERICAL EXAMPLE

This chapter deals with methodology of the closed loop automatic flight control system preliminary design, and analysis, thus, gives main guideline for control engineers. The closed loop automatic flight control system will be synthesized using optimal Linear Quadratic Regulator (LQR) design method outlined in deep details in Chapter III.

Let us consider automatic flight control system used for height control system, which is given in Figure 4.1. The block diagram is general, and suggested to use it for height control of the UAV first time by the authors.

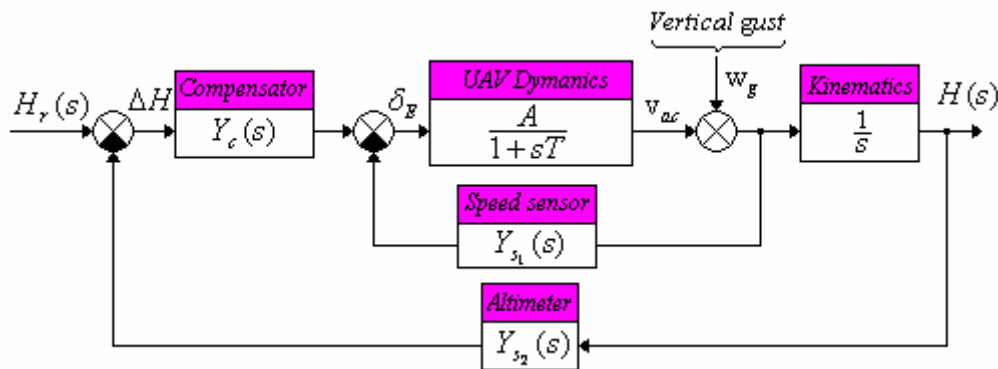


Figure 4.1. Block Diagram of the Classical Height Control System.

Block diagram given in Figure 4.1 represents the full state feedback control system. Dynamics of the UAV is represented by the following transfer function:

$$Y(s) = \frac{v_{ac}(s)}{\delta_E(s)} = \frac{A}{1+sT} = \frac{5}{1+2s}, \quad (4.1)$$

where  $v_{ac}(s)$  is airspeed of the aircraft,  $\delta_E$  is elevator angular deflection,  $H_r(s)$  is reference signal of the altitude,  $H(s)$  is actual value of the altitude, and finally,  $\Delta H(s)$  is error signal of the automatic flight control system. Parameters of the transfer function (4.1) are chosen fully

theoretically, however transfer function must represent a slow dynamics with pure dynamic characteristics. Airspeed sensor is represented by transfer function of  $Y_{s_1}(s)$ , and its transfer function is one of the design parameters. Barometric altimeter is given with its transfer function of  $Y_{s_2}(s)$ , which will be supposed to have unity gain. Note that this model is simplified to that of the possible simplest one. The series compensator is represented with transfer function of  $Y_c(s)$  and, it is the second design parameter to be found.

#### 4.1. Analysis of the Uncontrolled UAV Dynamics

The open loop UAV was tested both in time and in frequency domain. Result of the computer simulation can be seen in Figure 4.2.

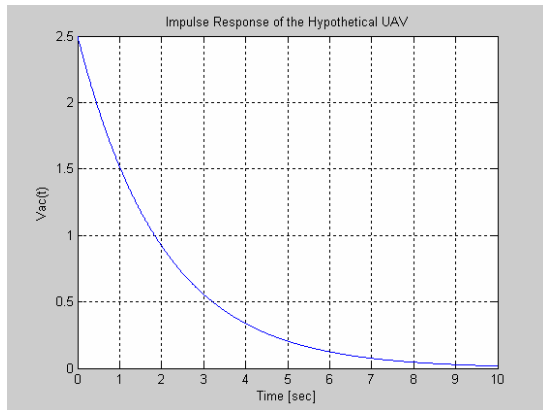


Figure 4.2-1.

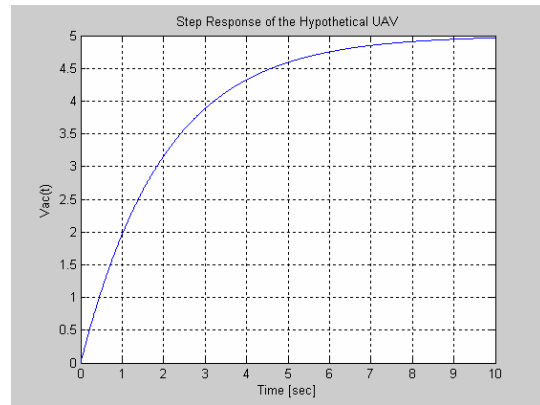


Figure 4.2-1.

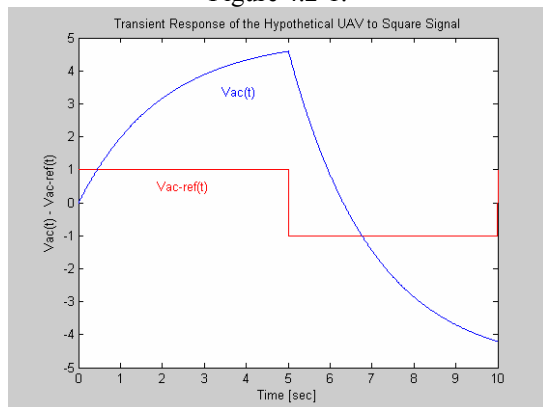


Figure 4.2-3.

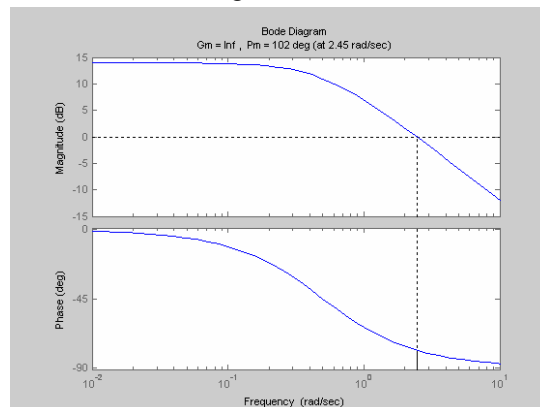


Figure 4.2-4.

Figure 4.2-1 shows impulse response, Figure 4.2-2 shows step response of the hypothetical UAV dynamics. From these figures it is easily can be seen that UAV dynamics has first order term feature. Response functions are exponential ones, the UAV responses to inputs very slowly. Regarding dynamic performances, flying and handling qualities given in [8, 9, 14, 19] it can be said that dynamic performances shown by UAV dynamics out of the required ranges. Figure 4.2-3 represents transient response of the open loop system to square signal having period of time of  $T = 10$  sec, or frequency of  $f = 0,1$  Hz. As this figure shows, having slow dynamics UAV is unable to follow the reference input of the square signal. Thus, UAV needs flight control system making it able to achieve fast responses, in other words, fast maneuvers. Analysis in the frequency domain shows that UAV has good dynamic performances, i.e. gain margin is  $Gm = \infty$ , and phase margin is  $Pm = 102^\circ$ . From this argue comes out the evidence of the need of the automatic flight control system to control the height

of the UAV. There are many classical and modern methods, which can be used for control system preliminary design. Regarding problems of UAV systems' design, for example design of the energy system, the more feasible methods are limited to optimal design methods.

#### 4.2. Gain Selection Using LQR Design Method

Before start design of the height control system shown in Figure 41. let us define dynamic performances of the closed, and open loop dynamic characteristics and requirements to be as follows in Table 1. [14, 19]:

Table 1. Requirements of the closed loop control system.

Time Domain Requirements	Frequency Domain Requirements
Steady-state settling time: $t_{ss} \leq 2 \text{ sec}$	Gain margin: $Gm \geq 10 \text{ dB}$
Damping ratio: $0,7 \leq \xi \leq 0,8$	Phase margin: $Pm \geq 45^\circ$ .

Before using LQR design procedure to find system parameters, closed loop control system given in Figure 4.1. in complex frequency domain, it must transferred to the following one, given in the time domain. Block diagram of the time domain closed loop control system given in Figure 4.3.

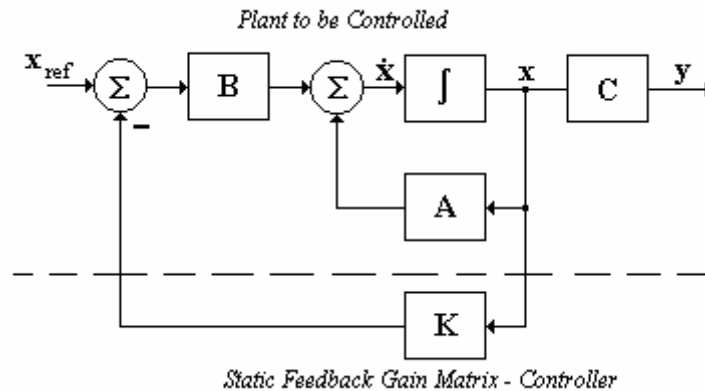


Figure 4.3. State Space Model of the Closed Loop Control System.

Using basic equations of the inverse Laplace–transformation, matrices, and vectors used in Figure 4.3. easily can be found to be as follows:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T} & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ac} \\ H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A \\ T \\ 0 \end{bmatrix} \delta_E = \begin{bmatrix} -0,5 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ac} \\ H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2,5 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_E \quad (4.2)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ac} \\ H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_E$$

Static feedback gain matrix  $\mathbf{K}$  is as follows:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} Y_{s1} & Y_c \end{bmatrix}. \quad (4.3)$$

During controller synthesis for closed loop control system given in Figure 4.3. first step must be done is selection of the weights of the integral criteria defined by equation of (3.2). There are many well-known methods for selection of the weights, such as inverse square rule, unity weighting, and, finally, heuristic set of weights. Having no information about limitations

of the automatic flight control system we will choose for the first step unity weighting for matrices  $\mathbf{Q}$ , and  $\mathbf{R}$ , respectively, i.e.:

$$\mathbf{Q}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \mathbf{R}_1 = r_1 = 1. \quad (4.4)$$

For the unity weighting matrices defined by equation of (4.4) the static feedback gain matrix is as follows [10, 11, 12, 17, 18]:

$$\mathbf{K}_1 = [1, 1565 \quad 1]; Y_{s_1} = 1, 1565; Y_c = 1. \quad (4.5)$$

The closed loop control system for given static controller was tested for dynamic performances.

Table 2. Dynamic performances of the closed loop control system.

Eigenvalues	Damping ratio, $\xi$	Natural frequency, [rad/s]
-1,08	1	1,08
-2,31	1	2,31

Step response of the control system can be seen in Figure 4.4. From this figure it is evident that steady-state settling time is  $t_{ss} \cong 3,3\text{sec}$ , and, damping ratio has unity value. The response of the closed loop control system to the reference unity gain signal is exponential one.

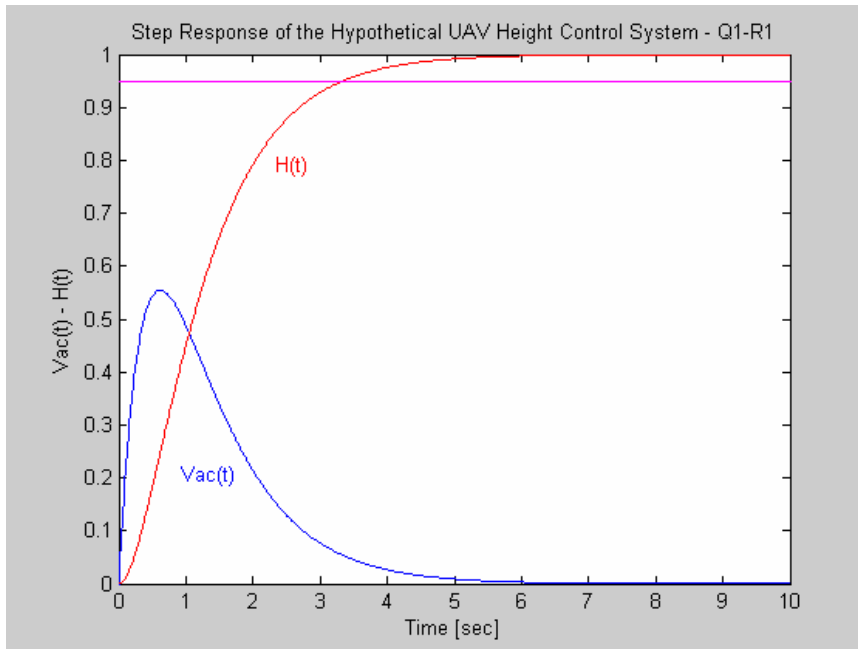


Figure 4.4. Transient Response of the Height Control System.

At the next stage of the control system design find heuristically the appropriate set of weighting matrices  $\mathbf{Q}$ , and  $\mathbf{R}$  providing for the closed loop control system, in this particular case it is a height control system of the UAV, dynamic performances defined before. After several attempts of the control system synthesis and analysis carried out by the authors following set of weighting matrices shall be used for the controller synthesis:

$$\mathbf{Q}_2 = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 0 & 15 \end{bmatrix}; \mathbf{R}_2 = r_2 = 15. \quad (4.6)$$



For this set of matrices static state feedback gain is as follows [17, 18]:

$$\mathbf{K}_2 = [0,7201 \quad 1]; Y_{s_1} = 0,7201; Y_c = 1. \quad (4.7)$$

For this particular case dynamic performances were found and put into Table 3.

Table 3. Dynamic performances of the closed loop control system.

Eigenvalues	Damping ratio, $\xi$	Natural frequency, [rad/s]
$-1,15 + 1.08 i$	0,727	1,58
$-1,15 - 1.08 i$	0,727	1,58

The closed loop step response was analyzed. Result of the computer simulation can be seen in Figure 4.5.

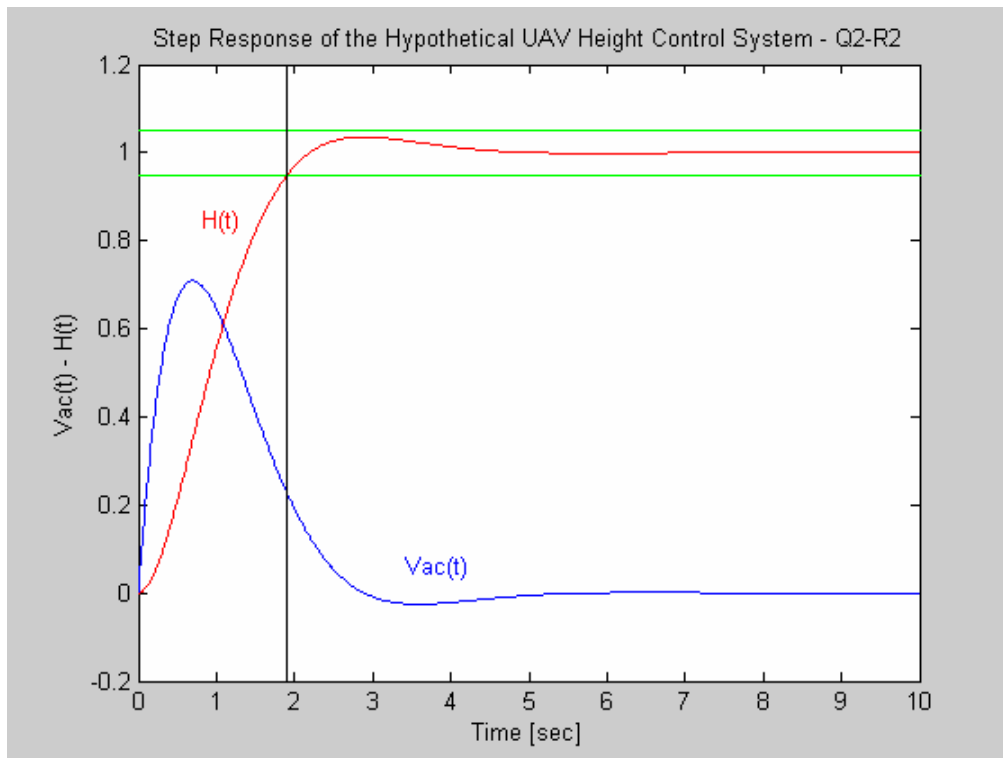


Figure 4.5. Transient Response of the Height Control System.

From Figure 4.5. it is easily can be seen that  $t_{ss} \cong 1,8\text{sec}$ , and damping ratio is  $\xi = 0,727$ . Thus, time domain dynamic performances of the closed loop control system are in ranges with those of defined in Table 1.

Comparison of the two systems designed using special sets of weighting matrices can be performed using Figure 4.6. Right side shows transient responses of the inner loop, which is loop for airspeed of the aircraft. It is evident from this figure that change of elements of weighting matrices to those of given in equation (4.6) result in system, which behaves more oscillatory than previous one. However, this allows to closed loop control system to react faster to reference unity input measured in the height of the flight.

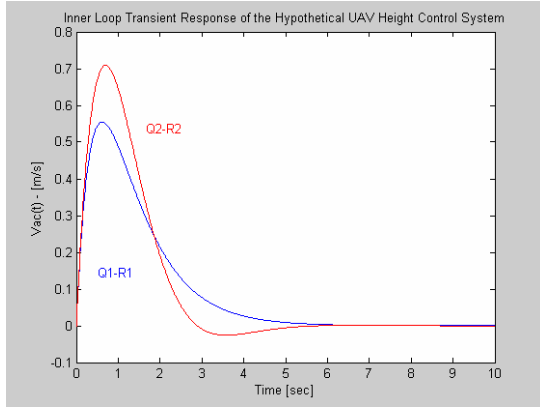


Figure 4.6-1.

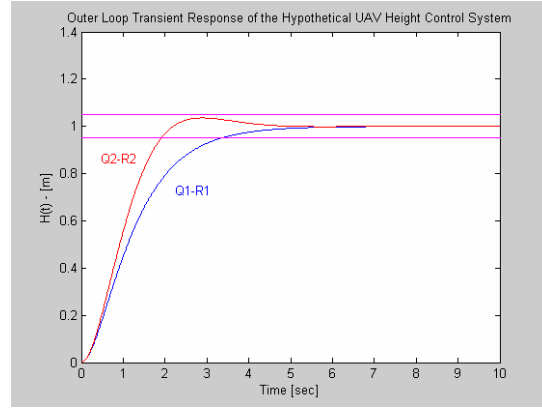


Figure 4.6-2.

Finally, let us find Bode diagram of the control system opening outer loop of the height control system of the UAV given in Figure 4.1. Results of the computer simulation can be seen in Figure 4.7.

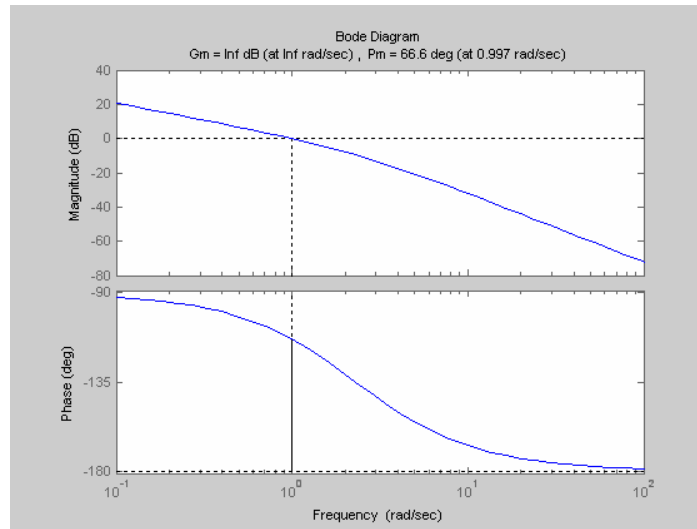


Figure 4.7. Open Loop System Bode-diagram.

From Figure 4.7. it is evident that frequency domain dynamic performances are as follows:

$$Gm = \infty, Pm = 66,6^0. \tag{4.8}$$

It is easy to determine that dynamic performances fit frequency domain requirements given in Table 1. At this point we can finish our preliminary design task.

### 4.3. Analysis of the Disturbance Rejection Ability

Preliminary design of the automatic flight control system must be followed by analysis of the disturbance rejection ability of the control system. Figure 4.1 shows vertical gust  $w_g(t)$  acting as environmental disturbance affecting motion of the UAV. It is evident that disturbance  $w_g(t)$  depends on many circumstances, and conditions. In this paper not going into deep detail let us suppose to have following initial data and conditions [20]:

$$H = 100 \text{ m} \cong 328,084 \text{ feet}; U_0 = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}, \tag{4.9}$$

$$0,45 \text{ m/s} \leq \sigma_w \leq 1,8 \text{ m/s}, L_w = 580 \text{ m}, \tag{4.10}$$

where  $H$  is height of the flight [m],  $U_0$  is airspeed of the UAV [m/s],  $\sigma_w$  *r.m.s.* is gust velocity [m/s], and finally,  $L_w$  is the integral scale of the atmospheric turbulence [m]. The minimum value of  $\sigma_w$  represents NASA parameter for the vertical gust speed at light wind, while maximum value of  $\sigma_w$  is defined for moderate the vertical component of the wind [20]. Time histories of the vertical speed component for minimum, and maximum of  $\sigma_w$  can be seen in Figure 4.8.

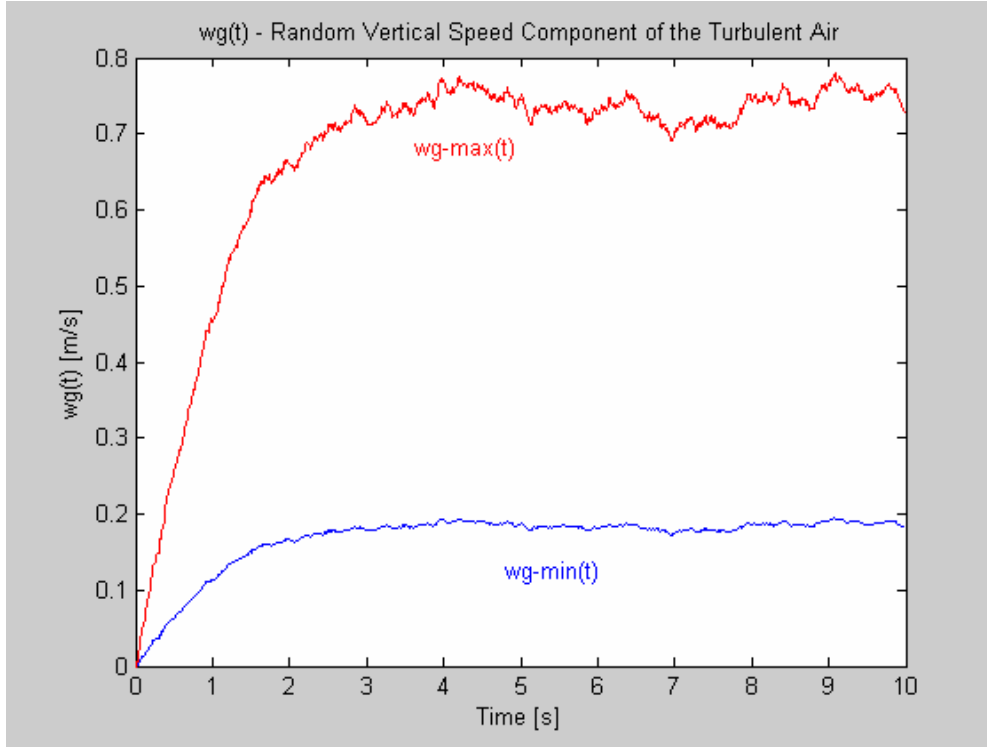


Figure 4.8. Vertical Speed Time Histories of the Turbulent Air.

Controller synthesis using LQR method is performed in Section 4.2. System parameters for given heuristically set weighting parameters were derived to be as follows:

$$\mathbf{K}_2 = [0,7201 \quad 1]; Y_{s_1} = 0,7201; Y_c = 1. \quad (4.11)$$

Disturbance rejection ability of the closed loop automatic flight control system can be analyzed using block diagram given in Figure 4.1. Suppose straight equilibrium flight of the UAV when random turbulence acts on it, while reference signal of the closed loop control system is zero,  $H_r(t) = 0$ . In this particular case closed loop transfer function of the automatic flight control system is as follows:

$$W_d(s) = \left. \frac{H(s)}{w_g(s)} \right|_{H_r(s)=0} = \frac{2s + 4,6005}{2s^2 + 4,6005s + 5}. \quad (4.12)$$

From equation (4.12) change of the height of the flight easily can be derived as:

$$H(s) = W_d(s)w_g(s). \quad (4.13)$$

Using equation (4.13) closed loop control system was analyzed for disturbance rejection. Results of the computer simulation for light and moderate wind weather conditions can be seen in Figure 4.9.

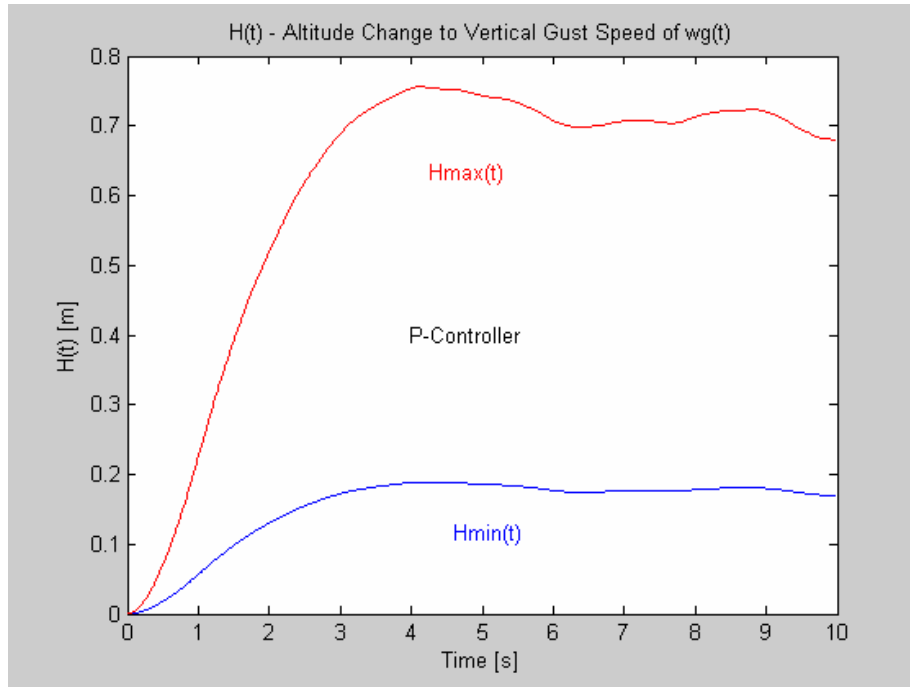


Figure 4.9. Altitude Time Histories in the Turbulent Air.

Figure 4.9 shows that closed loop automatic flight control system is unable to maintain altitude constant, i.e. random turbulent air moves UAV from its equilibrium height for given static error (see Figure 4.9). For the moderate wind static error can be found as:

$$\Delta H(t) = H_r(t) - H(t) = -H(t). \quad (4.14)$$

Absolute value of the steady-state error is

$$|\Delta H(t)| \cong 0,7 \text{ m}, \quad (4.15)$$

which is 0,7 % of the equilibrium height of  $H_0 = 100 \text{ m}$ . It is easily can be derived that this inaccuracy means high quality although automatic flight control system uses simple series P-controller.

However, from automatic control theory it is known that unwanted effects from external disturbances affecting motion of the UAV can be reduced, or removed totally using PI-controller in the feedforward path of the automatic flight control system. Let transfer function of the series compensator is as follows:

$$Y_c = 1 + \frac{1}{s}. \quad (4.16)$$

Using transfer function of equation (4.16) transfer function of the closed loop control system can be derived as:

$$W_d(s) = \frac{H(s)}{w_g(s)} \Big|_{H_r(s)=0} = \frac{2s^2 + 4,6005s}{2s^3 + 4,6005s^2 + 5s + 5}. \quad (4.17)$$

Applying series controller defined by equation (4.16) in the feedforward path of the closed loop automatic flight control system given in Figure 4.1 the closed loop control system was tested for disturbance rejection ability. Results of the computer simulation for light and moderate wind weather conditions can be seen in Figure 4.10.

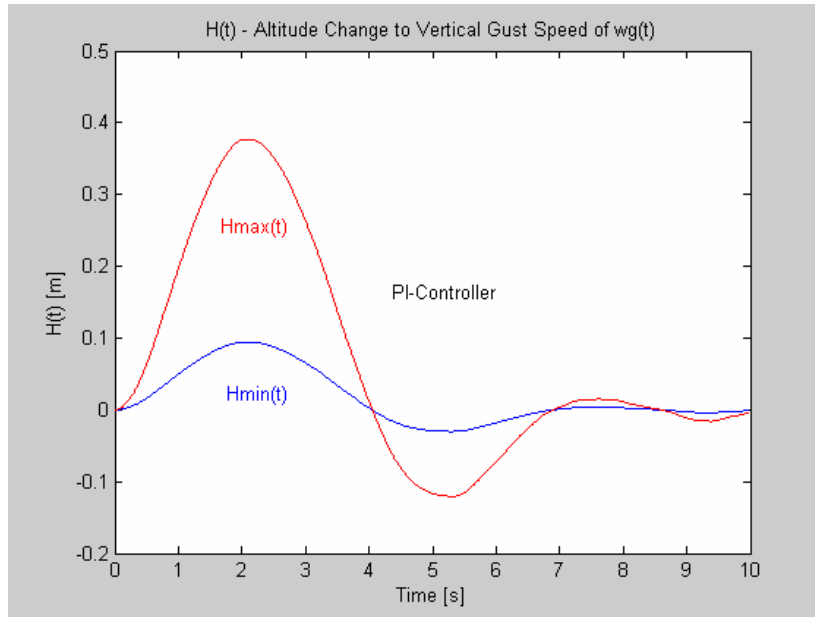


Figure 4.10. Altitude Time Histories in the Turbulent Air.

From Figure 4.10 it is evident that application of the PI-controller is minimizing static steady-state error from the constant component of the vertical random turbulence closed loop control system, i.e. using final value theorem of the Laplace-transformation yields to:

$$H(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} sH(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sW_d(s)w_g(s) = \frac{2s^2 + 4,6005s}{2s^3 + 4,6005s^2 + 5s + 5} = 0. \quad (4.18)$$

Figure 4.10 shows that weather conditions affect basically the response from external disturbance of the vertical wind gust. Figure 4.11. demonstrates responses of the closed loop control system.

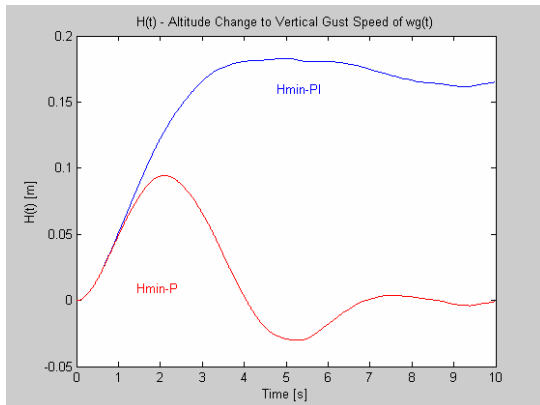


Figure 4.11-1

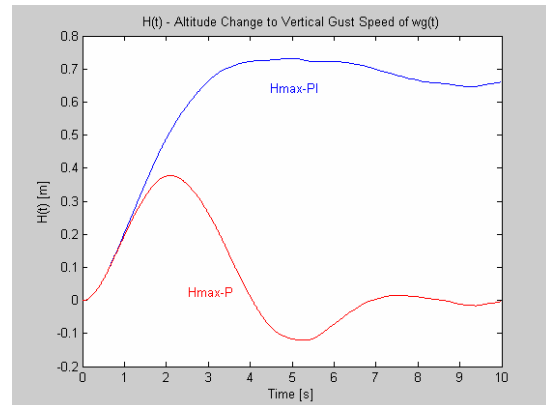


Figure 4.11-2

Figure 4.11-1 shows responses for light wind weather conditions, and Figure 4.11-2 shows response from the automatic flight control system for moderate wind meteorological conditions. Dealing with problems of the analysis of the disturbance rejection ability it is worth to mention that we have to re-arrange analysis of the reference signal tracking ability of the closed loop height control system having PI- controller. We have just kept in mind disadvantages of the integral compensation, regarding automatic control theory. This theory deals in deep details with filtering problems of the closed loop control systems. Final outcome from here is to apply PID-controller eliminating partly, of fully disadvantages of the integral compensation.

#### 4.4. Transient Response Analysis of the Height Control System

Height control system of the hypothetical UAV having series controller defined by equation (4.16) was tested both in time, and in frequency domains. Result of the computer simulation can be seen in Figure 4.12.

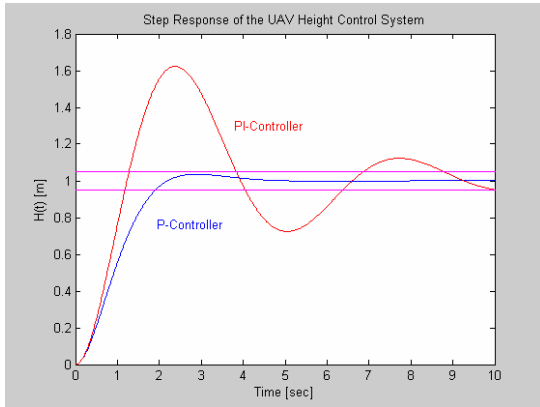


Figure 4.12-1

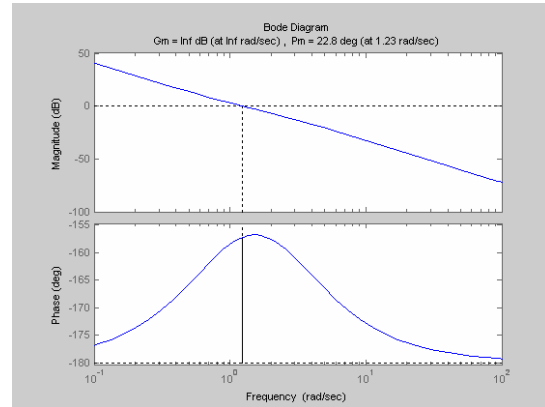


Figure 4.12-2

Figure 4.12-1 demonstrates behavior of the closed loop control system in the time domain. Step responses show that applying PI-controller dynamic performances provided with the simple P-controller are going worse, i.e. steady-state response time increased to that of  $t_{ss} \cong 8,7\text{sec}$  achieving large value of the overshoot. In frequency domain it can be stated that phase margin goes worse having value of  $Pm \cong 22,8\text{deg}$ . Evaluating these results both from reference tracking and disturbance rejection it is easy to determine that control engineers must agree in compromises allowing satisfaction of all pre-defined dynamic performances.

Disadvantages of application of the PI-controllers can be omitted using PID-controllers. In our example we have considered the following transfer function found heuristically of the series controller:

$$Y_c = 1 + \frac{1}{s} + 0,25s . \quad (4.19)$$

Using the transfer function defined by equation (4.19) the height control system was tested. Results of the computer simulation are summarized in Figure 4.13.

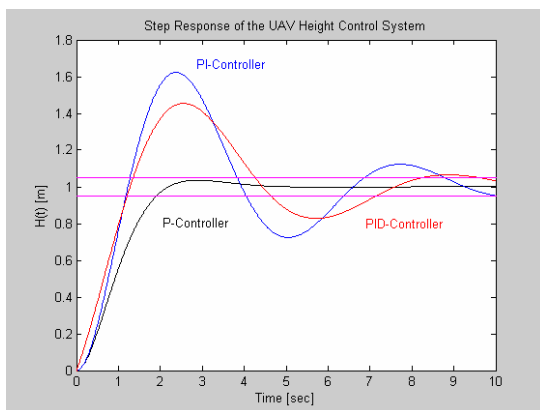


Figure 4.13-1

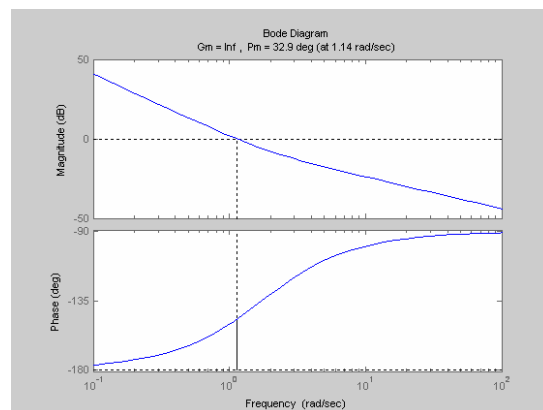


Figure 4.13-2

Figure 4.13-1 demonstrates responses from all closed loop control systems having P-, PI, and PID-controllers investigated before in previous sections. Results of the time domain analysis

of the height control system show that PID –controller improves dynamic performances both in time and in frequency domains, i.e. steady-state response time is decreased, and phase margin is increased (see Figure 4.13-2). From results of the computer simulation it is obvious that further investigation of the PID-controller tuning is required.

## V. SUMMARY AND CONCLUSIONS

This paper deals with computer aided preliminary design of the closed loop control systems, taking for the example the height control system of the hypothetical UAV. Main equations of the LQR design procedure were summarized to find optimal static state feedback gain matrix. The static controller provides for the closed loop control system all time and frequency domain dynamic performances. Note that decrease of the gain of  $Y_{s_1} = 1,1565$  to that of  $Y_{s_1} = 0,7201$  means that we reduced control energy, which is very important from other aspects of the design of the UAV systems.

Analysis of the disturbance rejection ability showed that PI-controller is needed to reduce unwanted effects from external disturbances. It was proofed that PI-controller minimizing static error of the height control system to its zero value. However, regarding results of the computer simulation both time and frequency domain dynamic performances become worse. For this reason a simple PI-controller is rarely used in automatic flight control systems. Instead of that PID-controllers are used to improve a complex set of dynamic performances. There are many possible solutions applying PID static controllers in autopilots, such as MP2000, or MP2028, which are available on the market for sale. Today in many military UAV systems M2028 is used as on-board autopilot.

## VI. OPUS CITATUM

- [1] Csáki, F. *Korszerű szabályozástechnika*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
- [2] Csáki, F. *Fejezetek a szabályozástechnikából — Állapot-egyenletek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [3] Csáki, F. (szerk.) *Irányítástechnikai kézikönyv*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [4] Kuo, B. C. *Automatic Control Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
- [5] Ogata, K. *Modern Control Engineering*, Prentice-Hall International Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [6] McLean, D. *Automatic Flight Control Systems*, Prentice-Hall, International (UK) Ltd., New York, London, Toronto, 1990.
- [7] Brogan, W. L. *Modern Control Theory*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1991.
- [8] MIL-F-9490D, Notice 1, Flight Control Systems – Design, Installation, and Test of Piloted Aircraft, General Specification, 1992.
- [9] MIL-C-18244A, Amendment 1, Control and Stabilization System: Automatic, Piloted Aircraft, General Specification, 1993.



- [10] Shahian, B. – Hassul, M. *Control System Design using MATLAB®*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- [11] Ogata, K. *Designing Linear Control Systems with MATLAB®*, Prentice-Hall International Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- [12] Ogata, K. *Solving Control Engineering Problems with MATLAB®*, Prentice-Hall International Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- [13] Dorf, R. C. – Bishop, R. H. *Modern Control Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1995.
- [14] *MIL-F-8785C, Notice 2, Flying Qualities of Piloted Airplanes*, 1996.
- [15] Nelson, R. C. *Flight Stability and Control*, McGraw-Hill Companies, Inc., Boston, Massachusetts, Burr Ridge, 1998.
- [16] Dorf, R. C. – Bishop, R. H. *Modern Control Systems*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 2001.
- [17] *Control System Toolbox 5.1 for Use with MATLAB®* (Release 12.1), User's Guide, The MathWorks, Inc., 2001.
- [18] *MATLAB® 6.5 – The Language of Technical Computing*, User's Guide, The MathWorks, Inc., 2002.
- [19] *MIL-STD-1797A, Notice 3, Flying Qualities of Piloted Aircraft*, Department of Defense, Interface Standard, 2004.
- [20] Dr. habil. SZABOLCSI, Róbert – MÉSZÁROS, György: *Computer aided simulation of the random atmospheric turbulences*, Proceedings of the International Conference “Civil Protection”, 14-15 May, 2008, Brno, Czech Republic (in Print).

---

\* Dr. habil., Róbert SZABOLCSI \*Miklós Zrínyi National Defense University, Associate Professor, Director H-1581 Budapest, POB. 15, Hungary Email: [szabolcsi.robort@zmnc.hu](mailto:szabolcsi.robort@zmnc.hu)

\*\* György MÉSZÁROS QualiProx Ltd., Managing Director ,H-8630 Balatonboglár, Móricz Zsigmond Str. 2/a., Hungary, Email: [qprox@externet.hu](mailto:qprox@externet.hu)

## CALCULUL CÂMPULUI MAGNETIC AL UNEI BOBINE DE FORMĂ OARECARE

Dan George Tonț<sup>\*</sup>  
Gabriela Tonț<sup>\*\*</sup>

**Rezumat:** *Lucrarea prezintă un program de calcul numeric pentru câmpul magnetic al unei bobine compusă din spire de formă oarecare plasate într-un mediu liniar, omogen și izotrop.*

### 1. Metoda de calcul

Determinarea pe cale analitică a câmpului magnetic produs de curentul ce străbate o bobină având o geometrie relativ complicată este foarte dificilă sau chiar imposibilă. Pentru calculul câmpului magnetic se aplică metoda directă bazată pe expresia inducției magnetice într-un punct la o anumită distanță de un conductor rectiliniu de lungime finită, filiform și parcurs de un curent. În cazul unei bobine, aceasta se presupune descompusă într-un număr de spire  $N_s$ , iar fiecare spiră se aproximează cu un contur poligonal format din  $N_l$  laturi ca în fig.1.

Mediul fiind liniar, câmpul magnetic într-un punct se obține însumând contribuțiile tuturor laturilor dintr-o spiră și apoi a tuturor spirelor. Pentru însumarea corectă este necesară determinarea componentelor câmpului după axele unui sistem de coordonate.

Inducția magnetică într-un punct situat la distanța  $R$  de latura rectilinie parcursă de curent (fig.2), are expresia:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \quad (1)$$

iar componentele acestea sunt:

$$\begin{aligned} B_x &= B \cos \gamma_x = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cdot \cos \gamma_x \cdot 10^{-7} I \\ B_y &= B \cos \gamma_y = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cdot \cos \gamma_y \cdot 10^{-7} I \\ B_z &= B \cos \gamma_z = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cdot \cos \gamma_z \cdot 10^{-7} I \end{aligned} \quad (2)$$

Notând capetele laturii parcursă de curent cu  $A(x_i, y_i, z_i)$  și  $B(x_j, y_j, z_j)$ , punctul în care se calculează câmpul cu  $P(x, y, z)$  și considerând sensul curentului de la  $A$  spre  $B$ , se pot determina mărimile din relațiile 1, 2 după cum urmează:

$$R = \frac{|\overline{AB} \times \overline{AP}|}{AB} \quad (3)$$

unde  $|\overline{AB} \times \overline{AP}|$  este aria paralelogramului cu laturile AB și AP.

Se notează cu  $\overline{N} = \overline{AB} \times \overline{AP} = N_x \overline{i} + N_y \overline{j} + N_z \overline{k}$  vectorul arie (având direcția și sensul inducției magnetice B), ale cărei proiecții pe axele de coordonate sunt:

$$\begin{aligned} N_x &= (x - x_i) \cdot (y_j - y_i) - (y - y_i) \cdot (z_j - z_i) \\ N_y &= (y - y_i) \cdot (z_j - z_i) - (x_j - x_i) \cdot (z - z_i) \\ N_z &= (z - z_i) \cdot (x_j - x_i) - (x - x_i) \cdot (y_j - y_i) \end{aligned} \quad (4)$$

Având în vedere și expresiile

$$\begin{aligned} AB^2 &= (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2 \\ R_1^2 &= (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \\ R_2^2 &= (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

rezultă:

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2}{AB^2}; \\ \cos \alpha_1 &= \frac{R_1^2 + AB^2 - R_2^2}{2R_1 \cdot AB}; \\ \cos \alpha_2 &= \frac{R_2^2 + AB^2 - R_1^2}{2R_2 \cdot AB} \end{aligned} \quad (6)$$

Cosinușii directori ai inducției magnetice sunt deci:

$$\cos \gamma_x = \frac{N_x}{N}; \quad \cos \gamma_y = \frac{N_y}{N}; \quad \cos \gamma_z = \frac{N_z}{N} \quad (7)$$

unde  $N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2 + N_z^2}$

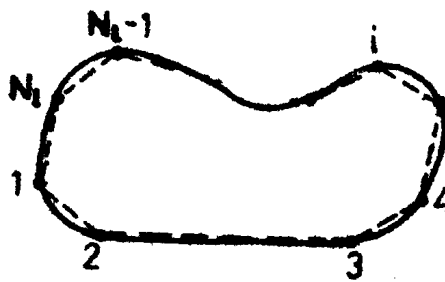


Fig.1

În situația că toate spirele sunt parcurse de același curent  $I/N_s$ , componentele câmpului magnetic rezultat în punctul P se obțin prin efectuarea sumelor

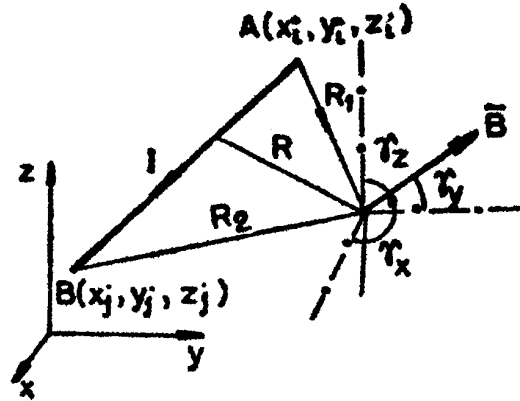


Fig.2

$$\begin{aligned}
 B_{xt} &= \sum_{S=1}^{N_S} \sum_{l=1}^{N_l} \frac{1}{N_S} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_x \cdot 10^{-7} I = F_{xt} \cdot 10^{-7} I \\
 B_{yt} &= \sum_{S=1}^{N_S} \sum_{l=1}^{N_l} \frac{1}{N_S} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_y \cdot 10^{-7} I = F_{yt} \cdot 10^{-7} I \\
 B_{zt} &= \sum_{S=1}^{N_S} \sum_{l=1}^{N_l} \frac{1}{N_S} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_z \cdot 10^{-7} I = F_{zt} \cdot 10^{-7} I
 \end{aligned} \tag{8}$$

iar câmpul rezultat este:

$$B_t = \sqrt{B_{xt}^2 + B_{yt}^2 + B_{zt}^2} = \sqrt{F_{xt}^2 + F_{yt}^2 + F_{zt}^2} \cdot 10^{-7} I \tag{9}$$

## 2. Programul de calcul

Având în vedere diversitatea mare de probleme în care trebuie determinat câmpul magnetic al unei spire parcursă de curent această parte a fost concepută ca un subprogram ce poate fi utilizat în același formă la calculul câmpului magnetic al unor bobine cu diverse configurații. Pentru o bobină dată, programul principal va apela subprogramul pentru fiecare din cele  $N_S$  spire.

Datele de intrare necesare pentru o execuție corectă a programului sunt: numărul de laturi ale unei spire (NL), numărul de spire ale bobinei (NS), numărul punctelor de calcul al câmpului (NP) și coordonatele lor ( $XP_k, YP_k, ZP_k, k=1, NP$ ), precum și coordonatele vârfurilor conturului poligonal ( $X_i, Y_i, Z_i, i=1, NL$ ). Schema logică a programului este dată în fig.3.

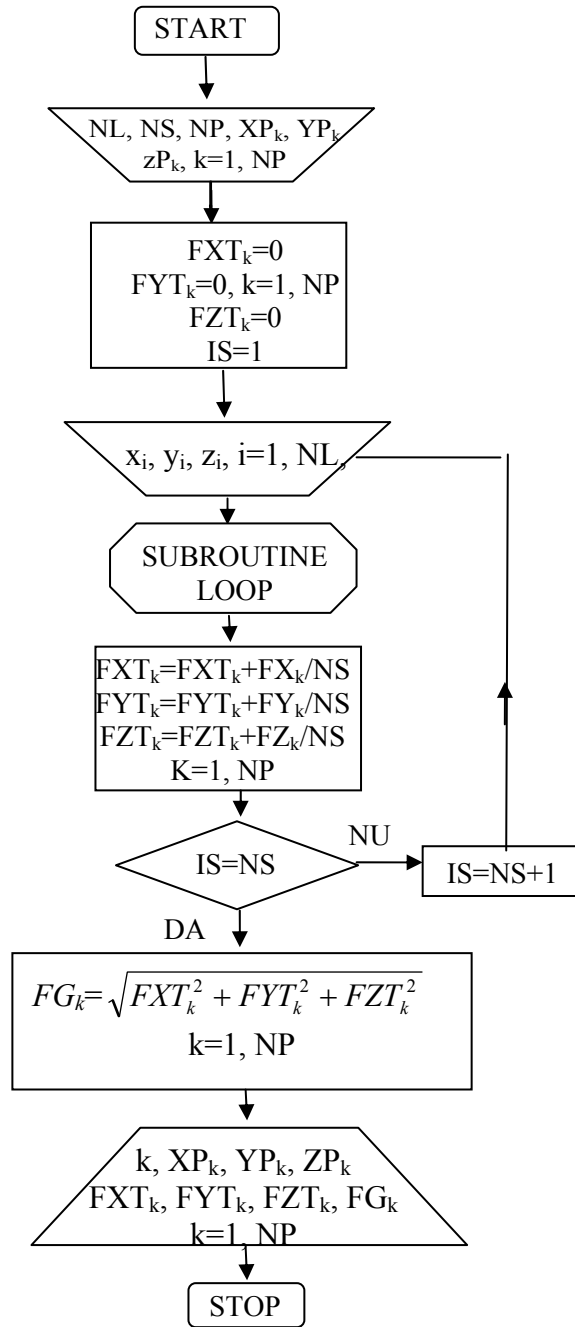


Fig.3

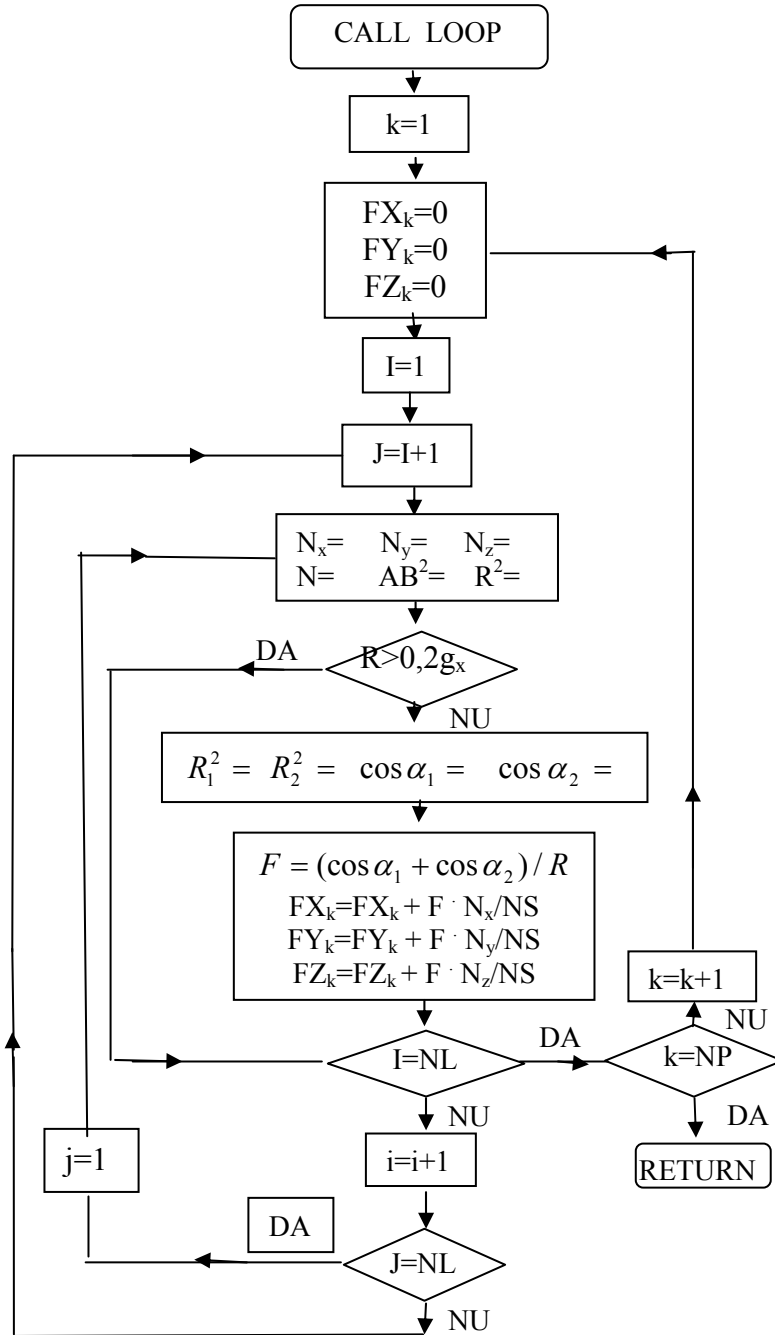


Fig.4

### 2.1. Subprogramul de calcul al câmpului magnetic produs de o spiră

În vederea calculului, este necesară numerotarea ordonată a vârfurilor conturului ca în fig.1. În această situație, latura curentă (fig.2) se definește prin numerele de ordine  $i$  și  $j$  ale capetelor sale, astfel încât pentru toate laturile spirei acestea iau valori din tabelul 1. Schema logică a subprogramului este dată în fig.4.

Tabelul 1

$i$	1	2	3	...	$i$	...	NL-1	NL
$j$	2	3	4	...	$i+1$	...	NL	1

## 2.2. Problema erorilor

Eroarea de calcul a câmpului magnetic cu programul elaborat are două componente:

- eroarea de metodă, datorată numărului finit de laturi ale spirei și a numărului finit de spire. Această eroare este cu atât mai mică cu cât  $N_1$  și  $N_S$  se iau mai mari.
- eroarea de rotunjire introdusă de sistemul de calcul, eroare proporțională cu numărul de operații necesare pentru calculul valorii câmpului într-un punct. Dacă pentru câmpul dat de o latură de spirală sunt necesare  $n$  operații, atunci numărul total de operații va fi  $n \cdot N_1 \cdot N_S$ .

Având în vedere și timpul de calcul, care pentru valori mari ale lui  $N_1$  și  $N_S$  poate deveni inacceptabil de mare, se impune găsirea unor valori reduse ale acestora care să asigure totuși precizia dorită. Rezolvarea riguroasă a acestei probleme fiind imposibilă la o bobină de formă oarecare, s-a căutat să se stabilească niște condiții acoperitoare ale lui  $N_1$  și  $N_S$ , rezultate din rezolvarea a două probleme cu o soluție exactă cunoscută și care se prezintă în continuare.

### Bibliografie

1. BRECHNA, H., *Superconducting Magnet Systems*, Springer Verlag, 1983.
2. IONESCU, G., *Măsurări și transductoare*, EDP, București, 1985.
3. LUNGU, I., VELICANU, M., BODEA, C., IONIȚĂ C., *Sisteme de gestiune a bazelor de date*, All Educational, București, 1998.
4. MANOLESCU, P., GOLOVANOV, I. C., *Măsurări electrice și electronice*, EDP, București, 1980.
5. MILLEA, A., *Măsurări electrice, principii și metode*, Ed. Tehnică, București, 1989.
6. MUNTEANU R., *Electrotehnică și convertoare energetice*, Ed. Mediamira, 1997, Cluj Napoca.
7. ȘORA, C., *Bazele electrotehnicii*, EDP, București, 1982.

---

\* Dan George Tonț, prof. univ. dr. ing., Universitatea din Oradea, Facultatea de Inginerie electrică și Tehnologia Informației, e-mail: [dtont@uoradea.ro](mailto:dtont@uoradea.ro),

\*\* Gabriela Tonț, conf. dr. ing., Universitatea din Oradea, Facultatea de Inginerie electrică și Tehnologia Informației, e-mail: [gtont@uoradea.ro](mailto:gtont@uoradea.ro),



## CALCULUL CÂMPULUI MAGNETIC AL UNEI PERECHI DE BOBINE CIRCULARE ȘI AL UNEI BARE RECTILINII PARCURSĂ DE CURENT

Dan George Tonț<sup>\*</sup>  
Gabriela Tonț<sup>\*\*</sup>

### 1. Câmpul magnetic al unei perechi de bobine circulare (Helmholtz)

Bobinele Helmholtz constă din două înfășurări circulare de rază medie  $a$  situate la distanța  $2d=a$  (fig.1 și fig.2). Ele se folosesc pentru realizarea unor câmpuri magnetice de mare uniformitate în zona centrală și ca etalon de câmp magnetic. Pentru acest caz, coordonatele vârfurilor conturului poligonal al spirelor de calcul se generează în program, aceasta fiind mai comod decât introducerea lor ca date de intrare. Conform fig.5 și fig.6 coordonatele conturului poligonal regulat al spirei curente sunt:

$$\begin{aligned} x_i &= a \cos(i-1)u \\ y_i &= a \sin(i-1)u \quad \text{unde } u=2\pi/N_l \\ z_i &= \pm d \end{aligned} \quad (1)$$

Pentru a îmbunătăți precizia de calcul, vârfurile spirei poligonale ce aproximează spira circulară de rază,  $a$ , s-au considerat plasate pe un cerc de rază  $f_c \cdot a$  (fig.3). Factorul de corecție  $f_c$  se determină din condiția că în centrul spirei, conturul poligonal și spira circulară să dea același câmp. Rezultă:  $f_c = \frac{2}{u} \cdot \operatorname{tg} \frac{u}{2}$ .

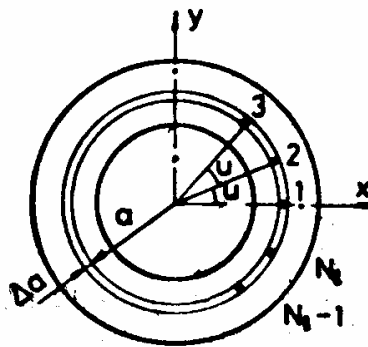


Fig.1

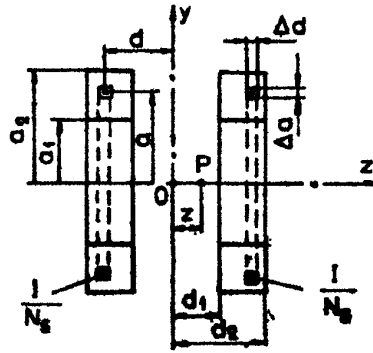


Fig.2

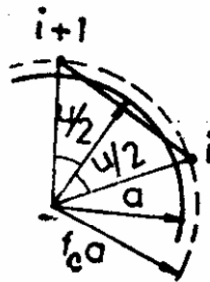


Fig.3

Numărul de spire al unei bobine este  $N_S = M \cdot N$  unde

$M = (d_2 - d_1) / \Delta d$  - număr de spire pe strat

$N = (a_2 - a_1) / \Delta a$  - număr de straturi.

Soluția exactă a câmpului într-un punct  $P(0, 0, z)$  de pe axa  $oz$ , rezultă trecând la limită pentru  $\Delta a$  și  $\Delta d$  foarte mici. Efectuând calculele se obține:

$$B_{zex} = F_{gex} \cdot 10^{-7} I \quad (2)$$

unde factorul  $F_{gex}$  are expresia:

$$F_{gex} = \frac{2\pi}{S} \left[ (d_2 + z) \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + (d_2 + z)^2}}{a_1 + \sqrt{a_1^2 + (d_2 + z)^2}} + (d_2 - z) \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + (d_2 - z)^2}}{a_1 + \sqrt{a_1^2 + (d_2 - z)^2}} - \right. \\ \left. - (d_1 + z) \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + (d_1 + z)^2}}{a_1 + \sqrt{a_1^2 + (d_1 + z)^2}} - (d_1 - z) \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + (d_1 - z)^2}}{a_1 + \sqrt{a_1^2 + (d_1 - z)^2}} \right] \quad (3)$$

iar  $S = (a_2 - a_1)(d_2 - d_1)$

Pentru puncte din zona centrală a planului  $xoz$ , componente-le câmpului se pot determina cu relațiile:

$$B_{xw} = F_{xw} \cdot 10^{-7} I$$

$$B_{zw} = F_{zw} \cdot 10^{-7} I \quad (4)$$

unde

$$F_{xw} = \frac{x \cdot z}{R^5} \left[ -0,00719(31\xi^2 - 36\eta^2) + 0,51792(4z^2 - 3x^2) + \dots \right] \quad (5)$$

$$F_{zw} = \frac{4\pi \cdot 0,71553}{R} \left[ 1 - \frac{\xi^2}{60R^4} + \frac{0,008}{R^4} (31\xi^2 - 36\eta^2)(2z^2 - x^2) - \frac{0,144}{R^4} (8z^4 - 24z^2x^2 + 3x^4) + \dots \right] \quad (5')$$

iar  $R = \frac{a_1 + a_2}{2}$ ,  $\xi = a_2 - a_1$ ,  $\eta = d_2 - d_1$

Considerând dimensiunile  $R=0,5\text{m}$ ,  $d=0,25\text{m}$ ,  $\xi=0,04\text{m}$  și  $\eta=0,02\text{m}$ , s-a calculat câmpul magnetic pentru diferite variante ale numerelor  $N_1$  și  $N_5$  rezultatele fiind date parțial în tabelul 1.

Din rezultatele calculului se desprind următoarele concluzii:

- în puncte situate pe axa de simetrie a bobinelor, la toate variantele considerate,

eroarea  $\varepsilon_1 = \frac{F_z - F_{gex}}{F_{gex}} 100$  nu depășește valoarea de 0,02%,

$$(F_z = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cdot \cos \gamma_z).$$

- Relațiile (5) sunt suficient de exacte numai pentru puncte situate în jurul originii.

Astfel eroarea  $\varepsilon_2 = \frac{F_{zw} - F_z}{F_z} 100$  rămâne sub valoarea 0,2% pentru  $x \leq 0,2$  și  $z \leq 0,1$

$$\left( -\frac{x}{R} \leq 0,4; \frac{z}{d} \leq 0,4 \right)$$

Pentru puncte situate la distanțe apropiate de  $R$ , eroarea  $\varepsilon_2$  este foarte mare, fiind necesar ca în rel.5 să se ia în considerare mai mulți termeni ai seriei.

Tabelul 1

X [m]	Z [m]	$F_z$					$F_{zx}$	$F_{gex}$
0	0	17,9834	17,9816	17,9817	17,9815	17,9816	17,9813	17,9828
0	0,1	17,9517	17,9514	17,9514	17,9513	17,9514	17,9498	17,9518
0	0,2	17,5407	17,5430	17,5430	17,5429	17,5429	17,4574	17,5424
0	0,3	16,2051	16,2079	17,2079	16,2078	16,2078	15,3110	16,2078
0	0,4	13,8908	13,8916	13,8916	13,8915	13,8915	9,5216	13,8891
0	0,5	11,1365	11,1352	11,1352	11,1352	11,1352	-2,6948	11,1367
0,1	0,1	18,0355	18,0348	18,0348	18,0347	18,0347	18,036	-
0,2	0,2	18,7052	18,7113	18,7113	18,7111	18,7111	18,8563	-
0,2	0,4	14,3162	14,3159	14,3160	14,3159	14,3159	15,6837	-
0,4	0,4	13,2688	13,2333	13,2335	13,2335	13,2337	31,7832	-
$N_s$		1	8	8	32	32		
N		24	24	48	24	48		

## 2. Calcul câmpului magnetic al unei bare rectilinii parcursă de un curent

S-a considerat o bară rectilinie de lungime mare parcursă de un curent uniform repartizat pe secțiunea ei dreptunghiulară. Prin abordarea acestei probleme, s-a urmărit să se estimeze numărul cât mai redus de spire de calcul necesare pentru o anumită precizie, în cazul unei bobine masive. Bara fiind rectilinie calculul se poate face în plan, dar programul elaborat nu se poate utiliza din cauza lungimii infinite a barei. Folosind însă aceeași metodă de

superpoziție, rezultatele obținute aici cu privire la erori se pot extrapola și pentru programul general de calcul.

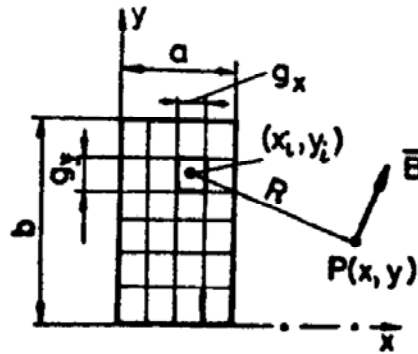


Fig.4

Bara cu secțiune dreptunghiulară din fig.4 se descompune într-un număr  $N_s$  de bare elementare cu secțiunea  $g_x \cdot g_y$ , astfel încât  $S = a \cdot b = N_s \cdot g_x \cdot g_y$ .

Inducția magnetică în punctul  $P(x, y)$  dată de bara curentă  $(x_i, y_i)$  este:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R \cdot N_s} \quad (6)$$

unde  $I$  este curentul total din bară. Componentele câmpului după axele  $x$  și  $y$  sunt:

$$B_x = \frac{2}{N_s} \cdot \frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} 10^{-7} I = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_x \cdot 10^{-7} I$$

$$B_y = \frac{2}{N_s} \cdot \frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} 10^{-7} I = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_y \cdot 10^{-7} I \quad (7)$$

Însumând pentru cele  $N$  bare se obține câmpul total:

$$B_{xt} = \sum_1^{N_s} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_x \cdot 10^{-7} I = F_{xt} \cdot 10^{-7} I$$

$$B_{yt} = \sum_1^{N_s} \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cos \gamma_y \cdot 10^{-7} I = F_{yt} \cdot 10^{-7} I \quad (8)$$

Expresia exactă a câmpului se obține trecând la limită pentru  $g_x$  și  $g_y$  foarte mici și rezultă

$$B_{xex} = \frac{1}{a \cdot b} \cdot \mathfrak{F}_x(x, y) \cdot 10^{-7} I = F_{xex} \cdot 10^{-7} I$$

$$B_{yex} = \frac{1}{a \cdot b} \cdot \mathfrak{F}_y(x, y) \cdot 10^{-7} I = F_{yex} \cdot 10^{-7} I \quad (9)$$

unde:

$$\mathfrak{F}_x(x, y) = (x - a) \ln \frac{(x - a)^2 + y^2}{(x - a)^2 + (y - b)^2} + x \ln \frac{x^2 + (y - b)^2}{x^2 + y^2} +$$

$$+ 2y \cdot \arctg \frac{-ay}{y^2 + x(x - a)} + 2(y - b) \arctg \frac{a(y - b)}{(y - b)^2 + x(x - a)} +$$

$$+ 2(y - b) \arctg \frac{a(y - b)}{(y - b)^2 + x(x - a)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{F}_y(x, y) = & (y-b) \ln \frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{x^2 + (y-b)^2} + y \ln \frac{x^2 + y^2}{(x-a)^2 + y^2} + \\ & + 2x \cdot \operatorname{arctg} \frac{bx}{x^2 + y(y-b)} + 2(x-a) \operatorname{arctg} \frac{-b(x-a)}{(x-a)^2 + y(y-b)} \end{aligned} \quad (10')$$

În tabelul 2 se dau parțial rezultatele calcului aproximativ pentru mai multe variante de împărțire a secțiunii transversale a unei bare pătrate (0,4 x 0,4m<sup>2</sup>) și ale calculului exact în câteva puncte din exteriorul barei parcursă de curent, puncte situate pe axa y=b/2=0,2m.

Tabelul 2

y [m]	x[m]	F <sub>y</sub>						F <sub>y ex</sub>
0,2	0,4	10,000	8,3336	8,4970	8,5296	8,5514	8,5785	8,6600
0,2	0,401	9,9502	8,3250	8,4879	8,5203	8,5418	8,5684	8,6324
0,2	0,402	9,9009	8,3155	8,4769	8,5085	8,5293	8,5547	8,6049
0,2	0,403	9,8522	8,3051	8,4641	8,4947	8,5146	8,5383	8,5774
0,2	0,405	9,7561	8,2816	8,4342	8,4621	8,479	8,499	8,5229
0,2	0,41	9,5238	8,2105	8,3404	8,3602			8,3882
0,2	0,415	9,3023	8,1254	8,2305				8,2561
0,2	0,425	8,8888	7,9290	7,9921				7,9995
0,2	0,44	8,3333						7,6332
0,2	0,48	7,1428						6,7634
0,2	0,55	5,7142						5,5710
0,2	0,70	4,0000						3,9735
N <sub>s</sub>		1	16	64	100	144	256	

Din analiza rezultatelor prezentate parțial în tabelul 2 se constată că se obține o eroare  $\varepsilon = \frac{F_y - F_{y ex}}{F_{y ex}} 100 < 1\%$ , ( $F_y = \frac{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2}{R} \cdot \cos \gamma_y$ ) pentru puncte situate la distanța

$$d_p = x - a \geq \sqrt{g_x g_y / N_s} \quad (11)$$

Pentru puncte situate chiar pe suprafața laturii de bobină ( $d_p=0$ ), calculul este suficient de exact ( $\varepsilon < 1,5\%$ ) pentru  $N_s > 100$ .

De aici rezultă recomandarea că atunci când numărul punctelor în care se calculează câmpul este mare, calculul să se facă separat pentru punctele foarte apropiate de bară (când  $N_s$  se ia mare) și separat pentru punctele situate la distanțe  $d_p$  comparabile cu grosimea barei (când  $N_s$  ia valori mici pentru aceeași precizie).

Concluziile obținute pentru bara de lungime mare se pot extrapola pentru o bobină formată din mai multe laturi rectilinii de lungime finită dacă aceasta se descompune în spire elementare astfel încât latura cea mai apropiată de punctul de calcul să respecte condițiile referitoare la precizie. În acest caz, contribuția celorlalte laturi situate la distanțe mai mari va fi determinată cu o precizie și mai bună.

### 3. Concluzii

Programul elaborat permite calculul câmpului magnetic al unei bobine cu formă oarecare. Este evident faptul că utilizarea lui este mai avantajoasă pentru configurații cu laturi

de bobină de formă rectilinie, caz în care scade timpul de calcul ( $N_l$  rezultă foarte mic), iar soluția aproximativă poate deveni chiar exactă.

Programul nu poate fi folosit dacă nu se cunoaște repartiția de curent pe secțiunea transversală a bobinei, ca de exemplu în regim variabil cu luarea în considerare a efectului pelicular.

Dacă se pune problema calculului câmpului magnetic în interiorul laturii de bobină există două posibilități de descompunere în spire elementare și anume:

- punctul în care se calculează câmpul se situează între două laturi de spirală;
- acest punct să fie pe axa secțiunii transversale a laturii de spirală.

În ultimul caz latura respectivă trebuie eliminată din calcul (deoarece  $R=0$ , iar câmpul corespunzător ei este nul în axa laturii din spirală). Programul de calcul se poate aplica în ambele situații dar se recomandă a doua variantă, caz în care numărul de spire  $N_s$  rezultă mai mic, având în vedere  $d_p \geq g/2$ , unde  $g$  este cel mai mic dintre  $g_x$  și  $g_y$ .

#### 4. Bibliografie

1. Brechna, H., *Superconducting Magnet Systems*, Springer Verlag, 1983.
2. Ionescu, G., *Măsurări și traductoare*, EDP, București, 1985.
3. Lungu, I., Velicanu, M., Bodea, C., Ioniță C., *Sisteme de gestiune a bazelor de date*, All Educational, București, 1998.
4. Manolescu, P., Golovanov, I. C., *Măsurări electrice și electronice*, EDP, București, 1980.
5. Millea, A., *Măsurări electrice, principii și metode*, Ed. Tehnică, București, 1989.
6. Munteanu R., *Electrotehnică și convertoare energetice*, Ed. Mediamira, 1997, Cluj Napoca.
7. Șora, C., *Bazele electrotehnicii*, EDP, București, 1982.

---

\* Dan George Tonț, prof. univ. dr. ing., Universitatea din Oradea, Facultatea de Inginerie electrică și Tehnologia Informației, e-mail: [dtont@uoradea.ro](mailto:dtont@uoradea.ro),

\*\* Gabriela Tonț, conf. dr. ing., Universitatea din Oradea, Facultatea de Inginerie electrică și Tehnologia Informației, e-mail: [gtont@uoradea.ro](mailto:gtont@uoradea.ro),

## MIXING SIGNAL PROCESSING AND DYNAMICAL SYSTEMS IN RESEARCH

Felix Totir\*  
Bebe Ionaşcu\*\*  
Ştefan Popa\*\*\*

*Abstract: The most obvious rapprochement between the areas of signal processing and that of dynamical systems is their very fundamental interest: the analysis, prediction and control of real world physical systems, either natural or man-made. This occurred at the level of analysis and modeling tools, either research area borrowing with great ease methods and concepts from another. This paper reviews several such convincing examples. The question of the chaotic systems is also addressed. While already used in large bandwidth communications, their influence is shown to be extendable even further. On this line, their use in sea electromagnetic echo is presented.*

### Chapter I - Introduction

A relatively large number of physical systems, either natural or man-made, are studied under two paradigms: either in the traditional and reductionist way, either from a holistic, systemic perspective. Usually, the classical signal processing (SP) techniques, aimed at extracting pieces of information about the analyzed system (or signal) falls in the first category. This is not to say that the two domains are dichotomic. At the contrary, they strongly interfere, by the very nature of their object of study.

Many often encountered systems which may be analyzed and modeled under a systemic paradigm are nonlinear and a part of them are even chaotic ones. One could enumerate: the meteorological phenomena, the eco-systems, the social and economical systems, the financial markets, several electronic circuits (like oscillators), chemical reactions, and communications and urban/highway traffic etc.

Many of these may be very easily modeled by using a dynamical system (DS) perspective. On the other hand, their analysis using the classical reductionist analysis tools may become overwhelming.



Another common point of dynamical systems and signal processing techniques lies in the study of nonlinearity. The latter benefits of an increasing interest from researchers in signal processing area, allegedly being the “buzzword of the day”. It is its considerable modeling power, which may be applicable to even very complex systems, which justifies this research trend, despite the underlying difficulties. On the other hand, the dynamical systems had assumed, for many years now, hypothesis of nonlinear behaviors in their studies. As such, is very appealing and it should be easy for signal processing researchers to benefit of this existing expertise.

One such example, where nonlinearity is not only assumed and intensely studied, but is also a prerequisite, is the study of chaotic systems. The chaotic systems are either discrete or continuous time dynamical (whose state is time-varying) systems which exhibits apparent disorder, similar to randomness, while still remaining completely deterministic. In fact, the proper sense of the term “chaotic” should be read as “extreme dependence of initial conditions”. The figures representing such systems often have very interesting and complicated shapes, widely known as “strange attractors”, most of them being, in fact, fractals.

The sensitivity to the initial conditions translates in increasing divergence in system evolution. After  $n$  steps, this divergence is assumed to bind to an exponential model:

$$f^n(x + \varepsilon) - f^n(x) = \varepsilon \exp(n\lambda) \quad (1)$$

where  $\lambda$  is the Lyapunov exponent. This quantity is positive for chaotic systems.

Some chaotic models, as will be shown, already made their way into traditional signal processing areas, such as in radar noise modeling. However, they remain a relatively new concept for signal processing researchers. Good introductory works are, by example, [1] and [2].

## Chapter II – Applying DS knowledge to SP

One of the first breakthroughs of the DS theory into a domain traditionally belonging to the signal processing area is the proposed use of chaotic models for the high-resolution, low grazing angle sea clutter returns [3], in the case of coastal maritime surveillance radars. While still subject to discussions and not fully accepted by the scientific community, the subject is of great importance nonetheless.

The traditional ways of doing with sea clutter and the degradation of target detection are by use of Neyman-Pearson or Bayesian hypothesis testing criteria. They require the probability distribution of noise amplitude (and of the target echo) to be properly modeled. While for target echo a number of models have been defined, notably the Swerling models [4], the noise was generally accepted as white and Gaussian.

The problem is that, for large bandwidth radars and for low grazing angles, the Gaussian hypothesis is far from true. This misassumption greatly penalized the detection performance of the first large bandwidth coastal radars, despite the higher resolution leading to a better SNR.

Different others probability density functions have been proposed for the sea clutter amplitude, serious candidates being Weibull [5], lognormal [6] or K-compound [7]. However, all of them failed to achieve general consensus. More, the estimation of their underlying parameters is often tedious.

In this context, supported by results obtained while analyzing the published IPIX-Dartmouth [8] radar dataset, professor Haykin made the hypothesis of an underlying purely deterministic, albeit chaotic, model of the sea clutter. His first results [3] were encouragingly, showing sea clutter exhibiting some well-known characteristics of dynamical systems, such as positive Lyapunov exponent and a fractal dimension.

However, the presented results were questioned, when a number of publications [9] shown their ambiguity. The main source of confusion lied in the very similar behavior that some particular purely random (i.e. stochastic, not chaotic) processes exhibit. It is the case of  $1/f$  processes, whose spectral density is:

$$s(f) = f^{-(2H+1)} \quad (2)$$

where  $H \in (0,1)$  is the Hurst parameter.

While the outcome is still debatable in terms of theoretical soundness, other scientists [10] developed Haykin's original idea, by proposing a new kind of chaotic model:

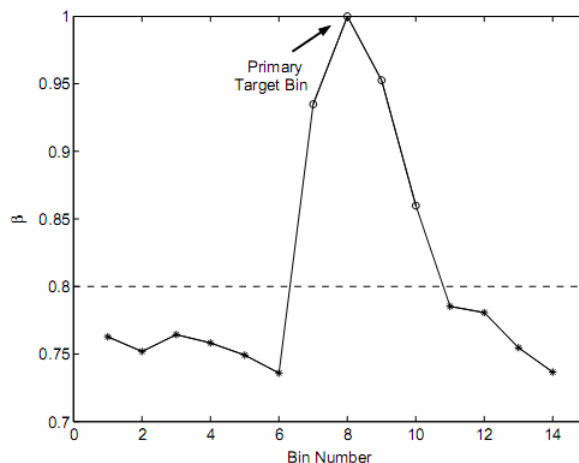
$$\xi(t) = \lim_{\Delta x(0) \rightarrow 0} \frac{\Delta x(t)}{\Delta x(0)} = \left[ 1 + (1-q) \lambda_q t \right]^{\frac{1}{1-q}} \quad (3)$$

which is a generalization of (1).

The latter paper shown surprisingly good results in terms of naval target detection, based on the different values that  $\beta = (1-q)^{-1}$  in the presence or absence of a target (see Figure 1). Values between 0.8 and 1 indicate that a target is present in the analyzed resolution cell.

Another interesting and very useful application of methods originating in the DS field is presented in [11]. This time, one of the most central concepts of the signal processing is put under the loupe: the stationarity.

This concept, while mathematically formalized in a rigorous way, is largely interpretable in the framework of a particular application.



**Figure 1: Values of  $\beta$  for 14 range resolution cells; the higher values denotes presence of target**

By example, when random processes are considered, stationarity stands for temporal invariance of signal's statistics. On the other hand, when deterministic signals are studied, signal's stationarity means the invariance of its spectral properties. Finally, claiming that a signal is stationary or not is only pertinent with respect to a particular interval of time or frequencies, the pertinence of which depends on the problem at hand. This "localization" clearly contradicts with the permanence notion associated with the stationarity concept. The same signal may appear as stationary or not, function of the length of analyzing interval which, basically, defines the scale at which the signal is studied.

In an intuitive way, for a given average spectrum, a stationary signal should present no temporal structure, i.e. no predictability. This should manifest for stationary signals only, in the phase of their spectra.

Based on this observation, a mathematical, albeit practical, definition of stationarity may be given. It uses the notion of *surrogates*, which are signals having the same power spectrum as the original signal, but are stationarized. This is achieved by replacing the phase

of original signal's spectrum by a random phase, completely destroying its temporal structure (see Figure 2). A time-frequency representation shows a completely dispersed spectral content (see Figure 3).

The concept of surrogates originates in the field of DS, being a tool for testing the nonlinearity [12] and the chaoticity [13].

As acknowledged, the surrogates are stationary signals, having the same spectrum amplitude as the original signal, but their spectrum phase is noise. The original signal is then compared against its surrogates. To compare, several tools may be used: the Kullback-Leiber and the log-spectral divergences [11], neural networks, SVM etc.

The results of this procedure are shown in ... (for amplitude-modulated noise and for a frequency sinusoidal modulated deterministic signal) on three scales: macro (upper), medium (middle) and micro (lower). The first and the third are identified as stationary, while the middle one is not.

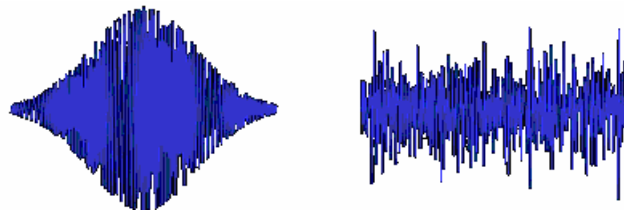


Figure 2: A signal with sinusoidal frequency modulation (left) and one of its substitutes

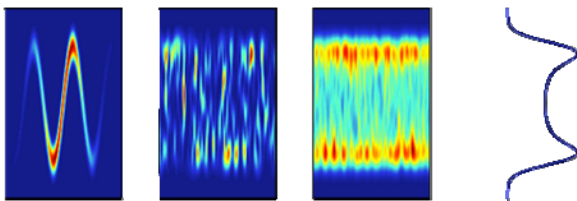


Figure 3: Spectrograms of the original signal, a surrogate, and the mean over multiple surrogates and the spectrum

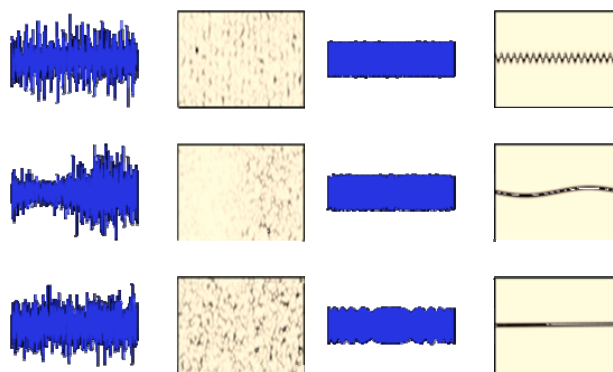


Figure 4: Samples and spectrograms of amplitude modulated noise (left) and frequency sinusoidal modulated signal

### Chapter III – Applying SP knowledge to DS

Most of the usual signal processing techniques quickly find their application in the DS domain, as they are valuable information extraction and characterization tools. At the very basic level, there are the purely mathematic ones, such as ARMA modeling, PCA, ICA etc.

On a higher level, more specific techniques are used, such as the spectral and spectrogram representation methods. An illustrative application is presented in [14], showing the analysis of a Duffing oscillator's impulse response. The author prefers these tools instead

of the more traditional “bone curves” because they clearly give the information concerning the evolution of the system in time.

A remarkable contribution of time-frequency (and, generally speaking, signal processing) methods is in distinguishing between a chaotic and a random system. In fact, this remains an open issue for the scientific community and there is not any absolute reliable criterion.

A possible use of time-frequency representation has been presented recently by [15], exploiting one fundamental characteristic of deterministic chaotic systems: the approximate (but not identical) recurrence of their behavior and sequence of states.

While the recurrences and their occurrences remain unpredictable, it is possible to average their time-frequency representations, thus filtering out the measurement noise and the intrinsic instability of the system, while enhancing the common, deterministic part.

The first step is to identify these recurrences. A method specific to the DS, the *time delay embedding* [15] is used for this purpose. Its central idea is that the evolution of all parameters of a dynamical system may be approximated by a temporal embedding of just only one known parameter. This translates in constructing the following vectors:

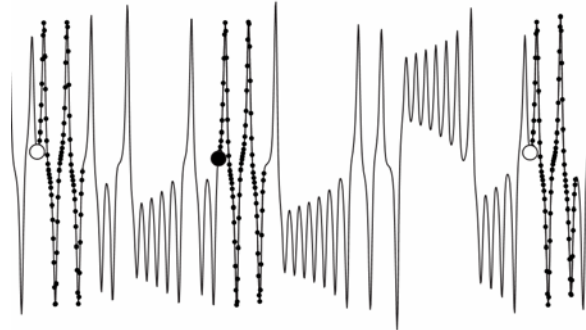
$$\mathbf{z}_n = [z_n, z_{n+\tau}, z_{n+2\tau}, \dots, z_{n+(d-1)\tau}]^T \quad (4)$$

where  $d$  is the embedding dimension and  $\tau$  is the delay value, and  $z_0, z_1, \dots$  are the values of the known parameter.

The neighborhood of radius  $\varepsilon$  of  $\mathbf{z}_n$  is defined as:

$$\mathbf{N}_n = \text{def} \{ \mathbf{z}_k : \|\mathbf{z}_k - \mathbf{z}_n\| < \varepsilon, 1 \leq k \leq L - (d-1)\tau \} \quad (5)$$

Figure 5 shows an example for the state  $x$  of the chaotic Lorenz attractor of parameters (10, 28, 8/3). The black points are the samples between the extreme elements of vector (4), which starts, each time, in the reference point or in one of its neighbours.



**Figure 5: The reference point (black disk) and two of its neighbours (white disks), along with the associated embedded vectors (black points)**

These samples (marked with black points) form the vectors:

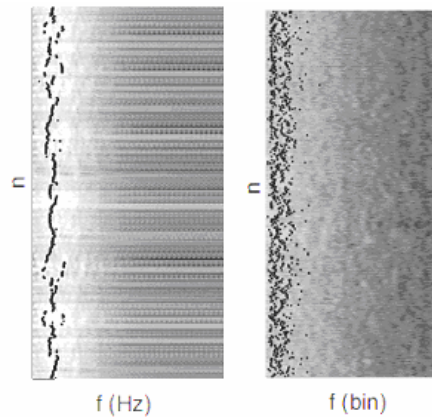
$$\mathbf{s}_n = \text{def} [z_n, z_{n+1}, z_{n+2}, \dots, z_{n+(d-1)\tau}]^T \quad (6)$$

Intuitively, the Figure 5 shows that the waveforms  $\mathbf{s}_n$  occur irregularly, but they are somehow similar. For each neighborhood  $\mathbf{N}_n$ , the matrix  $\mathbf{D}_n = [\mathbf{x}_{k_1}, \mathbf{x}_{k_2}, \dots, \mathbf{x}_{k_N}]$  where  $\mathbf{x}_{k_i} = \mathbf{s}_{k_i} - \overline{\mathbf{s}_n}$  is defined. Then, the covariance matrix is computed:  $\mathbf{C}_n = N^{-1} \mathbf{D}_n \mathbf{D}_n^T$  whose eigenvalues are  $\lambda_i$  and corresponding eigenvectors are  $\mathbf{u}_i$ . The Neighbourhood-based Spectral Estimator is then computed as:

$$P_{NSE}(\omega) = \frac{1}{L_w} \sum_{i=1}^{L_w} \lambda_i |V_i(\omega)|^2 \quad (7)$$

where  $V_i(\omega)$  is the Fourier transform of  $\mathbf{u}_i$ .

When the reference point is varied in time, successive representation of spectra (7) forms the NSE time-frequency representation. An example is shown in Figure 6 (left). The black points show the highest-amplitude frequency (the spectral mode) at a given time bin. Compared with the same representation, but of a random process (right), the one corresponding to the chaotic system exhibits short, but continuous, albeit irregular, lines of local maxima.



**Figure 6: NSE time-frequency representations for a chaotic (left) and random (right) process, along with the mode frequencies**

These characteristics may help in distinguishing between a chaotic and a random process, respectively.

#### Chapter IV – Conclusions and perspectives

The techniques and the concepts exposed in the paper have only an illustrative purpose. One could easily imagine that the possible applications are almost countless and that the perspectives are widely open.

The interactions between DS and SP domains are strong and are becoming stronger. While it is not realistic to imagine the future of this research axis, some major arising opportunities are summarized below:

1. Greatly extend the range of studied systems, by including meteorological phenomena, sea clutter, chemical reactions etc.;
2. Making use of the expertise already available in DS when it comes to complex systems and their behavior, and particularly the focus on nonlinearity;
3. Taking advantage of the power of DS as a modeling tool: while simple systems may exhibit astonishing complex and unpredictable behavior and, reversely, quite complex systems may find simple-to-interpret DS models;
4. The possibility to apply deterministic, although chaotic models, to phenomena traditionally considered as random.

#### Acknowledgments

This work was supported by the French Ministry of Foreign Affairs/EGIDE, under the grant ECO-NET 2007, by Office of Naval Research Global under grant number N00014-08-1-1074, and by the North Atlantic Treaty Organization, under the grant EAP.RIG.982933.

## References

- [1] D. K. Campbell, *Nonlinear science from paradigms to practicalities*, Los Alamos (Special Issue), pp. 218-262, 1987.
- [2] J. Palis, *A view on chaotic dynamical systems*, in *Brazilian Journal of Physics*, vol 24, no. 4, December 1994.
- [3] S. Haykin, S. Puthusserypady, *Chaotic dynamics of sea clutter*, in *Chaos*, no. 7, pp. 777-802, 1997.
- [4] P. Swerling, *Detection of fluctuating pulsed signals in the presence of noise*, IRE Trans. on Inform. Theory, IT-3, pp. 175-178, Sept. 1957.
- [5] F. A. Fay, J. Clarke, R. S. Peters, *Weibull distribution applied to sea-clutter*, in *Proc. IEE Conf. Radar'77*, pp. 101–103, London, UK, 1977.
- [6] H. C. Chan, *Radar sea-clutter at low grazing angles*, in *Proc. Inst. Elect. Eng. F137*, pp. 102–112, 1990.
- [7] E. Jakeman, P. N. Pusey, *A model for non-Rayleigh sea echo*, in *IEEE Trans. Antennas Propagation* 24, pp. 806–814, 1976.
- [8] <http://soma.crl.mcmaster.ca/ipix/>
- [9] C. P. Unsworth, M. R. Cowper, S. McLaughlin, B. Mulgrew, *False detection of chaotic behavior in the stochastic compound k-distribution model of radar sea clutter*, *Proc. 10th IEEE Workshop on SSAP*, pp. 296-300, August 2000.
- [10] J. Hu, J. Gao, K. Yao, *Power-law sensitivity to initial conditions in sea clutter*, in *Radar Conference, 2005 IEEE International Volume, Issue 9-12*, pp. 956 – 961, doi: 10.1109/RADAR.2005.1435965, May 2005.
- [11] J. Xiao, P. Borgnat, P. Flandrin, *Testing stationarity with time-frequency surrogates*, in *Proceedings of EUSIPCO 2007*, pp. 2020-2024, Poznan (Poland), 2007.
- [12] T. Schreiber, A. Schmitz, *Improved surrogate data for non-linearity tests*, in *Physics Revue Letters*, vol. 77, no. 4, pp. 635-638, 1996.
- [13] M. Small, R. G. Harrison, C. K. Tse, *A surrogate test for pseudo-periodic time-series data*, in *American Institute of Physics Proceedings of Experimental Chaos: 6th Experimental Chaos Conference*, vol. 622, pp. 190-198, 2002.
- [14] S. Braun, M. Feldman, *Time-frequency characteristics of non-linear systems*, in *Mechanical Systems and Signal Processing*, nr. 11, vol. 4, pp. 611-620, 1997.
- [15] J. Sun, Y. Zhao, T. Nakamura, M. Small, *From phase space to frequency domain: A time-frequency analysis for chaotic time series*, in *Physical Review E* 76 (article 016220), doi : 10.1103/PhysRevE.76.016220, 2007.

---

\* Felix Totir, CS III dr.ing., Military Equipment and Technologies Research Agency, Bucharest, 16, Aeroportului street, 077060 Clinceni, Romania, phone: 0214233058, email: ftotir@acttm.ro

\*\* Bebe Ionaşcu, CS ing., Military Equipment and Technologies Research Agency, Bucharest, 16, Aeroportului street, 077060 Clinceni, Romania, phone: 0214233058, email: bionascu@acttm.ro

\*\*\* Ştefan Popa, CS ing., Military Equipment and Technologies Research Agency, Bucharest, 16, Aeroportului street, 077060 Clinceni, Romania, phone: 0214233058, email: spopa@acttm.ro



## THE DIFFERENCE RATIONAL EQUATION. SOLUTIONS CONVERGING TO ZERO

Gheorghe ANTON\*  
Gheorghe RADU\*\*

### Abstract:

*The aim of this note is to show that the following difference equation:*

$$x_{n+1} = \alpha + \frac{x_{n-k}}{\sum_{i=0}^{k-1} c_i x_{n-i}}, \quad n=0,1,\dots, \text{ has solutions which monotonically converge to zero. This}$$

*result shows the existence of such solutions which were not shown in the recent papers.*

**Key words:** *Convergence to zero, Difference equations, Positive nonoscillatory solutions.*  
**2000 Mathematics Subject Classification:** 39A10.

### 1. INTRODUCTION

In [4] the author investigates the behavior of solutions of the difference equation

$$x_{n+1} = \alpha + \frac{x_{n-1}}{x_n}; \quad n = 0, 1, \dots, \quad (1)$$

where  $\alpha < -1$ . The case  $\alpha > 0$  was considered in [1] and a generalization of Eq. (1) was considered in [6]. Asymptotics for solutions of difference equations have been investigated by L. Berg and S. Stevic (see for example [3], [6]).

The problem is solved by constructing two appropriate sequences  $y_n$  and  $z_n$  with

$$y_n \leq x_{n_0} \leq z_n \quad (2)$$

for sufficiently large  $n$ . Let us describe briefly a Berg-Stevic method which can be used in proving that a difference equation has monotonic solutions. For a difference equation with the equilibrium  $\bar{x}$  we consider its linearized equation about the equilibrium. If the characteristic equation of the linearized equation has a zero,  $\lambda \in (0,1)$ , we can assume that the difference equation has solutions with the following asymptotics

$$\bar{x} + \lambda^n + o(\lambda^{2n}). \quad (3)$$

At this point we require a theorem which will guaranty the existence of solutions that have the needed asymptotics. A quite general result will be proved in Section 2.

Consider now the equation

$$x_{n+1} = \alpha + \frac{x_{n-k}}{\sum_{i=0}^{k-1} c_i x_{n-i}}, \quad n=0,1,\dots, \quad (4)$$



where  $k \in \mathbb{N}$ ,  $c_i \geq 0$ ,  $i = 0, \dots, k-1$ ,  $\sum_{i=0}^{k-1} c_i = 1$ , and  $\alpha < -1$ , which generalizes Eq. (1).

Note that the linearized equation for Eq. (4) about the equilibrium  $\bar{x} = \alpha + 1$  is

$$(\alpha + 1)y_{n+1} + \sum_{i=0}^{k-1} c_i y_{n-i} - y_{n-k} = 0. \tag{5}$$

For the case  $\alpha > -1$  the characteristic polynomial associated with Eq. (5) i.e.

$$P(t) = (\alpha + 1)t^{k+1} + \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{k-i} - 1 = 0, \tag{6}$$

has a positive root  $t_0$  belonging to the interval  $(0,1)$ . To see this, note that  $P(0) = -1$  and  $P(1) = \alpha + 1 > 0$ . This fact made us believe that in this case there are solutions of Eq. (4) which have the following asymptotics

$$x_n = \alpha + 1 + a t_0^n + o(t_0^n), \tag{7}$$

where  $\alpha \in \mathbb{R}$  and  $t_0$  is the above mentioned root of polynomial (6).

The problem of the existence of nonoscillatory solutions of Eq. (4) for the case  $\alpha < -1$  is more interesting, since  $\bar{x} = 0$  is not an equilibrium of Eq. (4). Hence, it is difficult to guess the asymptotics of the solutions which exist. Never the less we expect that if such solutions exist they converge to zero geometrically, moreover we expect that for such solutions the first two members in their asymptotics are in the following form:

$$\varphi_n = a t^n + b^{2n}, \tag{8}$$

where  $t$  is a number belonging to the interval  $(0,1)$ :

For the case of Eq. (4),  $t$  can be chosen in the following way. Since we consider only those solutions of Eq. (4) which are defined for all  $n \in \mathbb{N}$ ; we can write the equation in the following form

$$(x_{n+1} - \alpha) \sum_{i=0}^{k-1} c_i x_{n-i} - x_{n-k} = 0. \tag{9}$$

For this equation,  $\bar{x} = 0$  is an equilibrium and the corresponding linearized equation about the equilibrium  $\bar{x} = 0$  is

$$\alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i x_{n-i} - x_{n-k} = 0. \tag{10}$$

Note that the characteristic equation

$$P_1(t) = \alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{k-i} + 1 = 0$$

satisfies  $P_1(0) = 1$  and  $P_1(1) = 1 + \alpha < 0$  and that  $P_1$  is decreasing on  $(0,1)$ . Hence  $P_1$  has a unique characteristic zero  $t = t_1$ , which belongs to the interval  $(0,1)$  if  $\alpha < -1$ . For such chosen  $t$  we expect that Eq. (4) has solutions which have the first two members in their asymptotics as in (8). The following result plays a crucial part in proving the main result.

**Theorem 1.** *Let  $f : I^{k+2} \rightarrow I$  be a continuous and non-decreasing function in each argument on the interval  $I \subset \mathbb{R}$ ; and let  $(y_n)$  and  $(z_n)$  be sequences with  $y_n < z_n$  for  $n \geq n_0$  and such that*

$$y_{n-k} \leq f(n, y_{n-k+1}, \dots, y_{n+1}), \quad f(n, z_{n-k+1}, \dots, z_{n+1}) \leq z_{n-k} \tag{11}$$

for  $n \geq n_0 + k - 1$ .

*Then there is a solution of the following difference equation*

$$x_{n-k} = f(n, x_{n-k+1}, \dots, x_{n+1}) \tag{12}$$

with property (2) for  $n \geq n_0$ .

**Proof.** Let  $N$  be an arbitrary integer such that  $N > n_0 + k - 1$ . The solution  $(x_n)$  of (12) with given initial values  $x_N, x_{N+1}, \dots, x_{N+k}$  satisfying condition (2) for  $n \in \{N, N+1, \dots, N+k\}$  can be continued by (12) to all  $n < N$ . Inequalities (11) and the monotonic character of  $f$  imply that (2) holds for all  $n \in \{n_0, \dots, n_{0+k}\}$ . Let  $A_N$  be the set of all  $(k+1)$ -tuples  $(n_0, \dots, n_{0+k})$  such that there exist solutions  $(x_n)$  of (12) with these initial values satisfying (2) for all  $n \in \{n_0, \dots, n_{0+k}\}$ . It is clear that  $A_N$  is a closed nonempty set for every  $N > n_0 + k - 1$  and that

$$A_{n+1} \subset A_n. \text{ It follows that the set } A = \bigcap_{N=n_0+k}^{\infty} A_n \text{ is a nonempty subset of } R^{k+1} \text{ and that if}$$

$(n_0, \dots, n_{0+k}) \in A$ ; then the corresponding solutions of (12) satisfy (2) for all  $n \geq n_0$ , as desired.

## 2. THE MAIN RESULT

In this section we prove the main result in this note:

**Theorem 2.** For each  $\alpha < -1$  there is a nonoscillatory solution of Eq. (4) converging to zero as  $n \rightarrow \infty$ .

**Proof.** First note that Eq. (4) can be written in the following equivalent form

$$F(x_{n-k}, x_{n-k+1}, \dots, x_n, x_{n+1}) \stackrel{\text{def}}{=} (x_{n+1} - \alpha) \sum_{i=0}^{k-1} c_i x_{n-i} - x_{n-k} = 0. \tag{13}$$

We expect that solutions of Eq.(4) converging to zero have the asymptotic approximation (8). Consider  $F = F(\varphi_{n-k}, \varphi_{n-k+1}, \dots, \varphi_n, \varphi_{n+1})$ . Then, we have

$$\begin{aligned} F &= (at^{n+1} + bt^{2n+2} - \alpha) \left( a \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{n-i} + b \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{2n-2i} \right) - (at^{n-k} + bt^{2n-2k}) \\ &= -at^{n-k} \left( \alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{n-i} + 1 \right) + t^{2n} \left( a^2 \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{1-i} - ab \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{-2i} - bt^{-2k} \right) + o(t^{2n}) \\ &= -at^{n-k} P_1(t) + t^{2n} A(a, b, t) + o(t^{2n}) \end{aligned} \tag{14}$$

where

$$\begin{aligned} A(a, b, t) &= a^2 \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{1-i} - ab \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{-2i} - bt^{-2k} \\ &= a^2 \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{1-i} - bt^{-2k} \left( \alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{2(k-i)} + 1 \right) \end{aligned} \tag{15}$$

Now, as mentioned earlier, there exists a unique  $t = t_0 \in (0,1)$ , satisfying

$$P_1(t) = \alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t^{k-i} + 1 = 0.$$

For such chosen  $t$ , choose  $b \in R$  and  $a \neq 0$  such that  $A(a, b, t_0) = 0$ .

Since

$$\alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t_0^{2(k-i)} + 1 > \alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t_0^{k-i} + 1 = P_1(t_0) = 0 \tag{16}$$

we have from (15) that

$$b = \frac{a^2 \sum_{i=0}^{k-1} c_i t_0^{1-i}}{t_0^{-2k} \left( \alpha \sum_{i=0}^{k-1} c_i t_0^{2(k-i)} + 1 \right)} > 0. \tag{17}$$

If  $\varphi_n = at_0^n + qt_0^{2n}$ , we obtain

$$F(\hat{\varphi}_{n-k}, \hat{\varphi}_{n-k+1}, \dots, \hat{\varphi}_n, \hat{\varphi}_{n+1}) \approx A(a, q, t_0)t_0^{2n}.$$

Since the function  $A(a, b, t_0)$  is linear in variable  $b$  and decreasing (cf. (15) and (16)), we see that there are  $q_1 < b$  and  $q_2 > b$  such that  $A(a, q_1, t_0) > 0$  and  $A(a, q_2, t_0) < 0$ .

With the notations

$$y_n = at_0^n + q_1 t_0^{2n}, \quad z_n = at_0^n + q_2 t_0^{2n},$$

we get

$$F(y_{n-k}, y_{n-k+1}, \dots, y_n, y_{n+1}) \approx A(a, q_1, t_0)t_0^{2n} > 0$$

and

$$F(z_{n-k}, z_{n-k+1}, \dots, z_n, z_{n+1}) \approx A(a, q_2, t_0)t_0^{2n} > 0.$$

From this we have that inequalities (11) are satisfied for sufficiently large  $n$ , where  $f = F + x_{n-k}$  and  $F$  is given by (13). Since for  $a > 0$  and sufficiently large  $n$ ,  $y_n > 0$  and the function  $f$  is continuous and nondecreasing in each variable, we can apply Theorem 1 with  $I = (0, I)$  and see that there is an  $n_0 \geq 0$ , 0 and a solution of Eq. (4) with the asymptotics

$$z_n = \hat{\varphi}_n + o(t_0^{2n}), \text{ for } n \geq n_0,$$

where  $q = b \ln \varphi_n$ ; in particular, the solution converges monotonically to zero for  $n \geq n_0$ .

Hence, the solution  $x_{n+n_0+k}$  is also such a solution when  $n \geq -k$ .

**Remark 1.** Since  $a > 0$  is an arbitrary parameter, by Theorem 2 we find a set of solutions of Eq. (4) converging nonincreasingly to zero.

**Remark 2.** If we take  $a < 0$  in the proof of Theorem 2 we obtain the set of solutions of Eq. (4) converging nondecreasingly to zero.

### 3. REFERENCES

- [1] A. M. Amleh, E. A. Grove and G. Ladas, On the recursive sequence  $x_{n+1} = \alpha + x_{n-1}/x_n$ , *J. Math. Anal. Appl.* 233, pp. 790-798, 1999
- [2] L. Berg, Inclusion theorems for non-linear difference equations with applications, *J. Differ. Equations Appl.* 10 (4), pp. 399-408, 2004
- [3] L. Berg, Corrections to "Inclusion theorems for non-linear difference equations with applications", *J. Differ. Equations Appl.* 11 (2), pp.181-182, 2005
- [4] A. E. Hamza, On the recursive sequence  $x_{n+1} = \alpha + x_{n-1}/x_n$ , *J. Math. Anal. Appl.* (in press)
- [5] S. Stevic, On the recursive sequence  $x_{n+1} = x_n + x_n^\alpha/n^\beta$ , *Bull. Calcuta Math. Soc.* 95 (1), 2003
- [6] S. Stevic, On the recursive sequence  $x_{n+1} = \alpha + x_{n-1}^p/x^p$ , *J. Appl. Math & Computing* 18 (1-2), pp. 229-234, 2005
- [7] R. DeVault, C. Kent and W. Kosmala, On the recursive sequence  $x_{n+1} = \alpha + x_{n-k}/x_n$ , *J. Differ. Equations Appl.* 9 (8), pp. 721-730, 2003

---

\*Gheorghe Anton, teacher, Trades and Services High School, Buzau, 14 bis, Bazalt treet, [g10.anton@gmail.com](mailto:g10.anton@gmail.com)

\*\*Gheorghe Radu, lecturer, "Henri Coanda" Air Force Academy, 500183 Brasov, #160, Mihai Viteazul Street, phone: +40 723 604084, e-mail: [gh.radu@gmail.com](mailto:gh.radu@gmail.com)

## IMAGES AND AUDIO AUTOMATIC INDEXING TECHNIQUES

Mihaela BRUT\*

*We will present in this article a state of the art into images and audio documents automatic indexing, which is not a trivial problem: in addition to the complexity of the involved algorithms, the result is often influenced by the large variability in the appearance of represented objects, depending for example on illumination conditions, distance to the object, parameters of the photo equipment, etc. Also, the main directions in multimedia semantic content management will be exposed, in order to illustrate how the automatic indexing methods could be combined with a semantic oriented approach.*

### **Introduction**

The multimedia information is continuously increasing inside each organization intranet. The problem of managing it is very difficult due to the binary character of the images or video/audio streams. The manual annotation is not a realistic task because of the big amount of data. The automatic indexing of this information is a very important step for developing a management and searching mechanism.

We will present in this article a state of the art into images and audio documents automatic indexing, which is not a trivial problem: in addition to the complexity of the involved algorithms, the result is often influenced by the large variability in the appearance of represented objects, depending for example on illumination conditions, distance to the object, parameters of the photo equipment, etc. For each of the two data types discussed – images and audio– we will present the most popular actual indexing techniques. The main directions in multimedia semantic content management will be then exposed, in order to illustrate how the automatic indexing methods could be combined with a semantic oriented approach

### **1. Techniques for images automatic indexing**

An image content analysis process takes as input image pixels and outputs object related information (e.g. how many objects are in an image, is object X present, which objects are in an image), using an a priori knowledge on the observed scenes and a model of the world. To achieve this, current methods employ a number of steps [9]: feature extraction, clustering/segmentation, object descriptor extraction, object recognition..

### 1.1 Point feature extraction

In the feature extraction step, for each image pixel a set of values, called *feature vector*, is computed. The purpose of this step is to assign

- (a) the same feature vector to all pixels belonging to one object and
- (b) different feature vectors to pixels belonging to different objects.

The values in a feature vector are derived from the color/grey values in the considered image point and/or in its neighborhood. *Methods* (also called in the literature *operators* and/or *filters*) to derive features can be based on:

- *Filtering in spatial domain*. Some specific examples are the Laplacian operator [13], the Sobel operator, and the Gabor filters [11] [4];
- *Filtering in Fourier domain*, where the amplitude and the phase of the Fourier spectrum represent relevant image features [5] [6];
- Local statistics computation around the pixel of interest with the *averaging filters* [13] and the *co-occurrence matrices* [14] as the most representative examples;
- *Model fitting*, e.g. Markov random fields [8] and Gibbs distribution [1].

The feature extraction step maps the points in the image space in points in a feature space. In the ideal case, all points belonging to an object/entity are mapped to one point in the feature space. Practically, object points are mapped onto regions of the feature space. This should not be a problem as long as different objects are mapped onto different regions. However, in practice, extensive overlap appears requiring further processing.

### 1.2 Image segmentation

The segmentation of an image means to divide the image into smaller parts or regions, in many ways [21]:

- *Tessellation* or *tiling* with a regular shape where all the tiles have equal size: an image array can be divided into small squares, rectangles, hexagons, or triangles with each segment having the same shape and the same number of pixels
- *Tessellation* with tiles having regular shape but variable sizes: quad-trees tessellation, pyramids tessellation. The sizes of tiles scale by a factor of 2 in each dimension. The tile of appropriate size is chosen based on the underlying image data
- Tessellation with tiles of irregular shapes and sizes, determined purely from the content of the data (a house, a park, a road, etc.) - This is the preferred tiling for object based representations.

The generated regions must satisfy some homogeneity criterion (concerning the intensity values, texture, etc). The regions are referred to as classes and ideally, they should correspond to objects. Two important properties of the pixels (criteria) are usually considered in the segmentation methods and they are:

1. Intensity value distribution: used to model the pixel values within the regions.

Two basic properties of intensity values are used by the image segmentation algorithms:

- *discontinuity*: the approach is to partition an image based on abrupt changes in intensity, such as edges in an image
- *similarity*: the approaches are based on partitioning an image into regions that are similar according to a set of predefined criteria. Examples of methods: thresholding, region growing and region splitting and merging. The features calculated in the previous step can be used to either detect abrupt changes or to group similar regions.

2. Spatial adjacency criteria: used to model the shapes of the regions. Several techniques have been proposed for image segmentation [9]:
- *The histogram-based methods*: the histogram of the image intensities is obtained and it is divided into several intervals based on the peaks and valleys present in it. Pixels belonging to each interval are then grouped under the same class.
  - *The split-and-merge methods*: an image is first split into segments, an initial segmentation is obtained. Then, the results are refined by merging the segments with similar properties that are spatially adjacent or splitting a region when the property is not within the limits of tolerance. The chosen properties are frequently the mean, variance, moments and the density parameters. The split operation adds missing boundaries and the merge operation eliminates false boundaries and spurious regions.
  - *The region growing methods*: some seed points are chosen initially and the pixels around them are progressively included into the regions based on some constraints that can be the mean, variance, color of the pixels, etc. Some methods model the regions using planar or polynomial models and use the model as the homogeneity criterion for region growing.
  - *The clustering-based methods*: the properties of individual pixels or groups of pixels are first obtained as features. A feature vector could include features such as the gray level of a pixel, the color, the spatial coordinates, the texture, the coefficients of a polynomial, etc. Clustering is then performed in the feature space using an appropriate distance metric. The distance metric is usually the Euclidean distance between the feature vectors. The weighted  $l_p$  norms on the feature vectors are also popular. The clustering results are then mapped back into the image space to obtain a segmentation. When the feature is the gray level of a pixel, the simplest one, the corresponding feature space is the histogram of the image. For color images, characterized by the 3 color components, a 3 dimensional histogram can be constructed. Hence the feature space is three dimensional where clusters correspond to pixels with similar color. Clustering in this type of feature space yields a decomposition of the histogram into a few non-overlapping intervals, and labeling of the clusters results in multi-thresholding of the image. If the spatial coordinates are also included into the feature vectors, then clustering will impose spatial contiguity on the segmented regions. If texture features are considered, the image is initially divided into small blocks and the texture parameters of each block are extracted. The clustering is then performed in the texture parameter space.
  - *The stochastic-model based methods*: the image classes are modeled as random fields and the segmentation problem is posed as a statistical optimization problem. Compared to previous techniques, these techniques often provide more precise characterization of the image classes and generally provide better segmentations when the image classes are complex and otherwise difficult to discriminate by simple low-order statistical measures. Under this category, different types of estimates like the maximum likelihood (ML) estimate, the maximum a posteriori probability (MAP) estimate etc. can be used. Frequently, the expectation maximization (EM) algorithm is employed to compute the ML estimates, while the generalized EM (GEM) algorithm is employed to compute the MAP estimates. Other methods like greedy optimization, dynamic programming and simulated annealing are also used.



There are **very few methods of image segmentation** that addressed partitioning and **obtaining content description of segments simultaneously**:

- In [3], the problem is posed as texture segmentation where the textures are modeled by Gauss-Markov random fields.
- In [22], the problem is posed as joint estimation of the partition and class parameter variables, and a Bayesian estimation multi-scale image segmentation method is proposed. The method recognizes the variability of content description depending on the complexity of the image regions and effectively addresses it. The notion of a class is introduced as that which gives rise to different segments with same content description. In particular, the method partitions the data as well as obtains descriptions of classes for a large family of parametric models. These parametric models are used to describe the content of the classes. Central to the method is the formulation of a cost functional defined on the space of image partitions and the class description parameters that can be minimized in a simple manner.

### 1.3 Object feature (descriptor) extraction

The result of the segmentation step is a number of regions corresponding to objects in the analyzed images. The next step is to find properties of these regions : object features that can help in their identification. These features can refer to the *boundary* of a *region* or to its content.

Commonly used *boundary* features belong to one of the following categories:

- Bounding box;
- Extremity points (top-left, bottom-right...);
- Chain codes;
- Simple geometric shape descriptors such as length or curvature;
- Fourier descriptors of the boundary;
- Features derived from the B-spline representation of a contour;
- Fractal dimension;
- Shape invariants such as number of corners/vertices and shape number.

Examples of classes of *content (regional)* features are:

- Simple scalar region descriptors such as area, compactness, elongatedness;
- Moments;
- Convex hull;
- Graph representation based on region skeleton.

Furthermore, there are descriptors that refer to the relation between regions: a region is inside another one or one is above another. Examples of techniques to derive such descriptors are:

- Region decomposition;
- Region neighborhood graphs.

### 1.4 Object classification

After their descriptors were extracted, objects are classified based on these. It is necessary that the system has a description of the objects of interest (reference objects), i.e. it has their descriptors. Having this information, the system compares the descriptors of the objects found in an image with the descriptors of the reference objects. Based on the result of the comparison, a decision is taken whether the found object is of a certain type.

In the ideal case, the system has descriptions of all the objects that can be encountered in the analyzed images and, consequently, can identify all objects in an image. Practically, a system has descriptors of a certain set of objects of interest and it is able to identify whether any of those objects are present in an image.

## 2. Audio Analysis and Automatic Indexing Techniques

There are some main directions in audio analysis: segmentation, classification and similarity and retrieval (by content) [12]:

- *Segmentation* deals with options to split an audio signal into intervals, minding the semantics or the sound source composition. *Audio scenes* is an important concept here.
- *Classification* aims at categorizing segments of audio according to predefined (mid-level) semantic classes, such as speech, music, silences, background noise, etc. This also includes possible further differentiation within a class (e.g. according to genre or mood in the case of music, or speaker identity in the case of speech), or detection of concurrency of specific classes (e.g. speech and background noise). Furthermore, classification may also extend towards identifying the genre of entire clips and programs.
- *Retrieval by content* is concerned with similarity measures, enabling to e.g. retrieve from an audio database item(s) that perceptually or semantically match the query.

It should be noted that the segmentation and classification are typically interdependent. Segmentation of an audio signal into shorter frames is often the first step towards classification; alternatively, pre-classified segments can be fused using different strategies to obtain segmentation at a higher semantic level.

### 2.1 General Audio Classification Techniques

Concern the algorithms developed for separating predefined general audio classes, such as *speech, music, silences, background noise*, etc. Some of them also extend towards discriminating sub-classes of a given class, e.g. genres in music or different types of noise and environmental sound. All the approaches can be characterized as a multi-stage processing, where a feature extraction.

[18] describe a classification in five basic groups: *classical music, popular music, speech, noise* and *crowd noise* (applauding and cheering), with the popular music containing samples from seven genres: Jazz, Folk, Electronic, R&B, Rock, Reggae and Vocal. The feature sets include: (1) low-level signal properties, (2) mel-frequency spectral coefficients, (3) psycho-acoustical features including roughness, loudness and sharpness, and (4) an auditory model representation of temporal envelope fluctuations.

A framework targeted to real-time segmentation and classification of audio from TV broadcast streams is described in [26]. It adopts common low-level features, such as *signal energy, average zero-crossings rate, fundamental frequency* and *spectral peak track*, and the usual milliseconds feature extraction rate. A heuristic rule-based procedure is employed for segmentation and classification, being based on morphological and statistical analysis of the time-varying functions of the extracted features. The classes considered include: *speech, music, song, environmental sound, speech with music background* and *silence*.

In [17], the classification is performed using support vector machines. The audio clip is first divided into non-overlapping sub-clips, having the duration of one second. Each of the sub-clips is classified in two initial categories: *speech* and *non-speech*.

In [7], yet different classes are considered, including *laughter*, *applause* and *cheer*. Mostly the conventional low-level features are used, including the more perceptual brightness and MFCC. HMM are used to model the sound effects, and a log-likelihood based scores to make the final decision. [10] uses the HMMs and GMMs in order to model *gunshots*, *explosions*, *engines*, *helicopter flying* and *cheers*. A GMM, event scores and a sliding window concept are further used to combine multiple events, as means to model the context of different movie scenes.

## 2.2 Silence Detection (Speech/silence discrimination)

Belongs to the general audio classification methods. The main approach is in fact the endpoint detection, which determines the boundaries of words and sentences based on a global signal energy/zero-crossings threshold scheme [20].

An alternative approach is to seek for exclusion of all silences, rather than to isolate all utterances. This is expected to improve the silence detection in the presence of (background) noise [16].

## 3. Multimedia (Images, Audio and Video) Semantic Content Management

*Image processing's* purpose: to find the segments or regions that are homogeneous according to some mathematical or statistical criteria (considered a low-level operation).

*Computer vision* or *artificial intelligence (AI)* methods are concerned with high level operations dealing with the content of the image, i.e., understanding the meaning behind the segments or knowledge representation.

However, *recently a combined approach based on content based coding* of images and video is emerging which tries to represent image or video data using the segments within them, where the content of each segment is characterized mathematically:

**Content based segmentation methods** (for example, accessing images depicting a sunset): the initial raw data, both images and video, has to be partitioned such that the description of each segment is related to its content.

*The semantic contents of multimedia* data can be managed by two approaches.

1. The first one is to *annotate an image, a video, or an audio data with text*. Impractical especially in large multimedia databases: the raw data accompanied by annotations is assumed to be updated frequently. Another problem: it is very difficult to keep the consistency of the annotations.
2. The other approach is to provide the system with a rule base or a knowledge base where knowledge or rules are used to extract features from the raw data, to match content, to analyze queries, and so forth.

⇒ [2], [15], [19], [25]: the knowledge could be associated *directly* (as fundamental property) with the content feature values and/or the spatial relationships.

⇒ [24]: the knowledge is defined for the subject of interest *indirectly*

⇒ [15]: there is developed a hierarchy called *Type Abstraction Hierarchy* (TAH) to define a general level of concepts to detailed level with sets of attribute values. Knowledge is referred to the evaluation of *shapes* and *spatial relationships* of the objects (e.g., a tumor). TAHs conceptualize the objects and their semantics and incorporate the domain expert knowledge in order to improve search efficiency in radiological databases.

⇒ Other approaches make use of knowledge that interprets semantic contents in terms of image representations, establishing image features specific to the content. In [19], the meaning of the image is represented by a keyword that is defined with a description of image features such as

regions of colors and their locations. The semantic contents are represented by the spatial composition of the color regions. The hierarchical relation between the primitive color regions and the semantic contents is captured in a *state transition model*. In the content-based retrieval system exposed in [25], the authors define a *pseudo attribute* which associates a query condition with a domain knowledge describing the contents to be retrieved. The method for extracting semantic features from multimedia data, the rules to transform query conditions into an internal representation whose type is the same as the extracted semantic features, or the rules to transform a certain operator into content-dependent calculus is called a *domain knowledge*.

Some issues of this approach: how to interpret a query condition into semantically equivalent expressions and evaluate the expressions with features extracted from the raw data? Next, how to keep the knowledge base semantically consistent with the database schema? A possible solution: to make the knowledge base and the database schema semantically dependent on each other by integrating them together with rules that prescribe semantic association of one with the other [23].

Generally speaking, the second approach is more practical than the first one even in large multimedia databases.

## Conclusions

The automatic indexing of images and audio documents is not a trivial problem: in addition to the complexity of the involved algorithms, the result is often influenced by the large variability in the appearance of represented objects, depending for example on illumination conditions, distance to the object, parameters of the photo equipment, etc.

Together with the most relevant and popular indexing techniques, the article presented also the approaches in multimedia semantic content management. A very promising direction is to combine the knowledge management techniques with those promoted by the semantic Web community.

## Bibliography

- [1] Acuna, C.O., Texture modeling using Gibbs distributions. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing*, 1992. 54(3): p. 210-222
- [2] J.R. Bach, S. Paul, and R. Jain, "A Visual Information Management System for the Interactive Retrieval of Faces," *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, vol. 5, no.4, 1993
- [3] Bouman, C.A., Liu, B., "Multiple Resolution Segmentation of Textured Images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 13, no. 2, pp. 99-113, February 1991
- [4] Bovik, A.C., M. Clark, and W.S. Geisler, Multichannel texture analysis using localized spatial filters. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990. 12: p. 55-73
- [5] Castleman, K.R., *Digital Image Processing*. 1996: Prentice Hall
- [6] Clark, M. and A.C. Bovik, Experiments in Segmenting Texton Patterns Using Localized Spatial Filters. *Pattern Recognition*, 1989. 22: p. 707-717
- [7] Rui Cai, Lie Lu, Hong-Jiang Zhang, Lian-Hong Cai, "Highlight Sound effects detection in audio stream", *Proceedings of the International Conference on Multimedia and Expo*, vol. 3, pp. 37-40, 6-9 July, 2003
- [8] Chatterjee, S., *Markov Random Fields - Theory and Application*, R. Chellappa and A. Jain, Editors. 1993, AP. p. 159-178

- [9] Chen, Shu-Ching, Kashyap, R. L., Ghafoor, Arif, *Semantic Models for Multimedia Database Searching and Browsing*, Kluwer Academic Publishers, NY, 2002, ISBN 0-792-37888-1
- [10] Wen-Huang Cheng, Wei-Ta Chu, Ja-Ling Wu, "Semantic Context Detection based on Hierarchical Audio Models", *Proceedings of the 5th ACM SIGMM international workshop on Multimedia information retrieval*, Berkeley, California, USA, 2003, pp. 109-115
- [11] Daugman, J.G., Complete discrete 2-d Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression. *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol.,36, 1988
- [12] Jonathan Foote, "An overview of audio information retrieval", in *Multimedia Systems*, vol. 7 no. 1, pp. 2-11, ACM Press/Springer-Verlag, January 1999
- [13] Gonzales, R.C. and R.E. Woods, *Digital Image Processing*. Second ed. 2002, Prentice Hall
- [14] Haralick, R.M., K. Shanmugam, and I. Dinstein, Textural features for image classification. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 1973. 3: p. 610-621
- [15] C.C. Hsu, W.W. Chu, and R.K. Taira, "A Knowledge-Based Approach for Retrieving Images by Content," *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, vol. 8, no. 4, 1993
- [16] Ying Li, C.-C. Jay Kuo, "Video content analysis using multimodal information", Kluwer Academic Publishers, 2003
- [17] L. Lu, S. Li, H.-J. Zhang, "Content-based audio segmentation using support vector machines", *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2001 (ICME 2001)*, pp. 749 - 752, August 2001
- [18] Martin F. McKinney, Jeroen Breebaart, "Features for Audio and Music Classification", *Proceeding of the International Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR 2003)*, pp. 151-158, Baltimore, Maryland, USA, 2003
- [19] A. Ono, M. Amano, M. Hakaridani, T. Satou, and M. Sakauchi, "A Flexible Content-Based Image Retrieval System with Combined Scene Description Keyword," *Proc. Int'l Conf. Multimedia Computing and Systems*, pp. 201-208, 1996
- [20] L. Rabiner and R. Schafer, "Digital processing of speech signals", Prentice- Hall Inc., 1978
- [21] S. Sista. *Image And Video Segmentation Using Unsupervised Classification in a Bayesian Set up*. Ph.D. Thesis, Purdue University, May 1999
- [22] S. Sista and R.L. Kashyap, "Bayesian Estimation for Multiscale Image Segmentation," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, March 1999
- [23] A. Yoshitaka and T. Ichikawa, "A Survey on Content-Based Retrieval for Multimedia Databases," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 81-93, January/February 1999.
- [24] A. Yoshitaka, T. Ishii, M. Hirakawa, and T. Ichikawa, "Content- Based Retrieval of Video Data by the Grammar of the Film," *Proc. Int'l Symp. Visual Languages*, pp. 314-321, Sept. 1997
- [25] A. Yoshitaka, S. Kishida, M. Hirakawa, and T. Ichikawa, "Knowledge-Assisted Content-Based Retrieval for Multimedia Databases," *IEEE Multimedia*, vol. 1, no. 4, pp. 12-21, 1994
- [26] Thong Zhang, C.-C. Jay Kuo, "Audio Content Analysis for Online Audiovisual Data Segmentation and Classification", *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 9, issue 4, pp. 441-457, May 2001

---

\* Mihaela Brut, lecturer, Faculty of Computer Science, University „Alexandru Ioan Cuza” Iași, Berthelot nr. 16, phone 0232 201544, e-mail: mihaela@infoiasi.ro

## UN EXEMPLU DE SISTEM MULTI-AGENT PENTRU MODELAREA PROCESULUI DIDACTIC

Mădălina CĂRBUREANU \*  
Irina TUDOR \*\*

***Abstract:** The improvement of the teaching activity is one of the teaching staff and quality educational process management services, main preoccupations. A possible solution at this problem is represented by the multi-agent systems building, systems witch are capable to model the teaching activity for understanding the processes and the connections which are taking place in a such kind of activity, with the final goal to identifying and correcting the eventual problems and the absence of information. In this paper is presented an example of multi-agent system for modeling the teaching process in the academic environment, using the Zeus Agent Toolkit package.*

**Key words:** communication, intelligent agent, multi-agent system, ontology

### Capitolul I

#### 1.1 Sisteme multi-agent. Noțiuni de bază.

Instrumentul folosit pentru realizarea aplicației propuse este Zeus Agent Toolkit. Acesta a fost dezvoltat de către British Telecom și mai precis de către grupul Sisteme inteligente și are marele avantaj de a fi gratuit pentru uz academic. Acesta furnizează un mediu grafic care permite dezvoltarea sistemelor agent distribuite, iar limbajul de programare folosit este Java. Furnizează o bibliotecă de componente software și instrumente care facilitează dezvoltarea rapidă a aplicațiilor agent colaborative și poate rula pe orice platformă care are instalată o mașină virtuală JDK 1.2. Componentele scrise în limbajul de programare Java, sunt grupate în trei biblioteci funcționale, și anume: biblioteca componentelor tip agent (*Agent Component Library*), un instrument de construire a agenților (*Agent Building Software*) și un set de agenți utilitari (*Utility Agents*) aceștia fiind nameserver-ul, facilitatorul și vizualizer-ul[1].

Aplicațiile care se pot rezolva folosind acest instrument, sunt cele orientate pe task-uri, ca de exemplu: furnizare de servicii, managementul lanțului de fabricație, managementul



resurselor, precum și managementul proceselor, din această ultimă categorie făcând parte și sistemul multi-agent propus. Lucrul cu instrumentul Zeus Agent Toolkit presupune cunoașterea și implementarea următoarelor noțiuni de bază: sistem multi-agent (SMA), agent inteligent, arhitectură agent, cooperare, comunicare, ontologie, coordonare, tipuri de medii de lucru, task, descriere PASM (Percepții, Acțiuni, Scopuri și Mediu), scop și fapt.

Agenții din cadrul unui sistem multi-agent au asociate task-uri specifice. Pentru a putea realiza aceste task-uri, agenții trebuie să comunice între ei, să existe un anumit grad de coordonare, cooperare și o anumită ontologie definită anterior.

*Limbajele de comunicare* folosite pentru agenți, sunt așa numitele ACL-uri (Agent Communication Languages), acestea fiind FIPA ACL, KQML și KIF. *Coordonarea* este acel proces în care agenții unui SMA se angajează să asigure coerența sistemului, fiind necesară pentru alocarea resurselor și eliminarea conflictelor. În ceea ce privește *cooperarea*, aceasta este necesară pentru a obține un comportament global robust al sistemului multi-agent și se realizează prin comunicația între componentele software ale sistemului[2].

Poate cel mai important aspect al unui SMA este acela al definirii *ontologiei*, ce constă în specificarea unui vocabular cu termenii recunoscuți de agenții din sistemul respectiv, termeni ce apar în mesajele acestora.

În momentul în care se dorește rezolvarea unei aplicații cu ajutorul Zeus Agent Toolkit, trebuie parcurse mai multe etape, acestea fiind[3]:

1. *Definirea aplicației*;
2. *Analiza aplicației*, etapă ce presupune următoarele: specificarea rolurilor agenților, întocmirea listei de responsabilități pentru fiecare agent, realizarea diagramei fluxului de informație, descrierii PASM și a diagramei de interacțiune;
3. *Proiectarea aplicației*, etapă ce constă în modelarea cunoașterii și stabilirea ontologiei;
4. *Realizarea aplicației* ce presupune: crearea ontologiei, crearea agenților, stabilirea task-urilor pentru fiecare agent, configurarea agenților utilitari și a celor task, implementarea și rularea aplicației.

În cadrul acestei lucrări se va prezenta un mod de implementare a noțiunilor de bază și a etapelor de mai sus, pentru aplicația propusă spre rezolvare.

Sistemele multi-agent se bazează pe ideea că într-un mediu de lucru cooperativ, care cuprinde componente software ce au capacitatea de rezolvare a problemelor, se pot rezolva probleme dificil de rezolvat altfel, cu metode tradiționale, aceste sisteme constituind poate singura soluție pentru rezolvarea anumitor tipuri de probleme, în special a celor complexe.

## Capitolul II

### 2.1 Construirea SMA-ului

Exemplul de sistem multi-agent propus în cadrul acestei lucrări, constă în modelarea activității didactice depusă de către un cadru didactic, respectiv de un asistent, abordând fiecare aspect al acesteia. Această activitate nu se rezumă numai la acțiunile posibile ale asistentului și ale studenților în cadrul unui laborator de informatică, de exemplu, la interacțiunile dintre aceștia, ci și la interacțiunile care au loc între titularul cursului și asistent, la interacțiunile asistentului, respectiv studenților cu mediul de lucru, acesta fiind, în cazul aplicației date, laboratorul.

În cadrul acestei aplicații sunt construite patru entități, fiecare dintre ele fiind capabile să interacționeze una cu alta, în scopul obținerii cât mai multor informații, lămuririi aspectelor



ambigue, înțelegerii conținutului predat și a aplicațiilor aferente, evaluării cunoștințelor asimilate de către studenți, îmbunătățirii activității din cadrul laboratorului, etc.

Agenții din cadrul acestei aplicații, sunt: profesorul(titularul cursului), agent numit *Teacher*, asistentul numit *As*, studentul numit *Student* și mediul de lucru(laboratorul), numit *Laborator*. Rolurile acestor agenții sunt următoarele:

1. *Teacher-Supervizor*(supervizează, îndrumă și corectează activitatea asistentului);
2. *AS-Tutore*(facilitează înțelegerea de către studenți a conținutului predat, prin realizarea de aplicații în cadrul laboratorului);
3. *Student-Receptor*(fixează cunoștințele asimilate în cadrul cursului prin rezolvarea de aplicații în cadrul laboratorului, sub atenta supraveghere a asistentului);
4. *Laborator-Mediu*(păstrează un model al laboratorului(arhitectura rețelei de PC-uri, poziționarea agenților în cadrul laboratorului) și răspunde la solicitări);
5. *Broker-Broker*(facilitează interacțiunea dintre agenții construiți);
6. *Visual-Visualiser*(furnizează diverse situații ale SMA-ului);
7. *ANS-Agent Name Server*(păstrează date despre toți agenții).

Fiecare rol jucat de către un agent implică existența anumitor responsabilități. Responsabilitățile existente se împart în două categorii: *responsabilități sociale* (implică interacțiunea cu alți agenți) și *responsabilități ce țin de domeniul agentului* (implică existența unor activități specifice domeniului). De exemplu, pentru agentul *Teacher*, responsabilitățile sociale pot fi următoarele:

1. Oferă asistentului informații utile cu privire la modul în care ar trebui să decurgă activitatea în cadrul laboratorului;
2. Îndrumă activitatea asistentului (sfaturi, recomandări, propuneri, etc.);
3. Solicită asistentului informații cu privire la modul în care decurge activitatea în cadrul laboratorului.

Responsabilitățile agentului *Teacher* ce țin de domeniu, pot fi următoarele:

1. Oferă asistentului programa ce trebuie parcursa în cadrul laboratorului;
2. Solicită asistentului situația studenților la laborator (nota/notele, prezența, semnalare probleme);
3. Corectează eventualele abateri ale asistentului de la programă, sau eventualele întârzieri ale parcurgerii acesteia;
4. Evaluează împreună cu asistentul, studenții la sfârșit de semestru, prin examen(solicita asistență).

Astfel de responsabilități sociale și ce țin de domeniu, se stabilesc pentru fiecare agent în parte. Agenții comunică între ei, folosind schimbul de mesaje. Pentru a stabili sensul în care are loc schimbul de informație de la un agent la altul, se construiește o așa numită *diagramă a fluxului de informație*, așa cum se poate observa în figura 1:

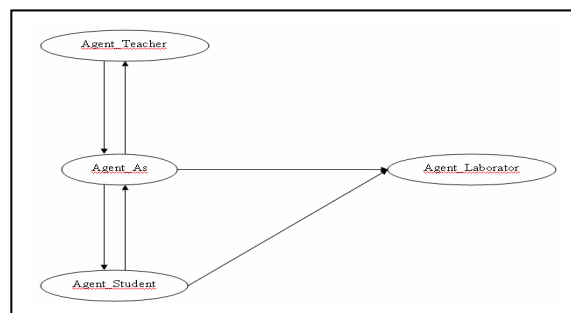


Fig. 1: Diagrama fluxului de informație

Descrierea PASM a unui agent constă în identificarea percepțiilor, acțiunilor, scopurilor asociate unui agent, precum și a mediului cu care interacționează respectivul agent. De exemplu, pentru agentul *Teacher* avem următoarea descriere PASM:

1. Percepții: - solicitări provenite de la asistent/studenti;
2. Acțiuni: - răspunde la solicitări, solicită informații;
3. Scopuri: - rezultate/ comunicare bună/bună;
4. Mediul: - laborator.

Pentru un bun management al sistemului multi-agent, este necesară construirea unei *diagrame de interacțiune*. Aceasta stabilește tipul interacțiunilor dintre agenți și modul în care un agent interacționează cu un alt agent, așa cum se poate observa în figura 2:

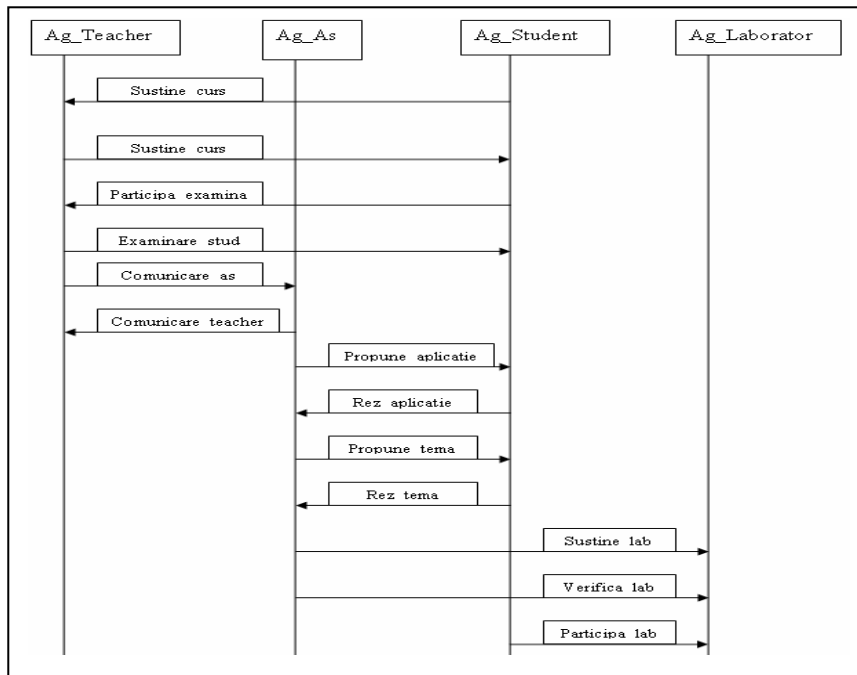


Fig. 2: Diagrama de interacțiune

*Modelarea cunoașterii* presupune crearea unei *ontologii*. Crearea ontologiei este esențială pentru buna funcționare a SMA-ului. Aceasta înglobează conceptele specifice domeniului de expertiză, s-au altfel spus, termenii recunoscuți de către agenți, folosiți în timpul comunicării. Fără definirea unei astfel de ontologii, care de fapt este un *vocabular comun tuturor agenților*, comunicarea între agenți, ar fi imposibilă. Ontologia utilizată în cazul aplicației de față, este prezentată în figura 3:

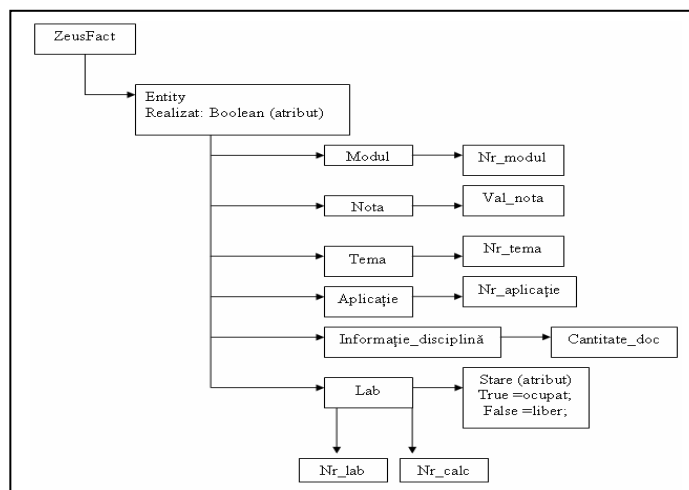


Fig. 3:  
Ontologia  
aplicației

## 2.2 Implementarea în Zeus Agent Toolkit

Primul și cel mai important pas al implementării în Zeus, constă în construirea ontologiei aferente aplicației, așa cum se poate observa în figura 4:

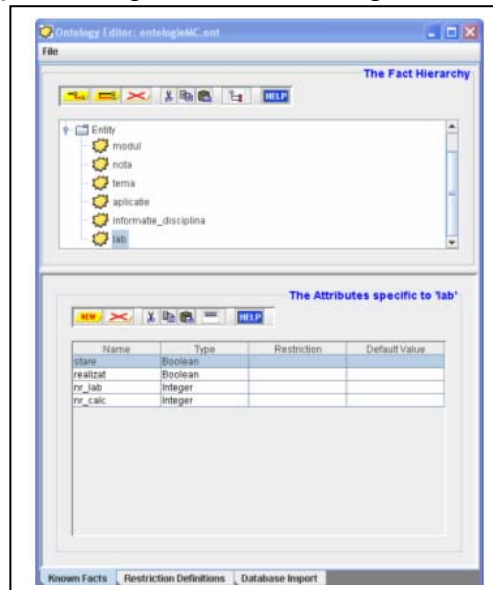


Fig. 4: Ontologia aplicației

Pasul imediat următor constă în identificarea task-urilor asociate fiecărui agent și construirea agenților aplicației. De exemplu, task-urile asociate agentului *Teacher* sunt următoarele: *susținere curs*, *examinare student* și *comunicare asistent*. Crearea celor patru agenți aferenți aplicației, este prezentată în figura 5:



Fig. 5: Crearea agenților aplicației

Crearea unui agent, de exemplu a agentului *Teacher* presupune realizarea următoarelor etape intermediare: implementarea în Zeus a task-urilor aferente agentului, stabilirea relațiilor cu ceilalți agenți ( relație de tip *unu la unu*, de *subordonare* sau de *superioritate* ), stabilirea

procoloalelor de coordonare ( pentru rolurile agentului de *respondent* și *inițiator* ), alocarea resurselor inițiale ale agentului, stabilirea numărului maxim de task-uri simultane. Toate acestea se stabilesc în următoarele panouri : *Agent Definition Panel*, *Agent Organization Panel*, *Agent Coordination Panel* și *Value Restriction Panel*. Implementarea task-ului *susținere curs* asociat agentului *Teacher* este prezentată în figura 6:

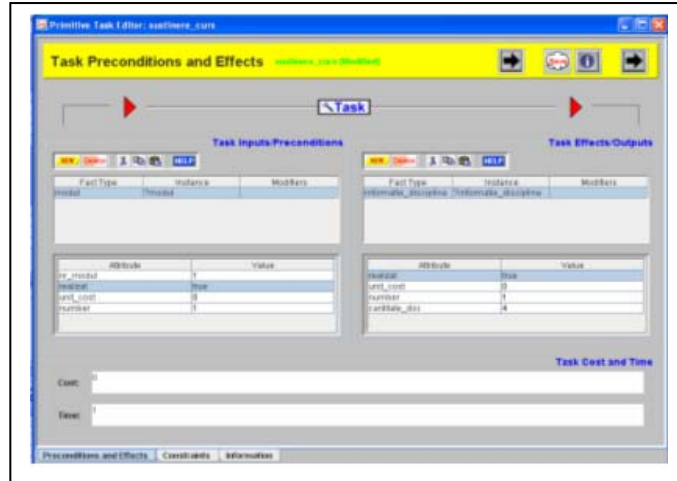


Fig. 6: Implementarea unui task în Zeus

Zeus are implementat un set de trei agenți utilitari și anume: *Agent Name Server(ANS)*, *Facilitator-ul* și *Visualiser-ul* . Acești agenți furnizați de Zeus trebuie să fie configurați alături de agenții task, așa cum se poate observa în figura 7:

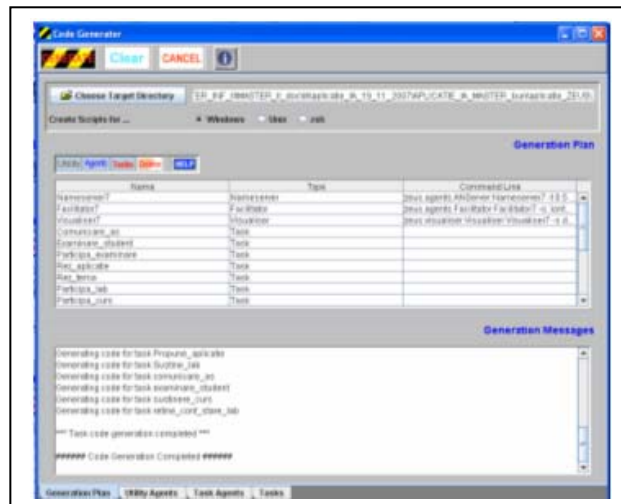


Fig. 7: Configurarea agenților task și utilitari

În urma activării run1(încarcă un ANS), run2(încarcă agenții task) și run3(se încarcă restul de ANS, facilitatorii și visualiser-ul), acestea fiind programele executabile generate de Zeus în urma realizării tuturor etapelor prezentate până la acest moment, apar următoarele ferestre: *Visualizer*, *Ag\_Teacher*, *Ag\_As*, *Ag\_Student* și *Ag\_Laborator*. De exemplu interfața furnizată de Zeus pentru *Ag\_Teacher* este reprezentată astfel:

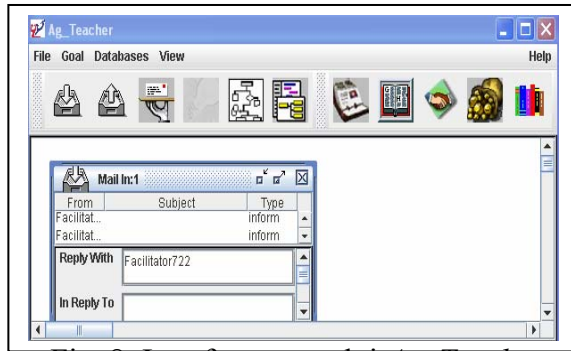


Fig. 8: Interfața agentului *Ag\_Teacher*

În plus, Zeus oferă utilizatorului posibilitatea de a crea propria interfață pentru agenți săi. Visualiser-ul furnizat de Zeus este prezentat în figura 9:

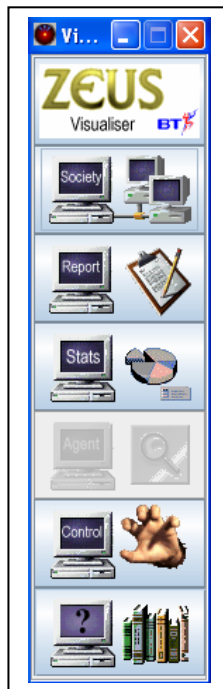


Fig. 9: Interfața Visualiser-ului Zeus

Visualiser-ul prin activarea opțiunii *Society* permite printre multe altele vizualizarea societății de agenți din cadrul aplicației, așa cum se poate observa în figura 10:

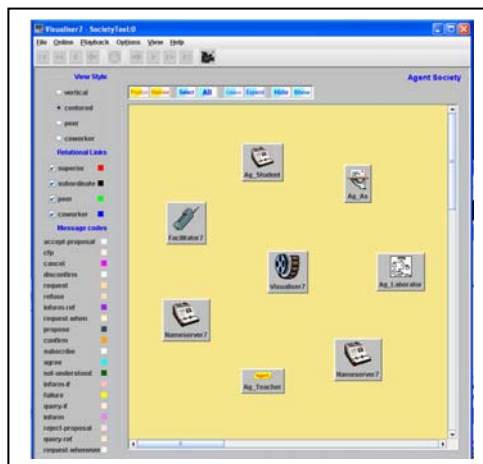


Fig. 10: Societatea de agenți

Comunicarea dintre *Ag\_Teacher* și *Ag\_As* se realizează prin schimb de mesaje, așa cum se poate observa în figurile 11 și 12:

```

C:\WINDOWS\system32\java.exe
Server>> alive
MESSAGE SENT
Connection>> 391 bytes read (less than BUF_SIZE), assuming end of buffer.
Connection>> trying test
Connection>> Sending message to mhandler
Server>> 1
Server>> 2
Server>> 3
Server>> 4
Server>> 5
Server>> 6
Zeus native msg = <inform

C:\WINDOWS\system32\java.exe
Goal ==
< I Ag_Teacher <Ag_Teacher_goal2363 <nota :unit_cost ?var_2356 :realizat true :n
umber I :val_nota 9><parameters :start_time -1 :end_time 24 :cost 0.0 :priority
1>>
Goal ==
< I Ag_Teacher <Ag_Teacher_goal2363 <nota :unit_cost ?var_2356 :realizat true :n
umber I :val_nota 9><parameters :start_time -1 :end_time 24 :cost 0.0 :priority
1>>
Goal ==
< I Ag_Teacher <Ag_Teacher_goal2363 <nota :unit_cost ?var_2356 :realizat true :n
umber I :val_nota 9><parameters :start_time -1 :end_time 24 :cost 0.0 :priority
1>>
Goal ==
< I Ag_Teacher <Ag_Teacher_goal2363 <nota :unit_cost ?var_2356 :realizat true :n
umber I :val_nota 9><parameters :start_time -1 :end_time 24 :cost 0.0 :priority
1>>
Goal ==
< I Ag_Teacher <Ag_Teacher_goal2363 <nota :unit_cost ?var_2356 :realizat true :n
umber I :val_nota 9><parameters :start_time -1 :end_time 24 :cost 0.0 :priority
1>>
Goal ==
< I Ag_Teacher <Ag_Teacher_goal2363 <nota :unit_cost ?var_2356 :realizat true :n
umber I :val_nota 9><parameters :start_time -1 :end_time 24 :cost 0.0 :priority
1>>

```

Fig. 12: Comunicarea între agenți

Pachetul Zeus este util atunci când se dorește realizarea unor aplicații pentru simularea evenimentelor din lumea reală, precum: modelarea activității didactice la orice nivel, licitații, comerț, modelarea unor evenimente și multe astfel de aplicații.

Modelarea activității didactice cu un astfel de pachet software conduce la o obținerea unei mai bune imagini de ansamblu asupra punctelor slabe cât și a celor forte ale unui astfel de proces, cu posibilitatea de a rezolva aceste probleme într-un timp relativ scurt și cu un consum minim de resurse.

Lucrarea de față se încadrează la secțiunea *Artificial Intelligence*, codul 68T99, în conformitate cu MSC2000.

## Bibliografie

- [1] Collins, J., Ndumu, D., *The Application Realisation Guide*, Intelligent Systems Research Group, BT Labs, 1999
- [2] Collins, J., Ndumu, D., *ZEUS Technical Manual*, Intelligent Systems Research Group, BT Labs, 1999
- [3] Collins, J., Ndumu, D., *The Role Modelling Guide*, , Intelligent Systems Research Group, BT Labs, 1999

\* Mădălina Cărbureanu, Prep. mat., Univ. Petrol-Gaze, Ploiești, B-dul București, nr. 39, tel 0244 573171, e-mail: mcarbureanu04@yahoo.com

\*\* Irina Tudor, As. ing., Univ. Petrol-Gaze, Ploiești, B-dul București, nr. 39, tel 0244 573171, e-mail: trinelle@yahoo.com

## ITERATIVE ALGORITHM FOR SOLVING QUASI-VARIATIONAL INEQUALITIES IN BANACH SPACES

Corina CHIRIAC\*

**Abstract.** *We present an iterative algorithm for approximate solutions of mixed quasi-variational inequalities in the setting of reflexive Banach spaces. We use Fan-KKM lemma and concept of  $\eta$ -cocoercivity of a composition mapping to prove the existence and convergence of approximate solutions to the exact solution of quasi-variational inequalities.*

### INTRODUCTION

Variational inequality theory has stimulated new results dealing with partial differential equations, but also has been applied to a large variety of problems arising in mechanics, optimization and control problems, management science, operations research, and so forth. One of the most important and interesting problems in the theory of variational inequality is the development of an efficient and implementable algorithm for solving variational inequality and its generalizations. These methods include projection method and its variant forms, linear approximation, descent and Newton's methods, and method based on auxiliary principle technique .

Let  $H$  be a real Hilbert space whose inner product and norm are denoted by  $\langle \cdot, \cdot \rangle$ , and  $\|\cdot\|$ , respectively. Let  $D$  be a nonempty convex subset of  $H$ . Let  $T, A: D \rightarrow H$ , and  $\eta: D \times D \rightarrow H$  be mappings, and let  $f: D \rightarrow \mathbf{R}$  be a real-valued function. Recently Ansari and Yao [1] considered and studied the mixed variational inequality problem (MVLIP), which is to find  $u^* \in D$  such that

$$\langle Tu^* - Au^*, \eta(v, u^*) \rangle + f(v) - f(u^*) \geq 0, \quad \forall v \in D. \quad (1)$$



When  $A \equiv 0$ , this problem reduces to the following problem considered by Dien [2], Noor [4] and Siddiqi [5]: find  $u^* \in D$  such that

$$\langle Tu^*, \eta(v, u^*) \rangle + f(v) - f(u^*) \geq 0, \quad \forall v \in D. \quad (2)$$

In [1] Ansari and Yao introduced the concept of  $\eta$ -cocoercivity,  $\eta$ -strong monotonicity, and  $\eta$ -strong convexity of a mapping, which generalize the definitions of cocoercivity [6], strong monotonicity [3], and strong convexity [3], respectively. They applied the auxiliary variational inequality technique to suggest an iterative algorithm for finding the approximate solutions of MVLIP and proved that these approximate solutions converge to the exact solution of MVLIP.

Inspired by the work in [1], we consider and study a class of mixed quasi-variational inequality problems in the setting of Banach spaces.

Let  $D$  be a nonempty convex subset of a real Banach space  $V$ , let  $V^*$  be the topological dual space of  $B$ , and let  $\langle u, v \rangle$  be the duality pairing between  $u \in V^*$  and  $v \in V$ . Let  $T, A: D \rightarrow V^*$ ,  $P: V^* \times V \rightarrow V^*$ , and  $\eta: D \times D \rightarrow V$  be mappings and  $w^* \in V^*$ . Let  $\varphi: V \times V \rightarrow \mathbb{R} \cup \{\infty\}$  be a real bifunction. The *mixed quasi-variational inequality problem* (MQVLIP) is to find  $u \in D$  such that

$$\langle P(Tu, Au), \eta(v, u) \rangle + \varphi(v, u) \geq \langle w^*, \eta(v, u) \rangle + \varphi(u, u), \quad \forall v \in D \quad (3)$$

In this paper, we propose a new iterative algorithm for computing the approximate solution of MQVLIP (3). Our proposed algorithm is an extension and generalization of Ansari and Yao's [1] iterative algorithm.

## PRELIMINARIES

In this section we will recall some definitions and known results.

**Definition 1.** Let  $D$  be a nonempty subset of a Banach space  $V$  with the dual space  $V^*$ . Let  $T: D \rightarrow V^*$  and  $\eta: D \times D \rightarrow V$  be two mappings. Then

- (i)  $T$  is called  $\eta$ -monotone, if

$$\langle Tu - Tv, \eta(u, v) \rangle \geq 0, \quad \forall u, v \in D; \quad (4)$$

- (ii)  $T$  is called  $\eta$ -strongly monotone, if there exist a constant  $\beta > 0$ , such that

$$\langle Tu - Tv, \eta(u, v) \rangle \geq \beta \|u - v\|^2, \quad \forall u, v \in D; \quad (5)$$

- (iii)  $T$  is called  $\eta$ -cocoercive, if there exist a constant  $\xi > 0$ , such that

$$\langle Tu - Tv, \eta(u, v) \rangle \geq \xi \|Tu - Tv\|^2, \quad \forall u, v \in D; \quad (6)$$

- (iv)  $T$  is called Lipschitz continuous, if there exists a constant  $L > 0$ , such that

$$\|Tu - Tv\| \leq L \|u - v\|, \quad \forall u, v \in D; \quad (7)$$

- (v)  $\eta$  is called Lipschitz continuous, if there exists a constant  $\delta > 0$ , such that

$$\|\eta(u, v)\| \leq \delta \|u - v\|, \quad \forall u, v \in D_1 \tag{8}$$

**Lemma 2.** Let  $\eta(v, \cdot): D \rightarrow V$  and  $K'$  be a sequentially continuous from the weak topology to the weak topology and from the weak topology to the strong topology, respectively, where  $v$  is any fixed point in  $D$ . Then the function  $g: D \rightarrow \mathbf{R}$ , defined as  $g(u) = \langle K(u), \eta(v, u) \rangle$  for each fixed  $v \in D$ , is weakly sequentially continuous on  $D$ .

**Lemma 3 (Fan-KKM).** Let  $D$  be an arbitrary nonempty subset in a topological vector space  $E$ , and let  $G: D \rightarrow 2^E$  be a KKM mapping. If  $G(u)$  is closed for all  $u \in D$  and is compact for at least one  $u \in D$ , then  $\bigcap_{u \in D} G(u) \neq \emptyset$ .

**Proposition 5.** Let  $K$  be a differentiable  $\eta$ -strongly convex functional with constant  $\mu > 0$  on a convex subset  $D$  of  $V$ , and let  $\eta: D \times D \rightarrow V$  be a mapping such that  $\eta(u, v) + \eta(v, u) = 0$ , for all  $u, v \in D$ . Then  $K'$  is  $\eta$ -strongly monotone with constant  $\mu > 0$ .

**Definition 6.** The bifunction  $\varphi: V \times V \rightarrow \mathbf{R} \cup \{\infty\}$  is said to be *skew-symmetric* if

$$\varphi(u, u) - \varphi(u, v) - \varphi(v, u) + \varphi(v, v) \geq 0, \quad \forall u, v \in V.$$

### ITERATIVE ALGORITHM

In this section, following the approach of Ansari and Yao [1], we will apply the auxiliary variational inequality technique to suggest a general algorithm for finding approximate solutions of MQVLIP (3) with skew-symmetric term  $\square(\cdot; \cdot)$ . Moreover, we will also study convergence analysis of proposed algorithm.

**Algorithm.** Let  $K: D \rightarrow \mathbf{R}$  be a given Fréchet differentiable functional, let  $\{\rho_n\}_{n=0}^{\infty}$  be a sequence

of positive parameters, and let  $u_0$  be any initial guess in  $D$ . For each given iterate  $u_n \in D$ ,

consider the following auxiliary variational inequality problem: find  $u_{n+1} \in D$ , such that

$$\begin{aligned} \langle \rho_n P(Tu_n, Au_n) - \rho_n w^* + K'(u_{n+1}) - K'(u_n), \eta(v, u_{n+1}) \rangle + \rho_n \varphi(v, u_{n+1}) \\ \geq \rho_n (\langle w^*, \eta(v, u_{n+1}) \rangle + \varphi(u_{n+1}, u_{n+1})), \quad \forall v \in D, \end{aligned} \tag{9}$$

where  $K'(u)$  is the Fréchet derivative of a function  $K: D \rightarrow \mathbf{R}$  at  $u \in D$ .

**Theorem 7.** Let  $D$  be a nonempty close convex subset of a reflexive Banach space  $V$  with the dual space  $V^*$ . Let  $T, A: D \rightarrow V^*$ ,  $P: V^* \times V^* \rightarrow V^*$ , and  $\eta: D \times D \rightarrow V$  be mappings. Let  $w^* \in V^*$  and

$\varphi: V \times V \rightarrow \mathbf{R} \cup \{\infty\}$  be skew-symmetric and weakly continuous, such that for each  $v \in V$ ,  $\text{int}(\text{dom}\varphi(\cdot, v)) \cap D \neq \emptyset$  and  $\varphi(\cdot, v)$  is proper convex. Suppose that  $K: D \rightarrow \mathbf{R}$  is  $\eta$ -strongly convex with constant  $\mu > 0$ , and  $K'$  is sequentially continuous from the weak topology to the strong topology. Suppose also that

- (i) the mapping  $u \rightarrow P(Tu, Au)$  is  $\eta$ -cocoercive with constant  $\nu > 0$ ;
- (ii)  $\eta$  is Lipschitz continuous with constant  $\delta > 0$ , such that
  - (a)  $\eta(u, v) = \eta(u, z) + \eta(z, v)$  for each  $u, v, z \in D$
  - (b)  $\eta(\cdot, \cdot)$  is affine in the first variable,
  - (c) for each fixed  $v \in D$ ,  $u \rightarrow \eta(v, u)$  is sequentially continuous from the weak topology to the weak topology;
- (iii) for each fixed  $n \geq 0$  and  $z \in D$ ,

$$\{u \in D: \langle \rho_n P(Tz, Az) + K'(u), \eta(v, u) \rangle + \rho_n \varphi(v, u) \geq \langle \rho_n w^* + K'(z), \eta(v, u) \rangle + \rho_n \varphi(u, u)\}$$

is bounded for at least one  $v \in D$ .

Then, there is a unique solution  $u_{n+1} \in D$  to problem (9) for each given iterate  $u_n$ .

**Proof.** *Existence of solutions of problem (9).* For each fixed  $n \geq 0$  and each  $v \in D$ , we define

$$G(v) = \{u \in D: \langle \rho_n P(Tz, Az) + K'(u), \eta(v, u) \rangle + \rho_n \varphi(v, u) \geq \langle \rho_n w^* + K'(z), \eta(v, u) \rangle + \rho_n \varphi(u, u)\}.$$

Note that, since  $v \in G(v)$ ,  $G(v)$  is nonempty for each  $v \in D$ . Now we claim that  $G$  is a KKM mapping. Indeed suppose that there exists a finite subset  $\{v_1, v_2, \dots, v_k\}$  of  $D$  and that  $\alpha_i \geq 0$ , for all  $i=1, 2, \dots, k$ , with  $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$  such that  $\hat{u} = \sum_{i=1}^k \alpha_i v_i$  is not in  $G(v_i)$ , for all  $i=1, 2, \dots, k$ , that is

$$\langle \rho_n P(Tu_n, Au_n) + K'(\hat{u}), \eta(v_i, \hat{u}) \rangle + \rho_n \varphi(v_i, \hat{u}) < \langle \rho_n w^* + K'(u_n), \eta(v_i, \hat{u}) \rangle + \rho_n \varphi(\hat{u}, \hat{u})$$

$\forall i=1, 2, \dots, k.$

Since  $\varphi(\cdot, v)$  is proper convex for each  $v \in V$ , by virtue of assumptions (a) and (b) in (ii), we have

$$0 = \langle \rho_n P(Tu_n, Au_n) + K'(\hat{u}), \eta(\hat{u}, \hat{u}) \rangle + \rho_n \varphi(\hat{u}, \hat{u}) - \langle \rho_n w^* + K'(u_n), \eta(\hat{u}, \hat{u}) \rangle - \rho_n \varphi(\hat{u}, \hat{u}) =$$

$$= \langle \rho_n P(Tz, Az) + K'(\hat{u}), \eta(\sum_{i=1}^k \alpha_i v_i, \hat{u}) \rangle + \rho_n \varphi(\sum_{i=1}^k \alpha_i v_i, \hat{u}) - \langle \rho_n w^* + K'(u_n), \eta(\sum_{i=1}^k \alpha_i v_i, \hat{u}) \rangle - \rho_n \varphi(\hat{u}, \hat{u}) < 0,$$

Which yields a contradiction. Therefore  $G$  is a KKM mapping.

Since  $K'$  is sequentially continuous from the weak topology to the strong topology, and  $\varphi(\cdot, \cdot)$  is weakly continuous on  $V \times V$ , so it follows from condition (ii)(c) and Lemma 2 that

$G(v)$  is a weakly closed convex subset of  $D$  for each  $v \in D$ . Moreover from condition (iii) we know that  $G(v)$  is weakly compact for at least one point  $v \in D$ . Hence by using Lemma 3 we have  $\bigcap_{v \in D} G(v) \neq \emptyset$ , which clearly implies that there exists at least one solution to problem (9).

*Uniqueness of solutions of problem (9).* Let  $u_1$  and  $u_2$  be two solutions of problem (9). Then,

$$\langle \rho_n P(Tu_n, Au_n) + K^r(u_1), \eta(v, u_1) \rangle + \rho_n \varphi(v, u_1) \geq \langle \rho_n w^* + K^r(u_n), \eta(v, u_1) \rangle + \rho_n \varphi(u_1, u_1),$$

$$\langle \rho_n P(Tu_n, Au_n) + K^r(u_2), \eta(v, u_2) \rangle + \rho_n \varphi(v, u_2) \geq \langle \rho_n w^* + K^r(u_n), \eta(v, u_2) \rangle + \rho_n \varphi(u_2, u_2),$$

for all  $v \in D$ .

Taking  $v=u_2$  in the first relation and  $v=u_1$  in the second relation, we obtain

$$\langle K^r(u_1) - K^r(u_2), \eta(u_1, u_2) \rangle \leq 0.$$

Since  $K^r$  is  $\eta$ -strongly monotone with constant  $\mu > 0$  by Proposition 4, from relation above we have

$$\mu \|u_1 - u_2\|^2 \leq \langle K^r(u_1) - K^r(u_2), \eta(u_1, u_2) \rangle \leq 0,$$

and so  $u_1 = u_2$ . This shows that the solution of problem (9) is unique.  $\square$

## REFERENCES

- [1] Q. H. Ansari and J. -C. Yao, *Iterative schemes for solving mixed variational-like inequalities*, Journal of Optimization Theory and Applications 108 (2001), no. 3, 527-541.
- [2] N. H. Dien, *Some remarks on variational-like and quasivariational-like inequalities*, Bulletin of the Australian Mathematical Society 46 (1992), no. 2, 335-342.
- [3] S. Karamardian, *The nonlinear complementarity problem with applications. II*, Journal of Optimization Theory and Applications 4 (1969), no. 3, 167-181.
- [4] M. A. Noor, *Variational-like inequalities*, Optimization 30 (1994), no. 4, 323-330.
- [5] A. H. Siddiqi, Q. H. Ansari and R. Ahmad, *Some remarks on variational-like inequalities*, Mathematics and Its Applications in Industry and Business (A. H. Siddiqi and K. Ahmad, eds.), Narosa, New Delhi, 2000, 101-108.
- [6] P. Tseng, *Further applications of a splitting algorithm to decomposition in variational inequalities and convex programming*, Mathematical Programming, Series B 48 (1990), NO. 2, 246-263.

---

\* Corina CHIRIAC, lector univ. dr. ,Universitatea "George Baritiu", Brasov, Str. Lunii nr. 6, tel. 0238 711125, e-mail: [corinalchiriac@yahoo.com](mailto:corinalchiriac@yahoo.com)

## COMMON PROBABILISTIC REPARTITION FOR PRODUCTION FACTOR AND COST OF PRODUCTION LEVEL

Daniela Damian\*

*Abstract: This article present two probabilistic distribution. The first refers to the distribution of a production factor in more then one act of production. The second distribution refers to the cost of production level. Combining the two distributions in a common distribution is the goal of this paper.*

*Keywords: Probability density function, the mean value of production costs level and variance of production cost level per elements act of production, quantity units and price units.*

MSC 2000 Classification: 46N30.

### I. Introduction

In this model I will use two probabilistic repartition. First we consider the probabilistic repartition for one production factor per element „act of production”. So we consider that this factor  $F_{ti}$  ( $i=1,2,\dots, I_t$ ) is used in all act of production  $i=1,2,\dots, I_t$  by an enterprise. We can set the probabilities on elements „acts of production”:  $\Pr_{AP}(F_t = F_{ti})$  ( $i=1,2,\dots, I_t$ )

where  $\sum_{i=1}^{I_t} \Pr_{AP}(F_t = F_{ti}) = 1$

This probabilities can be interpreted as relative frecvences of using the production factor in each act of production because the sum of the relative frecvences is one. Each act of production is caracterized by the mean value of the cost per „act of production”  $E_{AP}(P_{ti} \cdot Q_{ti})$  for each factor  $F_{ti}$ , then for all acts of production we can write the mean costs as

$$\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ti} \cdot Q_{ti}) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ti}) \quad (1)$$

In the following we will use a transformation of the probability:

Let consider a random variable X with the probability P(x) where  $-\infty < x < +\infty$

$$\frac{h(x)}{E[h(x)]} P(x) = P^*(x)$$

So according to this transformation we can write a repartition of this factor on all acts of production per elements „cost units.

$$\Pr_{\text{cost}}(F_t = F_{ii}) = \frac{E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii})}{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii})} \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii}) \quad (2)$$

Because  $E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii}) \geq 0$

This transformation fulfils the conditions for probability repartition.

It is valid  $0 \leq \Pr_{\text{cost}}(F_t = F_{ii}) \leq 1$   $i=1, 2, \dots, I_t$

$$\sum_{i=1}^{I_t} \Pr_{\text{cost}}(F_t = F_{ii}) = 1$$

So it has be found a repartition of the characteristic „factor” on cost units.

Analogosly we can find a repartition of the characteristic „factor” per „quantity units”

$$\Pr_{UC}(F_t = F_{ii}) = \frac{E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ii})}{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ii})} \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii})$$

Because the denominator is a sum for all index  $i$ , we will consider all quantities, not just a particular quantity  $q_{ii}$ , so the repartition became

$$\Pr_{UC}(F_t = F_{ii}) = \frac{E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ii})}{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii})} \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii}) \quad (3)$$

The second repartition is the repartition of the cost level.

We consider the random variable cost  $P_{ii} \cdot Q_{ii}$  given with the density function  $f_{AP}(p_{ii}, q_{ii}) = f_{AP, \text{cost}}(p_{ii} \cdot q_{ii})$  and the mean value  $E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii})$ .

In the periode  $Z_0$  we have a mean value of the costs  $E_{AP}(P_{0i} \cdot Q_{0i})$ . So we define the cost level as

$$Y_{ii} = \frac{P_{ii} \cdot Q_{ii}}{E_{AP}(P_{0i} \cdot Q_{0i})} \quad (4)$$

With the density function

$$f_{AP}(y_{ii}) = E_{AP}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot f_{AP, \text{cost}}[E_{AP}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{ii}] \quad (5)$$

The mean value of the cost level is

$$E_{AP}(Y_{ii}) = E_{AP}\left[\frac{P_{ii} \cdot Q_{ii}}{E_{AP}(P_{0i} \cdot Q_{0i})}\right] = \frac{E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii})}{E_{AP}(P_{0i} \cdot Q_{0i})} \quad (6)$$

For a repartition of the cost level on elements „quantity units” we consider the random variable

$$Y_{(UC)ii} = \frac{q_{ii} \cdot P_{ii} | q_{ii}}{E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i})} \quad (7)$$

The resulted density function is

$$f_{UC}(y_{ii}) = E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot f_{UC, \text{cost}}[E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{ii}] \quad (8)$$

For the density function we can also use the following formula

$$f_{UC}(y_{ii}) = E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \frac{E_{AP}(q_{ii} \cdot P_{ii} | q_{ii})}{E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ii})} f_{AP, \text{cost}}[E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{ii}] \quad (9)$$

$$q_{ii} \cdot P_{ii} | q_{ii} = y_{(UC)ii} \cdot E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \quad (7)$$

$$f_{UC}(y_{ti}) = E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \frac{E_{AP}(y_{(UC)ti} \cdot E_{UC}(Q_{0i} \cdot P_{0i}))}{E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ti})} \cdot f_{AP, \text{cost}}[E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{(UC)ti}] \quad (10)$$

## II. Common Probabilistic Repartition for Production Factor and Cost of Production Level per elements „act of production”

In the model there was presented two probability repartition wich we will now contain in a common repartition.

Both the variable „cost level” and the characteristic „factor” per „acts of production” are dimensionless so the repartition can be presented on the same dial.

The random variable „cost level”  $Y_{ti}$  sis formed under the existing condition of a production factor  $F_{ti}$  in the act of production  $i$ . We use this propriety to write the random variable „cost level” as a conditioned variable

$$Y_{ti} = Y_t | (F_t = F_{ti}) \quad i=1, 2, \dots, I_t \quad (12)$$

accordingly the density function of „cost level” per elements „act of production” can be written as

$$f_{AP}(y_{ti}) = f_{AP}(y_t | (F_t = F_{ti})) \quad i=1, 2, \dots, I_t \quad (13)$$

For the factor  $F_{ti}$  used in the  $i$  acts of production the probability repartition per act of production is given as

$$\Pr_{AP}(F_t = F_{ti}) \quad i=1, 2, \dots, I_t \quad (14)$$

Now we can form easily a „common repartition of the cost level and factor per acts of production”.

$$f_{AP}(y_{ti}; F_t = F_{ti}) = f_{AP}(y_t | (F_t = F_{ti})) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ti}) \quad (15)$$

where

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{i=1}^{I_t} f_{AP}(y_{ti}; F_t = F_{ti}) dy_t = 1 \quad (16)$$

## III. Common Probabilistic Repartition for Production Factor and Cost of Production Level per elements „quantity units”

We consider the density function of the common repartition of „cost level” and „factor per acts of production” per elements „quantity units”

$$f_{UC}(y_{ti}; F_t = F_{ti}) = f_{UC}(y_t | (F_t = F_{ti})) \cdot \Pr_{UC}(F_t = F_{ti})$$

From the relation (10) we have:

$$f_{UC}(y_{ti}) = f_{UC}(y_t | F_t = F_{ti}) = E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \frac{E_{AP}(q_{ti} \cdot P_{ii} | q_{ti})}{E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ti})} f_{AP, \text{cost}}[E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{ti}] \quad (17)$$

then

$$f_{UC}(y_{ti}; F_t = F_{ti}) = E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \frac{E_{AP}(y_{(UC)ti} \cdot E_{UC}(Q_{0i} \cdot P_{0i}))}{E_{AP}(P_{ii} \cdot q_{ti})} \cdot f_{AP, \text{cost}}[E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{(UC)ti}] \cdot \Pr_{UC}(F_t = F_{ti})$$



$$f_{UC}(y_{ii}; F_t = F_{ii}) = E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot E_{AP}(y_{(UC)ii} \cdot E_{UC}(Q_{0i} \cdot P_{0i})) \cdot f_{AP, \cos t} [E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{(UC)ii}] \cdot \frac{\Pr_{AP}(F_t = F_{ii})}{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii}) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii})}$$

We consider the following condition true:

$$(q_{ii} \cdot P_{ii} | q_{ii}) \cdot f_{AP, \cos t}(E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{(UC)ii}) = y_{(UC)ii} \cdot f_{AP}(y_{(UC)ii})$$

then

$$E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot f_{AP, \cos t}(E_{UC}(P_{0i} \cdot Q_{0i}) \cdot y_{(UC)ii}) = f_{AP}(y_{(UC)ii}) = f_{AP}(y_{(UC)ii} | F_t = F_{ii})$$

So the common density function becomes

$$f_{UC}(y_{ii}; F_t = F_{ii}) = \frac{E_{AP}(q_{ii} \cdot P_{ii} | q_{ii}) \cdot f_{AP}(y_t | F_t = F_{ii}) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii})}{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii}) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii})}$$

We observe immediately that:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{I_t} \int_{-\infty}^{+\infty} f_{UC}(y_{ii}; F_t = F_{ii}) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii}) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii})}{\sum_{i=1}^{I_t} E_{AP}(P_{ii} \cdot Q_{ii}) \cdot \Pr_{AP}(F_t = F_{ii})} \cdot f_{AP}(y_t | F_t = F_{ii}) dy_t = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} f_{AP}(y_t | F_t = F_{ii}) dy_t = 1 \end{aligned}$$

It has been considered that because the denominator is a sum for all index  $i$ , we will consider all quantities, not just a particular quantity  $q_{ii}$ , so  $q_{ii} \cdot P_{ii} | q_{ii} = P_{ii} \cdot Q_{ii}$ .

## 1. References

1. Lange, K.: Eine Theorie der Preisstatistik: Preis, Preisrelation, Preisindex, Editura Vandenhoech und Ruprecht, 1979.
2. Tabachnick, B., Fidell, L.: *Using Multivariate Statistics*. Editura Allyn & Bacon,
3. Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden, vol II*. Editura Springer, 2003.
4. Damian, D.: *A Probabilistic Distribution Model for Production Costs per Quantity Units*. - Vol. 20-th Scientific Session on Mathematics And Its Applications, „Transilvania” University Press, Braşov, ISBN (10) 973-635-854-2, pag. 27-30, 2006.
5. David, N., Sasu, A., *Bivariate Distributions Usable in Stochastic Simulation*, 19<sup>th</sup> Scientific Session on Mathematics and its Applications, Brasov, ISBN 973-635-605-1, pag. 37-42, 2005.
6. Damian, D., David, N., Ratiu, I.G., *Applications to Production Costs Distribution Using Informatic Technologies*, “New Challenges in the Field of Military Sciences 2007”, 5TH International Conference, Zrínyi Miklós National Defence University, Bolyai János Military Technical Faculty, 13-14 November 2007, Budapest, Hungary, Proceedings V, Logistics Section, ISBN 978-963-87706-0-8.
7. Mezey, G., *Selling uncertainty*, Budapest, HM EIRt-BMGE, pag.63, 2003.

\* Daniela Damian, Dept. of Economic Science, “George Bariţiu” University of Braşov, e-mail: dana.damian@yahoo.com

## CONSIDERAȚII ASUPRA ENTROPIEI ȘI APLICAȚII

Nicoleta DAVID\*

**Abstract:** *This paper presents some aspects of the entropy in information theory in the context of Markov chains modeling. We present a derivation of the Asymptotic Equipartition Property (AEP) that is a direct consequence of the law of the large numbers. We describe some applications of AEP in web data mining.*

**Keywords:** *information theory, entropy, Markov chain.*

**2000 Mathematics Subject Classification:** 94A15, 60J27.

### I. Elemente de teoria informației

Teoria informației este o ramură a matematicii aplicate ce tratează cuantificarea informației. Deși s-au găsit aplicații în domenii ca rețele, statistică, biologie, analiza datelor și alte domenii, totuși teoria informației este utilizată în general în studiul comunicațiilor.

În teoria informației se utilizează un concept fundamental, acela de *entropie*, care este exprimat în mod uzual ca numărul mediu de biți necesari pentru stocarea datelor sau comunicația datelor. Intuitiv, entropia exprimă nesiguranța dintr-o variabilă aleatoare.

În anul 1924, Harry Nyquist a dezvoltat câteva idei de teoria informației bazate pe ideea că toate evenimentele au aceeași probabilitate. Articolul său "*Certain Factors Affecting Telegraph Speed*" conține o secțiune teoretică despre viteza liniei la care poate fi transmisă informația într-un sistem de comunicație.

Mai târziu, în anul 1928, Ralph Hartley a scris articolul "*Transmission of Information*" în care a utilizat noțiunea de *informație* ca și cantitate măsurabilă.

În anul 1948 matematicianul Claude E. Shannon a pus fundamentele teoriei informației prin articolul "*A Mathematical Theory of Communication*". Ulterior, în anul 1963, Shannon și-a extins ideile din acest articol într-o carte împreună cu Warren Weaver intitulată "*The Mathematical Theory of Communication*".

Shannon tratează problema transmiterii mesajelor de la o sursă către un destinatar, printr-un canal de comunicație. El a introdus în mod revoluționar modelul calitativ și cantitativ al comunicației ca un proces statistic din teoria informației.

Teoria informației și-a găsit aplicabilitate mai târziu în termodinamică, prin contribuțiile lui Ludwig Boltzmann. În anul 1960 Rolf Landauer a făcut importante conexiuni între entropia informației teoretice și entropia în termodinamică, ideile sale fiind explorate în lucrarea "*Entropy in thermodynamics and information theory*".

## II. Arhitectura aplicațiilor web

### 2.1 Definiții

Un *site web* reprezintă o colecție de hiperdocumente statice prezentate sub formă de cod HTML (Hypertext Markup Language). Datorită dezvoltării tehnologiilor web (browsere, servere web), site-urile web su fost înlocuite cu aplicațiile web. O *aplicație web* este o colecție de programe care generează dinamic hiperdocumentele la cererea făcută de un utilizator al aplicației web.

### 2.2 Componentele unei aplicații web

Aplicațiile web sunt formate din diferite componente care sunt scrise în anumite limbaje de programare și rulează pe mai multe calculatoare dispuse în cadrul unei rețele. Fluxul de date între aceste componente este ilustrat în figura 1.

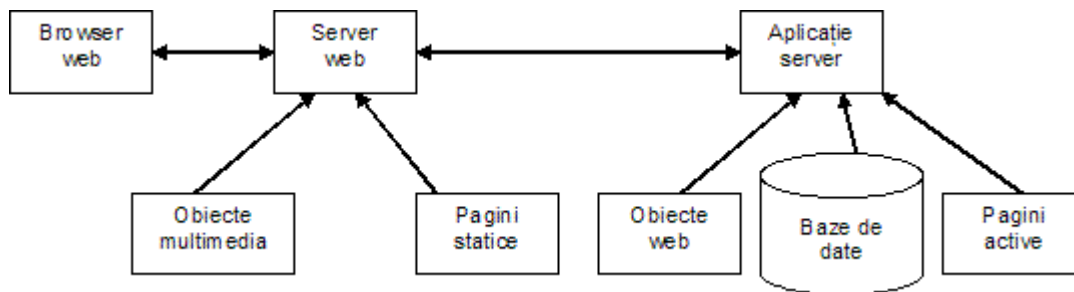


Fig. 1: Fluxul de date între componentele unei aplicații web.

*Paginile statice* conțin numai cod HTML și cod executabil care rulează în browser. Acestea sunt servite de către server și nu sunt prelucrate de către aplicația server.

*Paginile active* se constituie din cod HTML și cod executabil. Când este cerută o pagină activă, aplicația server o procesează și integrează date din obiectele web sau din bazele de date, pentru a genera paginile HTML care sunt trimise către browser. Exemple: Active Server Pages și Java Server Pages.

*Obiectele web* sunt părți ale codului compilat care oferă un serviciu restului de program soft printr-o interfață definită. Ele sunt suportate de tehnologii distribuite ca: EJB, DCOM, CORBA.

*Obiectele multimedia* sunt imagini, fișiere de sunet.

*Bazele de date* sunt structuri organizate în care sunt păstrate informații și date, cu posibilitatea accesării rapide a acestora.

### 2.3 Funcționarea unei aplicații web

În general, aplicațiile Web funcționează astfel:

1. *Oferă o interfață de cerere* - aplicațiile Web oferă utilizatorilor o interfață pentru introducerea datelor. Datele introduse de către utilizatori se numesc *cereri* deoarece sunt utilizate în cadrul unei cereri de la un serviciu de pe serverul Web. Exemple de cereri: căutare într-o bază de date, comandarea unei cărți, cererea unui fișier spre vizualizare;

2. *Transmit cererile definite de utilizatori* - datele completate de către utilizatori sunt trimise către serverul Web;

3. *Execută procesarea datelor pe server* - serverul Web prelucrează datele introduse de către utilizatori;

4. *Transmit rezultatele cererilor* - datele prelucrate sunt transmise către client;

5. *Execută procesarea datelor* - datele returnate de către serverul Web sunt afișate utilizatorului în browser sub forma de cod HTML.

Funcționarea unei aplicații web este ilustrată în figura 2.

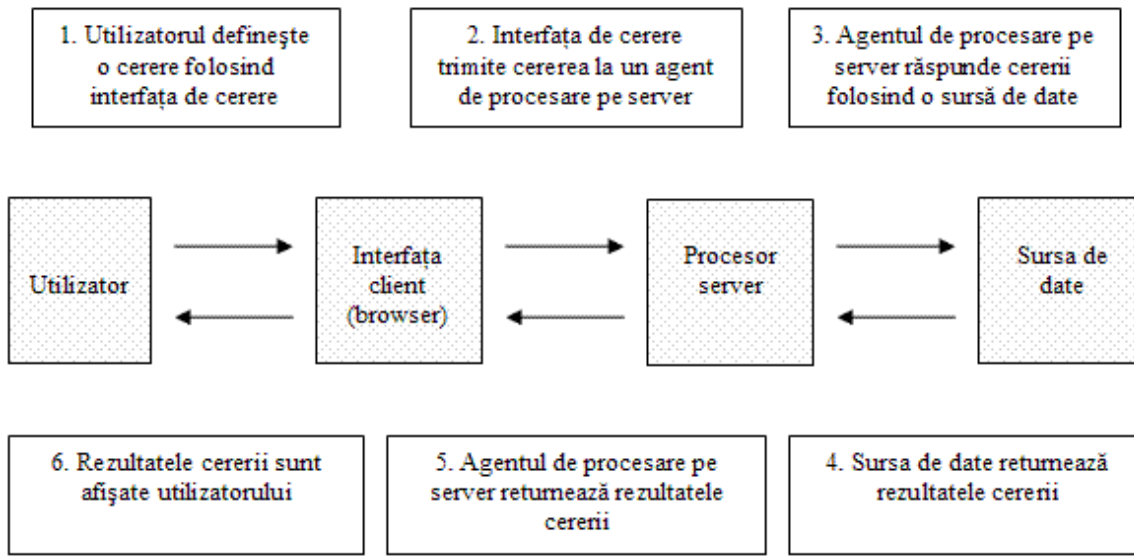


Fig 2.: Funcționarea unei aplicații web.

## 2.4 Tehnologiile folosite în dezvoltarea unei aplicații web

Tehnologiile și instrumentele folosite în dezvoltarea unei aplicații Web se încadrează într-una din următoarele categorii: *stratul de afișare* (GUI - Graphical User Interface), *stratul de comunicare*, *stratul de mijloc* și *stratul de date*. În figura 3 sunt specificate aceste categorii conceptuale.

*Stratul GUI* reprezintă interfața aplicației cu utilizatorul și execută activități de traducere a acțiunilor utilizatorului în instrucțiuni logice executabile. Implementarea unei interfețe grafice cu utilizatorul se realizează folosind limbajul JavaScript pentru animație, validarea formularelor la client, tratarea evenimentelor. VBScript (VisualBasic Scripting Edition) este un limbaj de programare similar cu JavaScript, utilizat pentru includerea controalelor active într-o aplicație web.

Transmiterea informațiilor se face prin intermediul *stratului de comunicare*. Informația trebuie să se transmită intactă și ca urmare programul software și partea de hardware trebuie să urmeze niște reguli stricte de comunicare numite *protocele*. Există trei tipuri de de protocele de comunicare care se folosesc în cazul aplicațiilor web:

1. *Comunicare calculator-calculator*, suportată de protocolul IP;
2. *Encriptarea textului*, făcută în general cu ajutorul cheilor de enciptare publice;
3. *Comunicare software-software*. În general, protocolul TCP mută informația de la nivel de hardware la nivel de software. După ce informația a fost mutată la nivel de software,

pachetele de soft conțin protocoalele de comunicare, respectiv HTTP (Hypertext Transfer Protocol) sau SSL (Secure Socket Layer) în cazul comunicării encriptate.

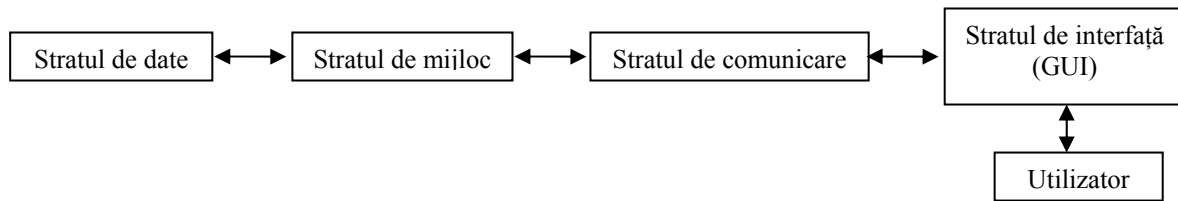


Fig. 3: Tehnologiile folosite în dezvoltarea unei aplicații web.

*Stratul de mijloc* acceptă și procesează cererile, utilizând resursele oferite de server sau de rețeaua de servere și resurse la care este conectat serverul web.

*Stratul de date* afișează datele returnate de serverul web în browser în format HTML. HTML este un limbaj de marcare utilizat pentru crearea paginilor web ce pot fi afișate într-un browser.

### III. Entropia

#### 3.1 Noțiuni introductive

Fie  $\Omega$  o mulțime arbitrară,  $X$  o variabilă aleatoare discretă definită pe mulțimea  $\Omega$  și funcția de probabilitate  $p(x) = P(X = x)$ ,  $x \in \Omega$ .

**Definiția 3.1.** Entropia unei variabile aleatoare  $X$  se definește astfel:

$$H(X) = -\sum_{x \in \Omega} p(x) \log p(x). \quad (1)$$

**Remarca 3.1.** Entropia variabilei aleatoare  $X$  poate fi interpretată ca media variabilei aleatoare  $\log \frac{1}{p(X)}$ , unde  $X$  este în concordanță cu funcția de probabilitate masă  $p(X)$ .

#### 3.2 Proprietatea de echipartiție asimptotică în cazul discret

În teoria informației proprietatea de echipartiție asimptotică (PEA) reprezintă echivalentul legii numerelor mari. Legea numerelor mari spune că, pentru o mulțime de variabile aleatoare independente și identic distribuite  $X_1, X_2, \dots$  avem că  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$  se apropie de media  $M$  pentru valori mari ale lui  $n$ . Proprietatea de echipartiție asimptotică se referă la faptul că  $\frac{1}{n} \log \frac{1}{p(X_1, X_2, \dots, X_n)}$  se apropie de entropia  $H(X)$ .

**Teorema 3.1.** (PEA) Dacă  $X_1, X_2, \dots$  sunt variabile aleatoare independente și identic distribuite cu probabilitatea  $p(x)$ , atunci

$$-\frac{1}{n} \log p(X_1, X_2, \dots, X_n) \xrightarrow{\text{in probabilitate}} H(X) \quad (2)$$

**Demonstrație:**

Funcțiile de variabile aleatoare independente sunt tot variabile aleatoare independente. Rezultă că deoarece  $X_i$  sunt i.i.d., atunci și  $\log p(X_i)$  sunt independente. Așadar, din legea slabă a numerelor mari, rezultă că

$$-\frac{1}{n} \log p(X_1, X_2, \dots, X_n) = -\frac{1}{n} \sum_i \log p(X_i) \xrightarrow{\text{in probabilitate}} M \log p(X_i) = H(X) \quad (3)$$

iar teorema este demonstrată.

**3.3 Proprietatea de echipartiție asimptotică în cazul continuu**

În această secțiune se introduce conceptul de *entropie diferențială*, care este entropia unei variabile aleatoare continue. Entropia diferențială este similară în multe privințe cu entropia unei variabile aleatoare discrete, dar există câteva diferențe importante care necesită atenție în abordarea acestei noțiuni.

**Definiția 3.2.** Fie  $X$  o variabilă aleatoare cu funcția de densitate  $F_X(x) = P(X \leq x)$ . Dacă  $F_X(x)$  este continuă, atunci variabila aleatoare este continuă. Fie  $f(x) = F_X'(x)$  dacă derivata este finită. Dacă  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$ , atunci  $f(x)$  se numește *funcție de densitate de probabilitate* a variabilei aleatoare  $X$ . Mulțimea unde  $f(x) > 0$  se numește *mulțimea suport a lui  $X$* .

**Definiția 3.3.** *Entropia diferențială*  $h(X)$  a unei variabile aleatoare continue  $X$  cu densitatea de probabilitate  $f(x)$  este definită ca

$$h(x) = -\int_S \log f(x) dx \quad (4)$$

unde  $S$  este mulțimea suport a variabilei aleatoare  $X$ .

**Teorema 3.2.** (PEA) Fie o secvență de variabile aleatoare i.i.d.  $X_1, X_2, \dots$  cu funcția de densitate  $f(x)$ . Atunci

$$-\frac{1}{n} \log p(X_1, X_2, \dots, X_n) \xrightarrow{\text{in probabilitate}} M(-\log p(X)) = h(X). \quad (5)$$

**Demonstrație:** demonstrația este similară cu cazul discret.

**IV. Aplicații ale entropiei în modelarea aplicațiilor web**

În literatură există numeroase studii despre modelarea unei aplicații web ca un *lanț Markov finit și ergodic* [1]. În acest model, fiecare sesiune de navigare a utilizatorilor este interpretată ca o secvență din lanțul Markov ergodic. Se presupune că se cunoaște o distribuție inițială empirică. Se consideră că distribuția empirică a probabilităților lanțului Markov este staționară pe o perioadă de timp în concordanță cu probabilitățile de tranziție actuale.

Entropia lanțului Markov este esențială în această abordare. Distribuția empirică fiind staționară în timp, rezultă că entropia unei *secvențe tipice* este apropiată de entropia lanțului Markov. Această remarcă este consecința proprietății asimptotice de echipartiție (PAE).

Se consideră lanțul Markov ergodic  $M = (G, P)$ , unde  $G = (N, E)$  este graful asociat, iar nodurile din  $N$  sunt stările lanțului Markov. Fie  $P_{i,j}$  probabilitățile de tranziție asociate arcelor  $(s_i, s_j) \in E$ . De asemenea, probabilitățile  $P_i$  asociate stărilor  $s_i$  sunt probabilitățile inițiale.

Un lanț Markov ergodic are o distribuție staționară notată cu  $\pi$  care satisface egalitatea:

$$\pi P = \pi \tag{6}$$

Entropia unui lanț Markov se definește ca  $H(M) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi_i P_{ij} \log P_{ij}$ .

Distribuția staționară  $\pi$  a lanțului Markov poate fi calculată din fișierele LOG care sunt înregistrate pe server [4]. Această distribuție indică paginile preferate de utilizatori în timpul navigării în aplicația web. Aceasta este o formă de *page ranking*, care poate fi folosită pentru a îmbunătăți relevanța răspunsurilor către utilizatori în cazul motoarelor de cautare.

În consecință, estimând entropia unei secvențe tipice din lanțul Markov și folosind proprietatea PAE, se poate estima entropia întregului lanț.

## Bibliografie

- [1.] **David N.**, *On Some Probability Distributions in Web Surfing*, “New Challenges in the Field of Military Sciences 2007”, Zrínyi Miklós National Defence University, Budapest, Hungary, 2007.
- [2.] **Ratiu I.G., David N.**, *Working with Databases in Java*, Buletinul Stiintific, Academia Fortelor Terestre Sibiu, anul XII, nr 2(24)/2007, pag. 232-237, ISSN 1224-5178.
- [3.] **Janosek M.**, *Modelling and simulation of fighter aviation at averflow air targets*, The 8<sup>th</sup> International Carpathian Control Conference ICC 2007, p. 248-251, ISBN: 978-80-8073-805-1.
- [4.] **Levene M., Loizou G.**, *Computing the Entropy of User Navigation in the Web*, International Journal of Information Technology and Decision Making 2(3): 459-476, 2003.
- [5.] **Mezey G.**, *Mapping to storage of a data model network structure*. 4<sup>th</sup> European Meeting of the Psychometric Society and the Classification Societies, Cambridge UK, 1985.
- [6.] **Damian D.**, *Major Types of Multiple Regression*, 19<sup>th</sup> Scientific Session on Mathematics and its Applications, Brasov, 2005, ISBN 973-635-605-1.

---

\* Nicoleta David, lect. univ. drd., Univ. “George Barițiu” din Brașov, email: nicoletadavid@yahoo.com



## AN INTEGRATED SYSTEM FOR LEARNING AND STUDENTS EVALUATION IN E-LEARNING ENVIRONMENTS

Iuliana DOBRE \*

**Abstract:** *The present article presents a possible solution applicable in e-learning environments a solution deemed to support better the educational process and to increase the effectiveness of this complex process. Designed as a tool for continual improvement the integrated system for learning and students evaluation is considered by the author an important step in developing a modern educational system based on the use of the World Wide Web features. This involves the use of new design models in order to achieve a high quality of the pedagogical act at a low cost and time efficiency.*

**Key words:** *e-knowledge, e-learning, integrated learning-assessment system*

**2000 MSC:** 68N99

### I. Introduction

Today, the network technologies are available to a large number of students many of them having at least a medium level in computers use skills. This is providing since the beginning of the educational process a valuable resource what can be used. An effective handle of this resource capitalized together with the potential of the networked technologies and the instructors' skills can be the problem-solving approach that defines the solution of an educational process developed in an e-learning environment. In the past few years the use of the World Wide Web (WWW) features in the educational process has changed the way how the instructors approach the process (i.e.: teaching practices, curriculum evolving etc.) and the way how students understand to approach the learning in a more effective manner. From this point of view several features of the WWW have been exploited considerably as follows:

- ✓ *Communication features* – These mechanisms, such as: e-mail, Web conferencing, newsgroups, chat rooms etc. have the capability to facilitate the exchange of information and ideas between instructors and students and to provide instructional feedback in a short time and a friendly manner. The communication mechanisms above mentioned shown that it is possible to increase the amount of time available to each student compared to traditional class room communication mechanisms. By increasing this amount of time than a major improvement of the student cognitive skills should appear shortly.

- ✓ *Hypermedia features* – These mechanisms has allowed a significant increase of the interactivity grade by combining the hypertext with multimedia features. Students' involvement in sharing the responsibility for the educational process was developed by accommodating them to explore alternative educational resources and to use those according to their needs. The most known mechanisms used are for example, information seeking, content presentation, exploration activities, and collaboration.
- ✓ *Accessibility of information resources* – This resources are related mainly to structured and unstructured information resources, such as electronic databases, library catalogues, search engines, course materials etc. All these mentioned examples of information resources facilitate the information exchange and improve the dissemination of educational activities to meet the educational objectives.

Practically, if these WWW features are used within an educational constructivist framework than the students can be actively engaged in the continual improvement process of their own educational level making them, in same time, more responsible for the outcomes.

Obviously, the evolution of the modern society has changed dramatically the demands and needs of the individuals from many aspects view becoming more and more complex. One of these aspects is regarding the educational process, a process deemed to prepare the future. In other words we have to ensure the continuity of the present based on the experience accumulated and based on the lessons learned during the time. Without an effective educational process in place will not be any continuity and no future for the modern society.

The Internet has transformed the way how the education it is delivered to individuals [1]. In fact the e-learning environment has been developed on the basis of Internet capability and potential. The author believes that the time to use extensively the e-learning environments has arrived. E-learning is a work environment with a high potential to sustain properly learning and assessment processes, these two processes being the fundamental components of the entire educational process. In the following chapters the author intend to present a possibility for the future, a possibility deemed necessary to enhance the knowledge level and the skills of the individuals.

## **II. Integrated learning – assessment systems in an e-learning environment**

### **2.1 E-learning and e-knowledge – a brief overview**

Theoretically the e-learning can be defined as an educational process what is using almost exclusively the means of information technology and mediated through Internet features. The e-learning process is an organized educational system which is including the specific components what can be encountered within traditional educational systems such as, specific curriculum, learning support, interaction, assessment etc. An e-lesson can have same content like a traditional lesson placed in a classic classroom but different from the point of view of resources involved in carrying out all phases of knowledge building.

An e-learning environment creates the premises of a flexible learning environment using all resources involved with a high rate of effectiveness. The e-learning environment is planned and coordinated by an instructor or a team fact what allowed to build a systematic, continuous and extended knowledge base, this base being possible to be accessed and used at anytime by the students.

The research studies in the psycho-pedagogical domain shown that human beings are able to retain 10% from what we read, 20% from what we hear, 30% from what we see, 70% from what we discuss with others, 80% from what we experience and 95% from what we teach the others [2].

Specialists in e-learning domain consider that this educational process is carried out on the basis of the e-knowledge management [3], through several phases such as, e-knowledge supply, e-knowledge transfer, e-knowledge acquisition and e-knowledge control. In figure 1 it is presented a basic concept of the e-knowledge management phases.

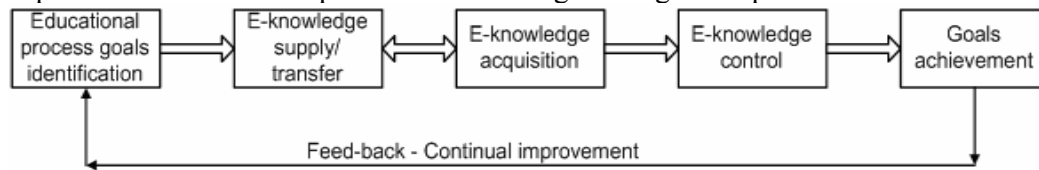


Fig. 1 : A basic concept of the e-knowledge management phases

## 2.1 Integrating learning and assessment – an experimental system

Learning and assessment processes have a fundamental role in education. It seems to be evident that the learning process is the *first brick* in building an effective educational process [4]. The complexity of modern educational systems, mainly based on the WWW, bring about great intricacy in their crafting, as there is recorded thru the research studies carried out world wide an increase of experience in this domain. This involves the use of new instructional design models in order to achieve the education process goals within effective costs, high pedagogical quality. Such models are developed based on the capitalization of the network technologies potential.

The author believes that the future is set apart by the learning – assessment integrated educational systems, systems capable to supply, transfer, acquire and control the knowledge base at high quality levels. Figure 2 is presenting a basic concept of such systems.

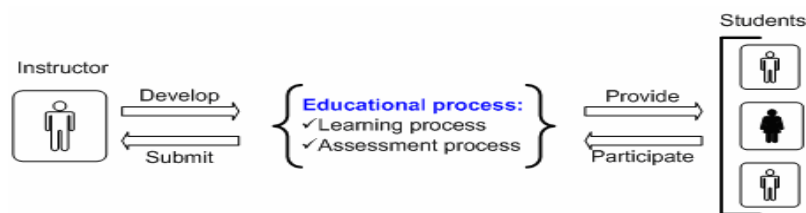


Fig. 2 : A basic concept of the integrated learning-assessment system

As per above concept the instructors are not anymore responsible for the almost entire educational process but they are able to share this responsibility with their students. This type of systems ensures a cyclic improvement of the educational process based on the principle that the knowledge is constructed through the active participation of the students. The instructor develops the courses and provides these to students.

The students process the information received acquire the knowledge and when they are confident that the knowledge base is strong enough to be assessed they will go thru this

process. Also, the students participate in the improvement process providing their feed-back in regards of the courses effectiveness. The system proposed by the author tries to interconnect several sets of learning elements such as, the learning objectives, the curriculum, the assessment procedures etc.

Further, the system uses as implementation solution the implementation by sub-systems: the *learning subsystem* and the *assessment subsystem*. These subsystems are perceived as independent ones, autonomous entities that interact with each other through interfaces. In the figure 3 is presented the proposed integrated system.

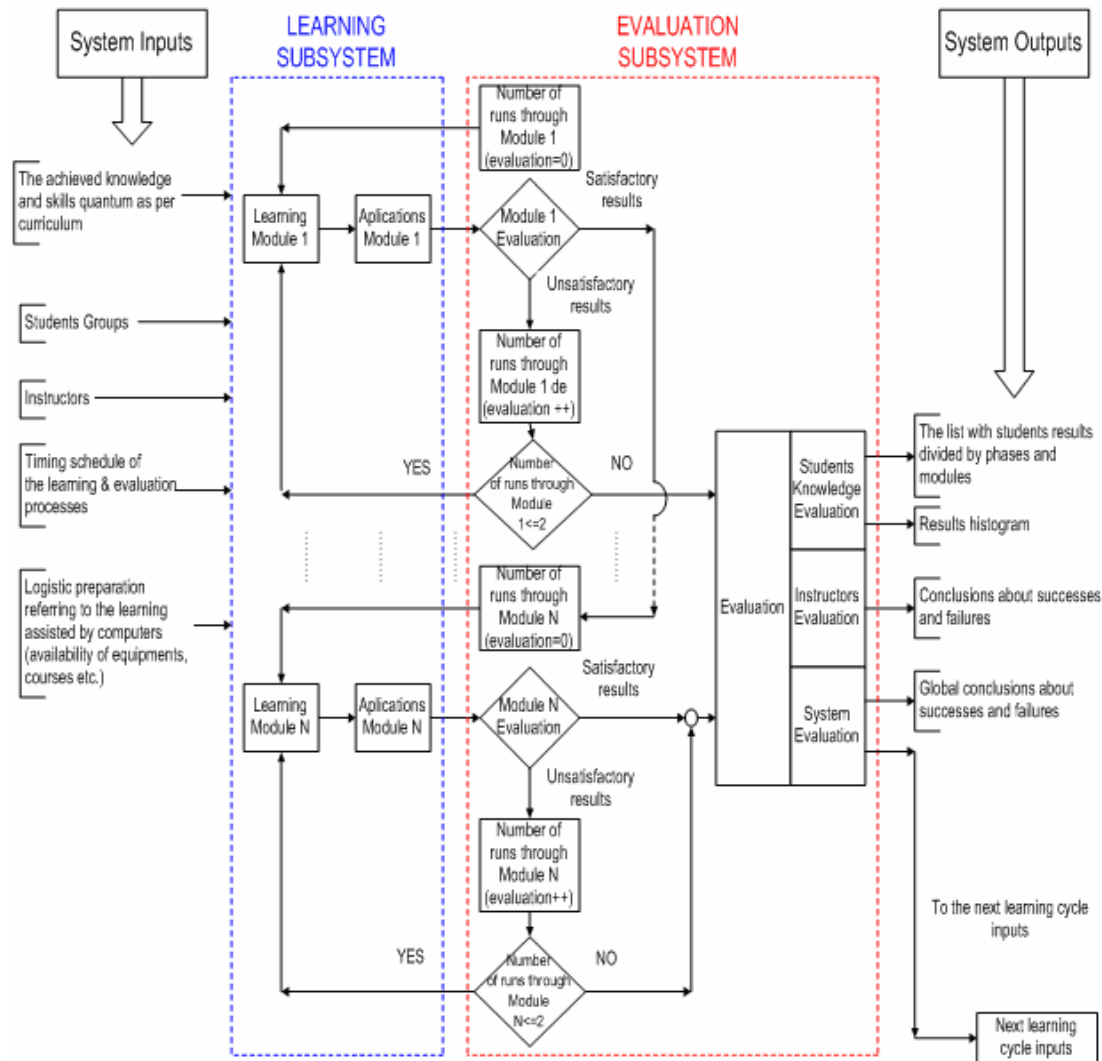


Fig. 3 : The flow chart of the experimental integrated learning – assessment system

The proposed model has been designed as an automated system for learning and assessment covering all phases of knowledge management process.

*System inputs* were defined to meet the individual and group needs and demands on basis of the knowledge and skills necessary to be transferred / acquired and developed.

The logistics aspects concerning the technical resources availability (hardware and software) is also one important system input as well as the timing schedules to accomplish the teaching process and assessment process.

*System inputs* were defined to meet the individual and group needs and demands on basis of the knowledge and skills necessary to be transferred / acquired and developed.

The logistics aspects concerning the technical resources availability (hardware and software) is also one important system input as well as the timing schedules to accomplish the teaching process and assessment process.

*Learning subsystem* is deemed to cover the knowledge supply / transfer phase. The curriculum is transferred in modules containing the learning materials. The students are supplied by the instructors through the web with the necessary information. Each learning module has attached an application module deemed to help students in acquiring the knowledge by practicing.

The *Evaluation subsystem* is dedicated to the knowledge control phase. Being designed as a cyclic system, the students will go through the assessment process once they are confident in their capability to pass that learning module. The system is developing automatically the tests once is receiving the request from the student side. Each student receive a different test like content the system being design to avoid the repetition of the same questions in different tests. Of course, the main requirement in this case is to have a large data base with questions from where the program can generate the tests. However, the assessment process is not referring only to the students but also to their instructors and to the system itself. The idea is not to restrict the use of this integrated system only to the classic educational purposes but also to integrate this one into the quality management systems by providing the necessary support in measuring and the performances, at individual and overall levels. Therefore, a part of the normal tests dedicated to each module the students have the opportunity to evaluate themselves the instructors and the system capabilities by using specific appreciation questionnaires similar with the customer satisfaction questionnaires. At the end of the day, the students can be considered the internal clients of the educational process.

*System outputs* are deemed to be used for continual improvement of the process. These outputs could be used for further discussions or to draw some conclusions about success and failure at individual and group level. The system is capable to build various histograms in order to have a clear picture of the situation at any moment than the conclusions can be easily withdrawn and necessary measures applied.

The system is working in two modes, the *administrator mode* and the *user mode*. Obviously, the administrator mode is dedicated to instructors and the user mode to the students. The administrator of the system could be an individual person or could be a team. However, the team should have a leader with full rights in operating and modifying the system in same time the team members being dedicated to certain sequential activities to support the learning and assessment subsystems.

An administrator will be responsible for defining the system implementation strategy, this implementation process consisting from specific activities what can be carried out once or in repeatable way depending on the requirements at individual level and group level.

Generally, the activities could be as follows:

- ✓ Analysis of the actual situation in the light of the educational process requirements and goals
- ✓ Learning and assessment processes scenario definition
- ✓ E-learning platform selection
- ✓ Authoring tool selection
- ✓ Network capabilities analysis
- ✓ Web-based learning material and assessment modules design & development
- ✓ Provide learning material and assessment modules to the users
- ✓ Tutoring organization by defining the requirements for the logistic needs

The author believes that at this stage and taking into consideration the actual situation when most of the higher education institutions are in the phase to revamp their strategies regarding the educational process a good point for discussion can be the cooperation between these institutions. Seeking for such opportunities, exchanging experience, sharing knowledge etc. can be only beneficial for all parties involved and here the author would like to mention the *end user* of the educational process, which is the modern society represented by the social, political and economical environment. Without a full support coming from these environments the higher education institutions will not be able to move forward in developing new opportunities for knowledge resources development.

### III. Conclusions

Today requirements in higher education teaching involve re-ordering the leap magnitude in the instructors' ability to create, acquire, assimilate and share the knowledge to their students. The available information and communication technologies re-shape on daily basis the educational environment. In the next decade the knowledge sharing methods and techniques will be re-invented significantly. Clearly, at present all these transformation are underway and in the author opinion there is no other option than to follow this mega-trend and to try to contribute as much as possible to the future changes in the benefit of all parties involved in the educational process. Across the globe, we see examples of the e-knowledge revolution [5].

The author believes that integrating learning and assessment by sharing the responsibility of the educational process goals achievement is the proper solution for these incoming transformations. Without considering the proposed experiment as the unique solution the author consider that a web-based integrated system for learning and assessment can support both, undergraduate and postgraduate students as well as the instructors needs and demands with a very high rate of effectiveness.

Development of the knowledge base at individual level, for each student, independently but in same time without moving outside from the modern society requirements is the approaching challenge for the higher education. Today the knowledge is one of the key resources for the human society and the higher education institutions are playing a critical role in developing this valuable asset.

### Bibliografie

- [1] Anil K. Aggarwal, *Web-Based Education: Learning from Experience*, IRM Press (an imprint of Idea Group Inc.), U.S.A., 2003.
- [2] Maria-Ana Lazăr, *Învățarea prin e-learning: azi o provocare, mâine o realitate*, Sesiunea Județeană de Comunicări Științifice a Cadrelor Didactice, Deva, 2005.
- [3] M. Klein, D. Sommer and W. Stucky, *WeBCEIS – A Scenario for Integrating Web-Based Education into Classical Education*, University of Karlsruhe, Germany, 2003.
- [4] Iuliana Dobre, *Aspects of Collaboration Tools in E-Learning*, Buletinul Universității Petrol-Gaze Ploiești, România, 2006.
- [5] D. Norris, J. Mason and P. Lefrere, *Transforming e-Knowledge – A Revolution in the Sharing of Knowledge*, Society for College and University Planning, U.S.A., 2003.

---

\* Dobre, Iuliana, Lector, Universitatea „Petrol-Gaze” Ploiești, iulianadobre@yahoo.com



## **APPLICATION MOODLE AT THE UNIVERSITY OF DEFENCE IN CZECH REPUBLIC**

Robert DRMOLA\*

These days is the word “e-learning” pronounced very often, and it seems that e-learning or the learning management systems are very modern and progressive method, how to increase or optimize quality of teaching at all of schools over the world. At the University of defence in Brno were also installed learning management systems called Moodle and Barborka. This article is specialized to the first one.

### **Basic installation**

At the University of Defence, Faculty of military technologies, Department of information and communication systems, we decided to install and test the world-wide known and recognised application Moodle.

This application was installed at our University in September 2006. Server is provided by the communication and information system department of the faculty of military technologies. The complete installation pack was downloaded from the official web pages moodle.org. It was version 1.8 for OS Microsoft Windows.

A trial computer with configuration Intel Pentium 1,8 GHz, 1024 GB RAM, SATA hard drive 350 GB was selected for installation of this software pack. The computer was equipped with pre-installed OS Microsoft Windows XP Professional with service pack 2. Unfortunately our institution doesn't allow a simple legal change of OS, that is why this version was selected, rather than a prevailing version for OS Linux. The whole installation took about half an hour. During the installation a web server Apache supporting PHP 5 was installed on the computer, as well as the complete MySQL database. The installation process also created a complete structure of tables necessary for basic initialization and the run of the application. For our installation we chose a mode where the web server Apache and MySQL database run on one computer only. The possibility of running these two subsystems separately is also available.



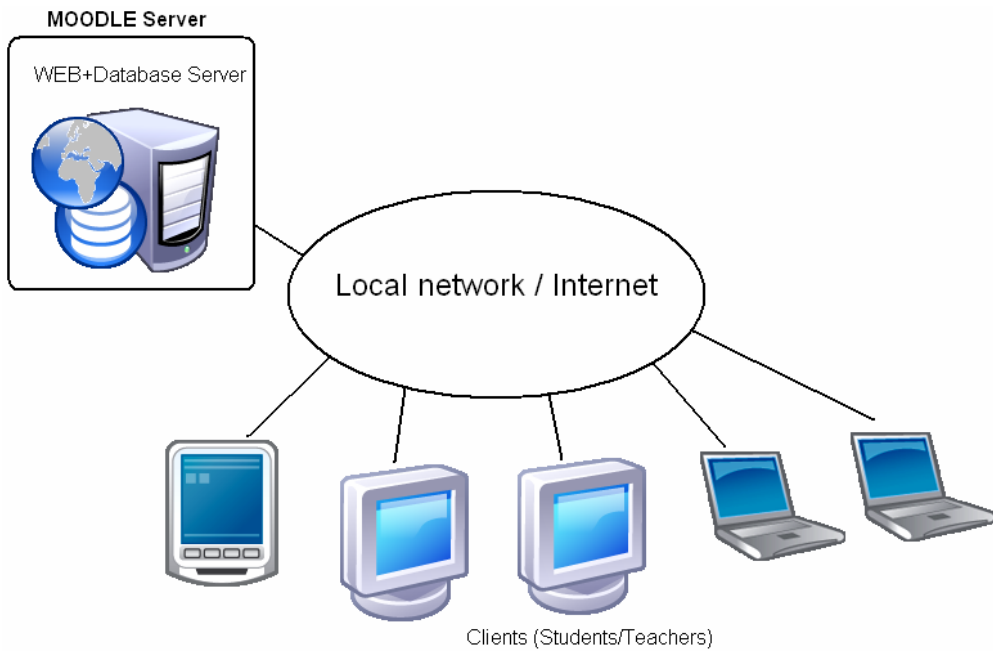


Figure 1. Typical moodle configuration at University of defence - Brno

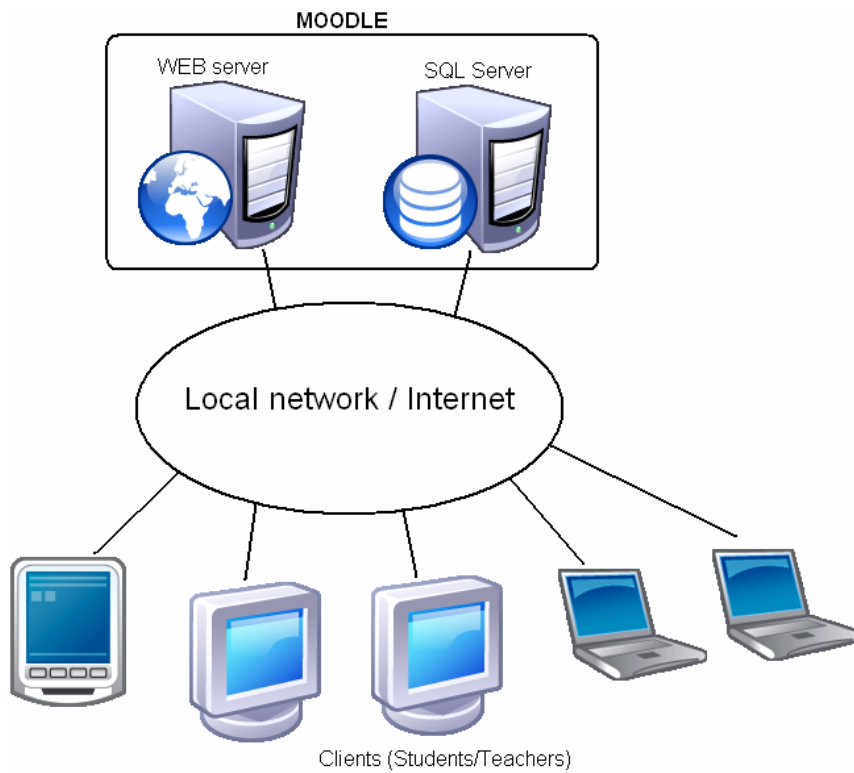


Figure 2. Possible moodle configuration

## Administrator and security

After the installation it was necessary to perform a basic configuration of the whole system. One of the first actions was setting up the administrator's account. This is a user who has supreme powers in the application and is allowed to change all kinds of settings. One of the major requirements was setting up the administrator's password. Great attention was paid by the faculty's department to the security of the system. As a result, the whole system was tested against real kinds of attacks and network abuse. The thorough, in deed detailed, set up of administrator's account took about 3 hrs.

## Graphics and design

The next step was a detailed set up of the graphic interface of the application. The whole system had to be adjusted to match the orientation of the faculty and at the same time to appear balanced and compact. We chose light and dark shades of green in combination with blue colour. Also the logo of the application was re-designed. The logos of the University of defence, Faculty of military technologies, Department of information and communication systems were placed on the initial screen. This part of system configuration was most time demanding out of the whole process. The creation of the graphic layout and the designs of the initial and log-in pages consumed three more days of intensive work.

The screenshot shows the Moodle LMS main screen. At the top, there are logos for the University of Defence, Faculty of Military Technologies, and the LMS Moodle. The main content area is titled 'K209 - Moduly pro reakreditaci Bc. studijního programu Vojenské technologie'. It lists several course categories with expandable icons:

- Informační technologie (IT)**
  - IT 01 - Podpora rozhodování
  - IT 02 - IS a OTS v AČR a jejich tvorba
  - IT 03 - Interoperabilita v NATO
  - IT 04 - Databázové a informační systémy
  - IT 05 - Programové vybavení počítačů a možnosti jejich využití
  - IT 06 - Počítačová grafika
  - IT 07 - Základy algoritmizace a programování v jazyce Pascal
  - IT 08 - Základy algoritmizace a programování v jazyce Visual Basic
  - IT 09 - Základy algoritmizace a programování v jazyce C
  - IT 10 - Základy algoritmizace a programování v jazyce Delphi
  - IT 11 - Základy algoritmizace a programování v jazyce Java
  - IT 12 - Programování webových aplikací - PHP
  - IT 13 - Základy operačních systémů Windows
  - IT 14 - Základy XML
  - IT 15 - Počítačové síťe
  - IT 16 - Základy UNIXu a LINUXu
  - IT 17 - Specializovaný software a počítačové modelování
  - IT 18 - Technické vybavení počítačů
  - IT 19 - Jednočipové mikropočítače a jejich aplikace
  - IT 20 - Moderní programovatelné obvody
  - IT 21 - Úvod do CNA (CISCO Network Academy)
  - IT 22 - Analýza informačních zdrojů
  - IT 23 - Projektové řízení
- Komunikační technologie (KT)**
  - KT 01 - Moderní komunikační technologie pro technické obory
  - KT 02 - Optické komunikační systémy
  - KT 03 - Telekomunikační technika
  - KT 04 - Moderní rádiová technika
  - KT 05 - Softwarová podpora pro komunikační technologie
  - KT 06 - Personální mobilní komunikační prostředky ve vojenském prostředí
- Bezpečnost informací (BI)**
  - BI 01 - Legislativa v oblasti bezpečnosti informací
  - BI 02 - Kryptologie

Other sidebar elements include: 'Hlavní menu' (Main menu), 'Kategorie kurzů' (Course categories), 'Kontakty' (Contacts), 'Hodiny' (Clock), 'Kalendář' (Calendar), and 'Připojení uživatelé' (User connections).

Figure 3. Main screen

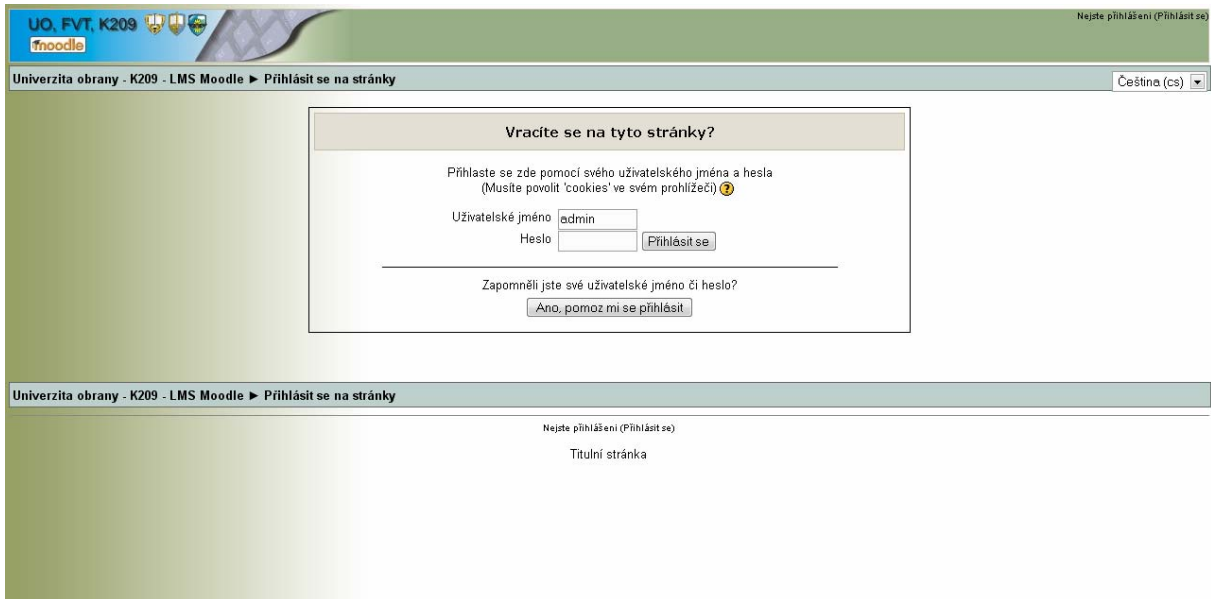


Figure 4. Login screen

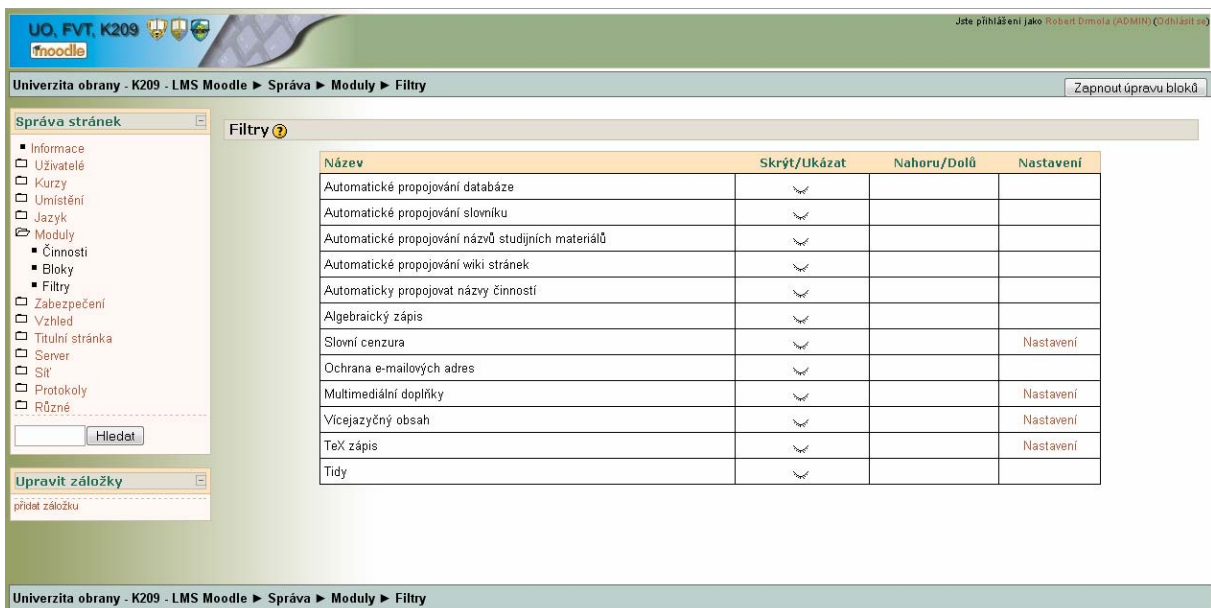


Figure 5. Administrator's pages

## Heart of Moodle

As the next step it was necessary to make the so called Heart of Moodle beat. This is a PHP script cron.php which needs to be launched in regular intervals. This script performs a routine maintenance of the application and ensures the above mentioned heart beat. Typically, it controls discussion forums, distributes regular emails and reports, erases inactive user accounts etc. It is recommended to run this script every 5-10 minutes. In OS Linux is a feature called "cron" used to run this script. Unfortunately, OS Windows is not equipped with such a feature. Although a function "Task scheduler" can be used, its capabilities and reliability are quite limited. As a substitute for cron feature in OS Windows an application MoodleCron has been developed specially for Moodle. Installation of this feature lasts only about 5 minutes.

The only thing left to configure is the interval between running the cron.php script and the path where the script is located. This feature is very reliable and indifferent to the user logged in the system and its requirements to the processor are minimal.

### **User's accounts**

Since Moodle is currently only in the testing period when we are getting acquainted with it, the option of manual creation of user's accounts was selected. Presently we are considering only minimal operation of this application and only trial courses for a limited number of students and teachers of University of defence. The possibilities of this application are, however, much wider. For verification and logging of users almost any database or commonly used and also more elaborate systems like LDAP servers can be used. User accounts can also be created using emails and POP3 or IMAP protocols, including their safer variants based on SSL/TSL. All these methods are more practical for a bigger group of users.

For safety's reasons we chose an option where even teachers can't create users accounts for their students, only request their set up. The creation is then realised by the Moodle administrator. This part of Moodle configuration lasts about 2-3 hrs.

### **Real life with Moodle**

So far Moodle has been successfully running at the University scale for a limited group of students and teachers. Some basic types of courses are being offered. Also the teachers themselves are only getting acquainted with the application and with what this software pack offers and what are the possibilities of a real life with Moodle. Our future plan is to enlarge moodle as standard learning support and using of Moodle as support for NEC.

### **Summary**

Moodle is very dynamic and powerful learning environment based on internet standards. Installation of Moodle can be adjusted to meet concrete education requirements. Community of moodle is permanently growing and moodle is used by large and recognized institutions like universities and high schools all over the world. As moodle is open source software it is often sought by small communities and organizations. There are also many discussion forums on the internet solving possible problems with running this system. In this case, support of moodle is on a very quality and professional level. This is also one of the reasons why moodle is the most popular learning system. The native web page of Moodle project is <http://www.moodle.org> or you can test our installation at our department pages which is placed at <http://k209moodle.unob.cz>.

---

\* Lt. Ing. Robert Drmola, University of defence Faculty of military technologies Communications and information systems department

## THE SHORTEST SPANNING TREE (SST) OF GRAPH

Gabriela – Simona DUMITRESCU \*

---

### **ABSTRACT**

*The shortest spanning tree (SST) of a graph has applications in cases where roads (gas pipelines, electric power lines, etc.) are to be used to connect  $n$  points together in such a way so as to minimize the total length of road that has to be constructed. If the  $n$  points to be connected are on a Euclidian plane, they can be represented as vertices of a complete graph  $G$  with arc costs being the straight line distances between the corresponding end points. The SST of  $G$  is then (provided no road junctions outside the given  $n$  points are allowed) the required minimum-cost road network. If junctions outside the given  $n$  points are allowed, then an even shorter road network may be possible, and finding it is a problem known as Steiner's problem.*

---

Keywords: *spanning tree, graph, Kruskal, Prim.*

---

### **I. INTRODUCTION**

One of the most important concepts of a graph theory, and one which appears often in areas superficially unrelated to graphs, is that of a tree [2].

*Definitions.* The following definitions of a non-directed tree can be quite easily shown to be all equivalent to each other.

A non-directed tree is:

- (1) A connected graph of  $n$  vertices and  $(n-1)$  links,
- or (2) A connected graph without circuit,
- or (3) A graph in which every pair of vertices is connected with one and only one elementary path.

If  $G = (X,A)$  is a non-directed graph of  $n$  vertices, then a *spanning tree* of  $G$  is defined as a partial graph of  $G$  which forms a tree according to the above definition. Thus, if

$G$  is the graph of fig. 1.1(a), then the graph of fig. 1.1(b) is a spanning tree of  $G$ , and so is the graph of fig. 1.1(c). From the above definition it can be seen that a spanning tree of  $G$  could also be considered as a minimal connected partial graph of  $G$  (where “minimal” is used in the sense of no subset of the links of the tree exist which forms a connected partial graph of  $G$ ).

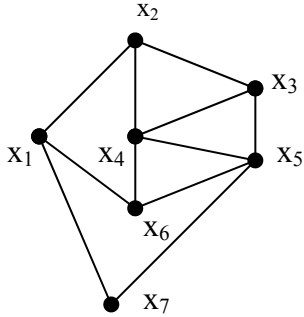


Fig. 1.1.(a)  
Graph  $G$

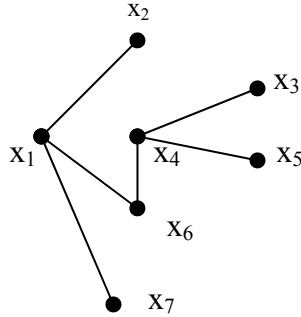


Fig. 1.1.(b)  
A spanning tree of  $G$

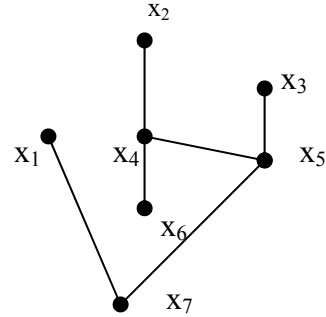


Fig. 1.1.(c)  
Another spanning of  $G$

The concept of the tree as a mathematical entity was first proposed by Kirchhoff [7] in connection with the definition of fundamentals circuits used in the analysis of electrical networks. About 10 years later Cayley [1] rediscovered trees independently and produced most of the early works in this area.

A directed tree (also called an arborescence), is defined in a similar way as follows.

*Definition.* A directed tree is a directed graph without a circuit, for which the in-degree of every vertex, except one (say vertex  $x_1$ ), is unity: the in-degree of  $x_1$  (called the root of the tree) being zero.

Figure 1.2 shows a graph which is a directed tree with vertex  $x_1$  as the root. The above definition immediately implies that a directed tree of  $n$  vertices contains  $(n-1)$  arcs and is connected. It is also quite obvious that not every directed graph has a spanning directed tree, as can, for example, be seen from the graph of fig. 1.3.

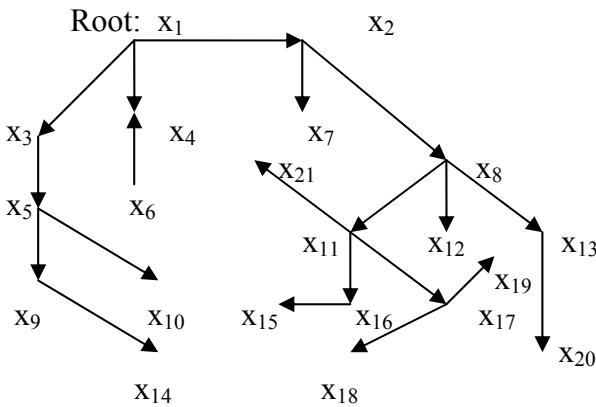


Fig. 1.2. A directed tree

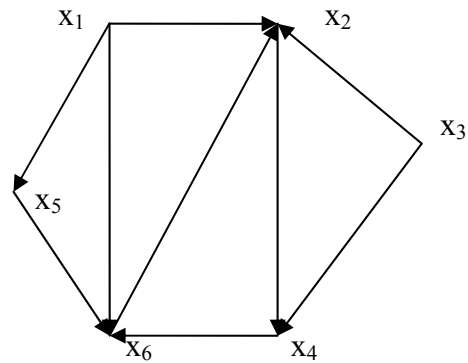


Fig. 1.3 Graph with no directed spanning tree

It should be noted that a non-directed tree can be converted into a directed one by arbitrarily picking any vertex for the root and choosing directions for the links so that there is a path between the root and every other vertex. Conversely, if

The Shortest Spanning Tree (SST) of a Graph

$T=(X,B)$  is a directed tree,  $\bar{T} = (X,\bar{B})$  – where  $\bar{B}$  is the set of arcs  $B$  with their directions disregarded – is a non-directed one.

The “family tree” in which male persons are represented by vertices and arcs are drawn from the parents to their children, is one familiar example of a directed tree, the root being the earliest person in the family that can be identified.

**II. THE SHORTEST SPANNING TREE (SST) OF A GRAPH**

Consider a connected non-directed graph  $G=(X,A)$  with costs  $c_{ij}$  associated with its links  $(x_i,x_j)$ . Of the many spanning trees of  $G$  that may possible, we want to find the one for which the sum of the costs of its links is a minimum. This problem appears, for example, in the case where the vertices are terminals of an electric network which have to be connected together and one wants (in order to minimize stray effects) to use as short a length of wire as possible. Alternatively, if the vertices represent towns to be joined with a pipeline network, the shortest length of pipe that can be used (provided that out-of-town pipe junctions are not allowed) is given by the shortest spanning tree of the corresponding graph. A less direct application of the shortest spanning tree is as an intermediate step in the solution of the traveling salesman problem, itself a problem which often appears in practice.

The SST of a graph bears no relation to the tree giving all shortest paths from a chosen vertex. Thus, for the graph shown in Fig. 2.1 (a), where the numbers next to the links represent link costs, the tree giving all shortest paths from vertex  $x_1$  (say) is shown in Fig. 2.1(b) whereas the SST is shown in Fig. 2.1 (c).

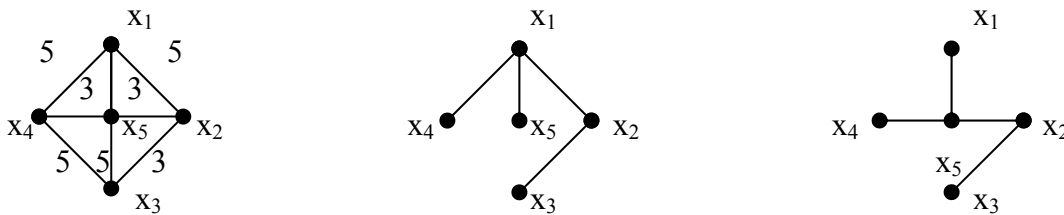


Fig. 2.1 (a) Graph G Fig. 2.1 (b) Shortest path tree from  $x_1$  Fig. 2.1 (c) Shortest spanning tree

The calculation of the shortest spanning tree (SST) of a graph is one of the few problems in graph theory which can be considered completely solved. Thus, let  $T_i$  and  $T_j$  be any two sub-trees produced by the addition of links during the constructions of the SST. If  $T_i$  is also used to represent the set of vertices of the sub - tree, then  $\Delta_{ij}$  can be defined to be the shortest distance from a vertex in  $T_i$  to a vertex in  $T_j$ .

$$\Delta_{ij} = \min [\min \{c(x_i,x_j)\}], \quad i \neq j \tag{2.1}$$

$$x_i \in T_i \quad x_j \in T_j$$

It can then be quite easily shown that a repeated application of the following operation will produce the SST of a graph.

*Operation I:* For some sub-tree  $T_s$ , find that sub-tree  $T_{j^*}$  for which  $\Delta_{sj^*} = \min [\Delta_{sj}]$ , and

let  $(x_s,x_{j^*})$  be the link whose cost produced  $\Delta_{sj^*}$  in equation (2.1).



## The Shortest Spanning Tree (SST) of a Graph

Link  $(\overline{x_s, x_j^*})$  is then in the SST and can be added to the other links of the partially formed SST.

The various methods [8, 11, 9, 10, 3, 6, 4] available for finding the SST are all based on particular cases of the above operation. The first of these is a method due to Kruskal [8].

### 2.1 THE KRUSKAL ALGORITHM

*Step 1:* Start with a completely disconnected graph  $T$  of  $n$  vertices.

*Step 2:* Order the links of  $G$  in ascending order of cost.

*Step 3:* Starting from the top of this list add links into  $T$  provided that this addition does not close a circuit in  $T$ .

*Step 4:* Repeat step 3 until  $(n-1)$  links have been added.  $T$  is then the SST of graph  $G$ .

This algorithm chooses to add into the partially formed tree  $T$  the absolute shortest link which is feasible, rather than simply the shortest link between one sub-tree of  $T$ ,  $T_s$  say, and any other sub-tree (as suggested by Operation I). Since the link chosen is the shortest between some sub-tree and any other sub-tree, the choice rule of this algorithm is a special case of Operation I. The situation may arise in this algorithm in which the next shortest link chosen from the list of step 2 may be between two vertices of the same sub-tree which would then make this link infeasible since its addition would close a circuit. Thus, during step 3, links must be tested for feasibility before they are added to  $T$ .

A computationally more expensive step is step 2, which for a graph with  $m$  links would require of the order of  $m \log_2 m$  operations to produce a complete list of links in ascending order of cost. In general, one would not need the complete list, since it is quite likely that the  $(n-1)$  feasible links forming the SST may be found after examining only the top  $r < m$  of the links in the list. This immediately suggests that the sorting procedure used at step 2 should be a multi-pass routine in which at the end of the  $p^{\text{th}}$  pass the top  $p$  links are correctly placed. With such a procedure [5] one could then perform a single pass at step 2 (thus producing the shortest link at the top of the list), then test the top link in step 3; return to step 2 for a second pass, test the second-from-the-top link in step 3 etc., until after some number  $r$  of such tries  $(n-1)$  links have been added to  $T$  thus forming the SST. At the end of this process only  $r$  links have been effectively sorted in  $r \log_2 m$  operations, the remaining  $(m-r)$  links not having been required.

From what has been said above, despite the refinements, the Kruskal algorithm is more suitable for relatively sparse graphs rather than for complete ones. For these latter graphs  $m = n(n-1)/2$  and for such cases Prim [11] and Dijkstra [3] have described other algorithms based on a more efficient particularization of Operation I.

### 2.2. THE ALGORITHM OF PRIM [11]

This algorithm produces in SST by growing only one sub-tree  $T_s$  (say) containing more than single vertex and considering the remaining single vertices to form one sub-tree each. Sub-tree  $T_s$  is then grown continuously by adjoining that link  $(x_i x_j)$ ,  $x_i \in T_s$ ,  $x_j \notin T_s$  with the minimum cost  $c_{ij}$  until  $(n-1)$  links are added and  $T_s$  becomes the required SST. This particular form of Operation I was first suggested by Prim [11] and an efficient technique for its implementation was given by Dijkstra [3].

The algorithm proceeds by labeling each vertex  $x_j \notin T_s$  with  $[\alpha_j, \beta_j]$  where at any step  $\alpha_j$  is the vertex of  $T_s$  nearest to vertex  $x_j$  and  $\beta_j$  is the length of this link  $(\alpha_j, x_j)$ .

## The Shortest Spanning Tree (SST) of a Graph

At any one step during the algorithm that vertex – say  $x_{j^*}$  - with smallest  $\beta_j$  is appended to  $T_s$  by the addition of link  $(\alpha_{j^*}, x_{j^*})$ . Since  $T_s$  has now acquired a new vertex  $x_{j^*}$ , the labels  $[\alpha_j, \beta_j]$  for those vertices  $x_j \notin T_s$  may now need updating (if, for example,  $c(x_j, x_{j^*})$  is less than the existing label  $\beta_j$ ), and the process continued. This labelling procedure can be seen to be very similar to that used for the shortest path problem using the Dijkstra algorithm.

The algorithm is as follows:

*Step 1:* Let  $T_s = \{x_s\}$ , where  $x_s$  is any arbitrarily chosen vertex, and  $A_s = \Phi$ . ( $A_s$  will be the set of links forming the SST).

*Step 2:* For all  $x_j \notin T_s$  find a vertex  $\alpha_j \in T_s$  so that :

$$c(\alpha_j, x_j) = \min_{x_i \in T_s} [c(x_i, x_j)] = \beta_j$$

and set the label of  $x_j$  as  $[\alpha_j, \beta_j]$ .

If no such vertex  $\alpha_j$  can be found, if  $\Gamma(x_j) \cap T_s = \Phi$ , set the label of  $x_j$  as  $(0, \infty)$ .

*Step 3:* Choose that vertex  $x_j$ , so that

$$\beta_{j^*} = \min_{x_j \notin T_s} [\beta_j].$$

Update  $T_s = T_s \cup \{x_{j^*}\}$ ,  $A_s = A_s \cup \{(\alpha_{j^*}, x_{j^*})\}$ .

If  $|T_s| = n$ , stop. The links in  $A_s$  form the SST.

If  $|T_s| \neq n$ , goto step 4.

*Step 4:* For all  $x_j \notin T_s$  and  $x_j \in \Gamma(x_{j^*})$  update labels as follows:

If  $\beta_j > c(x_{j^*}, x_j)$ , set  $\beta_j = c(x_{j^*}, x_j)$ ,  $\alpha_j = x_{j^*}$  and return to step 3.

If  $\beta_j \leq c(x_{j^*}, x_j)$  go to step 3.

### 2.3. RELATED PROBLEM

Operation I has been proven without regard as to the sign of the link cost  $c_{ij}$  and hence the SST methods described are applicable to graphs with arbitrary positive negative or zero link costs. This immediately implies that the longest spanning tree of a graph could also be found by simply reversing the signs of the link costs and applying one of the above SST algorithms.

In the proof of Operation I, no use of the fact the total cost of a spanning tree is the sum of its link costs, has been made. All that has been assumed is that if a link of the tree with cost  $C$  is replaced by a link of cost  $C' < C$  then the cost of the tree decreases. Thus, if the cost of a tree is represented by any monotonically increasing symmetric<sup>1</sup> function of its link costs, the spanning tree which minimizes this cost function would be the same as the SST (which minimizes the sum of the link costs).

For example, if  $C_1, C_2, \dots, C_m$  are the costs of the  $m$  links of the graph  $G$ , then

<sup>1</sup> A function is symmetric in variables  $x_1, x_2, \dots, x_m$  if the exchange of any two variables in the function leaves its value unchanged. Both the monotonicity and symmetry restrictions are forced by the condition that  $C' < C$  should imply a decrease in the cost of the tree.

The Shortest Spanning Tree (SST) of a Graph

the spanning tree of  $G$  which minimizes  $(C_{i1}^3 + C_{i2}^3 + \dots + C_{in-1}^3)$  or  $(C_{i1} \times C_{i2} \times \dots \times C_{in-1})$  – where  $C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{in-1}$  are the costs of any  $n-1$  links forming a spanning tree of  $G$  – is the same as the SST of  $G$ . In addition, since for the first of the above mentioned functions the power of 3 could be replaced by any other power  $p > 0$ , and since as  $p \rightarrow \infty$ :

$$[\sum_{l=1}^{n-1} C_{il}] \rightarrow \{ \max_{l=1, \dots, n-1} [C_{il}] \}^p,$$

the spanning tree which minimizes the cost of the most costly link contained, is also the same as the SST of  $G$ .

**2.4 EXAMPLE [ 11]**

In the graph  $G$  shown in Fig. 2.4.1 each vertex represents a person and a link  $(x_i, x_j)$  implies that  $x_i$  could communicate with  $x_j$  and vice versa. It is required that a confidential message be circulated amongst the 12 people in such a way as to minimize the probability of it becoming known outsider. For each transmission of the message from  $x_i$  to  $x_j$  there is a probability  $\rho_{ij}$  that the message may be intercepted by an outside person and these probabilities are given as percentages in fig. 2.4.1.

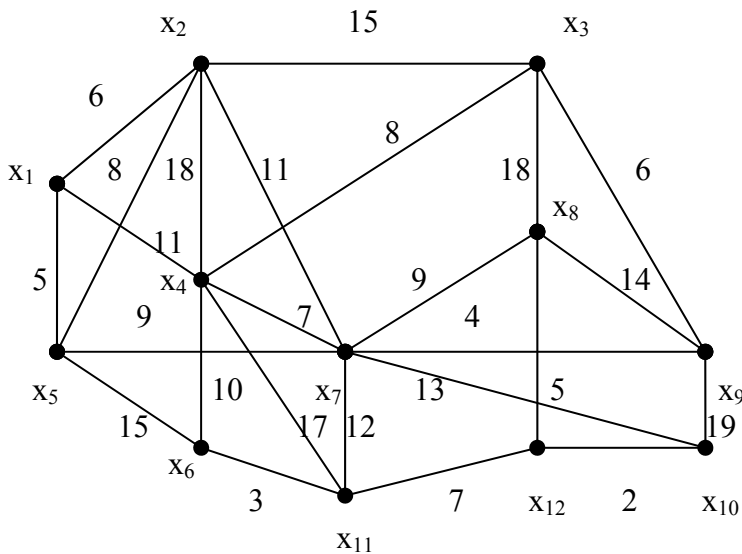


Fig. 2.4.1 Graph for example 2.4

The paths of the message transmissions should form a spanning tree of  $G$  and what is then required is to find that spanning tree which minimizes:  $1 - \prod (1 - \rho_{ij})$ , where the product is taken over those links forming the tree. Since this last function is both increasing and symmetric in  $\rho_{ij}$ , the required spanning tree is the same as the SST of  $G$  where  $\rho_{ij}$  are taken to be the link “costs”  $c_{ij}$ .

This problem will now be solved using the algorithm of Section 2.2

Step 1: Take  $x_s = x_1, T_1 = \{x_1\}, A_1 = \Phi$ .

The Shortest Spanning Tree (SST) of a Graph

Step 2: The labels of  $x_2, x_4,$  and  $x_5$  are calculated as  $[x_1, 6], [x_1, 11]$  and  $[x_1, 5]$  respectively, all other labels being  $[0, \infty]$ .

Step 3: The smallest  $\beta_j$  label is for  $x_5$  and since  $\alpha_5 = x_1$  link  $(x_1, x_5)$  is made.  $T_1 = \{x_1, x_5\}, A_1 = \{(x_1, x_5)\}$ .

Step 4: Update the labels of vertices  $x_2, x_6, x_7$  to be:

for  $x_2: \beta_2 = 6 < c(x_5, x_2)$  and no updating is necessary

for  $x_6: \beta_6 = \infty > c(x_5, x_6) = 15$ , hence the label of  $x_6$  becomes  $[x_5, 15]$

for  $x_7: \beta_7 = \infty > c(x_5, x_7) = 9$ , and label of  $x_7$  becomes  $[x_5, 9]$ .

Since  $x_4 \notin \Gamma(x_5)$  its label remains at  $[x_1, 11]$  from the previous iteration.

Step 3: The labels are now: for  $x_2: [x_1, 6]$ , for  $x_4: [x_1, 11]$ , for  $x_6: [x_5, 15]$ , for  $x_7: [x_5, 9]$ . The smallest  $\beta_j$  is for  $x_2$  and since  $\alpha_2 = x_1$  link  $(x_1, x_2)$  is made.

$T_1 = \{x_1, x_5, x_2\}, A_1 = \{(x_1, x_5), (x_1, x_2)\}$

Step 4: Similarly, update the labels of vertices  $x_3, x_4, x_7$  to be:

for  $x_3: [x_2, 15]$ , for  $x_4: [x_1, 11]$  (no updating necessary)

for  $x_7: [x_5, 9]$  (no updating necessary)

The label of  $x_6 \notin \Gamma(x_2)$  remains at  $[x_5, 15]$  from the previous iteration.

Step 3: The smallest  $\beta_j$  is for vertex  $x_7$  and since  $\alpha_7 = x_5$  link  $(x_5, x_7)$  is made.

$T_1 = \{x_1, x_5, x_2, x_7\}, A_1 = \{(x_1, x_5), (x_1, x_2), (x_5, x_7)\}$ .

Step 4: The labels of the vertices are updated as before and are shown in Fig.2.4.2 (a) together with the links that have been added to the tree so far.

Continuing in this way the final SST is derived as shown in Fig. 2.4.2 (b) and the links are numbered to show the order in which they were introduced into the tree.

The product  $\prod (1 - \rho_{ij})$  for the links of this tree is 0.5214 which gives a minimum probability of 47.86% for the message to be intercepted by an outside person.

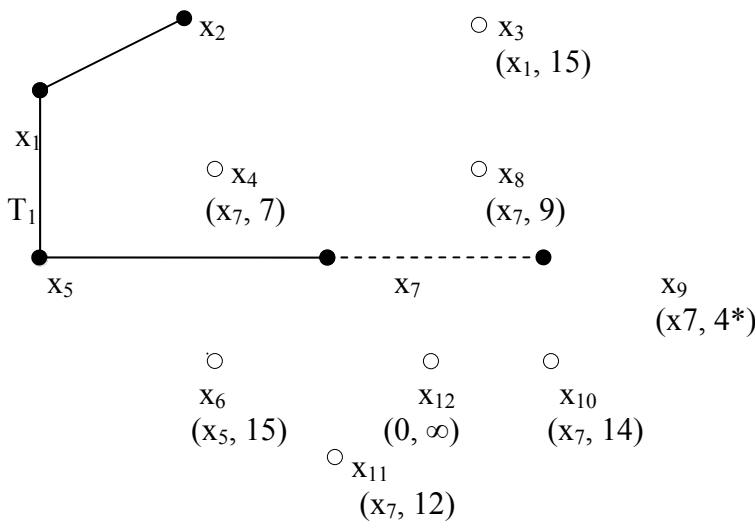


Fig. 2.4.2 (a). Partially formed tree  $T_1$  with labels on vertices not in  $T_1$   
 ----- Next link to be added

## The Shortest Spanning Tree (SST) of a Graph

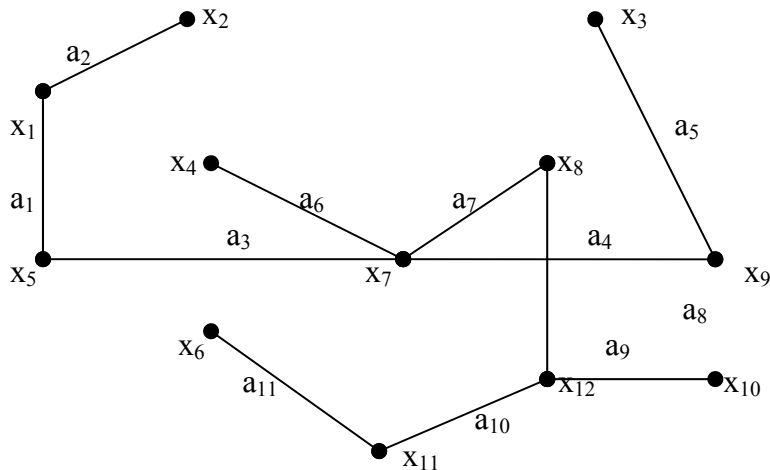


Fig. 2.4.2 (b). SST of graph in Fig. 2.4.1

**REFERENCES**

- [1] CAYLEY, A., Collected papers, Quart. J. Of Mathematics, 13, Cambridge, 1897.
- [2] CHRISTOFIDES, N., Graph Theory – An Algorithmic Approach, Imperial College, London, 1975.
- [3] DIJKSTRA, E. W., A note on two problems in connection with graphs, Numerische Mathematik, 1, 1959.
- [4] GOWER, J. C. and ROSS, G. J. S., Minimum spanning trees and single linkage cluster analysis, Applied Statistics, 18, 1969.
- [5] KERSHENBAUM, A., and Van SLYKE, R., Computing minimum spanning trees efficiently, Proc. of the Ann. Conf. of ACM, Boston, 1972.
- [6] KEVIN, V. and WHITNEY, M., Algorithm 422 – Minimal spanning tree, Comm. Of. ACM, 15, 1972.
- [7] KIRCHHOFF, G., Annalen der Physik and Chemie, 1847.
- [8] KRUSKAL, J.B.Jr., On the shortest spanning sub-tree of a graph and the traveling salesman problem, Proc. American Mathematical Soc., 7, 1956.
- [9] LOBERMAN, H. and WEINBERGER, A., Formal procedures for connecting terminals with a minimum total wire length, J. Of ACM, 4, 1957.
- [10] OBRUCA, A. Algorithm 1 – MINTREE, Computer Bulletin, 1964.
- [11] PRIM, R.C., Shortest connection networks and some generalizations, Bell Syst. Tech. J., 36, 1957.

---

\* “Gabriela – Simona Dumitrescu, ing. profesor, Liceul teoretic “Traian” Constanta, Traian n.r.55, tel. 0241-672295, e-mail: profdumi@yahoo.com”.

## THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Gabriela – Simona DUMITRESCU \*

### ABSTRACT

*In this article will be dealing with two questions [5]:*

*Problem 1. Given a general graph  $G$ , find a Hamiltonian circuit of  $G$ , (or alternatively all circuits), if one or more such circuits exist.*

*Problem 2. Given a complete graph  $G$  whose arcs have arbitrary costs  $C = [c_{ij}]$  associated with them, find that Hamiltonian circuit, (or path), with the least total cost. The problem of finding the least cost Hamiltonian circuit is known in the literature as the traveling salesman problem [1, 2, 7]. It should be noted that if  $G$  is not complete, it can be considered as a complete graph with infinities inserted as the costs of the non-existent arcs.*

*Solutions to the travelling salesman problem and its variants have a large number of practical applications in many diverse fields. For example, consider the problem where a vehicle leaves a central depot to deliver goods to a given number of customers and return back to the depot. The cost of the trip is proportional to the total distance traveled by the vehicle so that, given the distance matrix between customers, the least cost trip is the solution to the corresponding travelling salesman problem. Similar types of problem occur in collecting mail from mail boxes, scheduling school buses through a number of stops, etc. The problem generalizes quite readily to one where more than one vehicle performs the deliveries, (or collections), although this problem can also be reformulated into a larger size single travelling salesman problem [6]. Other applications include the scheduling of operations on machines [4], the design of electricity supply networks [3], the operation of sequential machines [8] etc.*

---

**Keywords:** *Traveling, salesman, graph, Hamiltonian, circuit, cost.*

---

### INTRODUCTION

In a number of industries, the following basic scheduling problem arises: A number (say  $n$ ) of items is to be manufactured using a single processing facility or reaction vessel. The facility (vessel), may or may not have to be reset (cleaned), after item  $p_i$  has been

manufactured, (but before production of  $p_i$  is started); depending on the item combination ( $p_i, p_j$ ). The cost of resetting the facility is constant regardless of the item  $p_i$  that has been produced or the item  $p_j$  that is to follow; and there is no cost incurred if no resetting of the facility is required.<sup>1</sup> Suppose that these  $n$  items are to be manufactured in a continuous cyclic manner, so that after the production of the last of the  $n$  items the manufacture of the first item in the fixed cycle is started again.

The problem then arises as to whether a cyclic production sequence for  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) can be found which requires no resetting of the facility. The answer to this question depends on whether a graph  $G$  whose vertices represent the items and where the existence of an arc  $(x_i, x_j)$  implies that  $p_j$  can follow the production of item  $p_i$  on the facility without resetting, possesses a Hamiltonian circuit or not. (A Hamiltonian circuit is a circuit passing once and only once through each vertex of the graph).

For any given graph  $G$ , random finite costs can be allocated to the arcs of  $G$  to form a traveling salesman problem. If the solution to this problem – the shortest Hamiltonian circuit – has a finite value, then this solution is indeed a Hamiltonian circuit of  $G$ .

If the solution has infinite value, then  $G$  does not possess a Hamiltonian circuits. An alternative interpretation can be placed on problem 1 as follows. Consider once more a complete graph  $G_1$  with a general arc cost matrix  $[c_{ij}]$ , and consider the problem of finding that Hamiltonian circuit of  $G_1$  whose longest arc is a minimum. This problem could be called the mini-max traveling salesman problem because of the mini-max nature of its objective, as compared with the classical traveling salesman problem which could in he present terms also be called the mini-sum problem. I will show that problem 1 above is in fact equivalent to the mini-max traveling salesman problem.

In the complete graph  $G_1$  mentioned above, we can certainly find a Hamiltonian circuit. Let this circuit be  $\Phi_1$  and the cost of the longest arc in  $\Phi_1$  be  $\delta_1$ . Remove from  $G_1$  any arc whose cost is greater than or equal to  $\delta_1$  to obtain the graph  $G_2$ . Find a Hamiltonian circuit say  $\Phi_2$  in  $G_2$ , and let the cost of the longest arc in  $\Phi_2$  be  $\delta_2$ . Again remove from  $G_2$  any arc with cost greater or equal to  $\delta_2$  to form  $G_3$  and continue in the same way until a graph  $G_{m+1}$  is found which contains no Hamiltonian circuit. The Hamiltonian circuit  $\Phi_m$  in  $G_m$  (with cost  $\delta_m$ , say) is then, by definition, the solution to the mini-max traveling salesman problem, since the lack of a Hamiltonian circuit in  $G_{m+1}$  implies that no Hamiltonian circuit exist in  $G_1$  which does not use at least one arc with cost greater than or equal to  $\delta_m$ . Thus, an algorithm for finding a Hamiltonian circuit in a graph also solves the mini-max travelling salesman problem. Conversely, if we possess an algorithm for solving this latter problem, a Hamiltonian circuit in an arbitrary graph  $G$  can be found by constructing a complete graph  $G_1$  on the same set of vertices as  $G$ , placing unit costs on the arcs that correspond to arcs in  $G$  and infinite costs on all other arcs. If the solution to the mini-max traveling salesman problem for  $G_1$  has a finite cost (in fact unity cost), then a corresponding Hamiltonian circuit in  $G$  has been found; if the solution has infinite cost then no Hamiltonian circuit in  $G$  exists.

## I. THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

### 1.1 A lower bound from the assignment problem

The linear assignment problem for a graph with a general cost matrix  $C = [c_{ij}]$  can be stated as follows.

Let  $\xi_{ij}$  be an  $n \times m$  matrix of 0 – 1 valued variables so that  $\xi_{ij} = 1$  if vertex  $x_i$  is “assigned” to vertex  $x_j$  and  $\xi_{ij} = 0$  if  $x_i$  is not assigned to  $x_j$ . In the traveling salesman problem

---

<sup>1</sup> The above problem can arise in two ways; either the resetting costs are in reality independent of the items, or, alternatively, detailed cost data is not available and an average constant value is taken as an approximation.



we could use a similar scheme where  $\xi_{ij} = 1$  would mean that the salesman travels from  $x_i$  to  $x_j$  directly and  $\xi_{ij} = 0$  would mean that he does not. For this last problem we can start by setting all  $c_{ii}$  ( $i=1, \dots, n$ ) to  $\infty$  thus eliminating non-sensical solution with  $\xi_{ij} = 1$ .

The assignment problem now becomes:

Find 0 – 1 variables  $\xi_{ij}$  so as to minimize:

$$z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} \xi_{ij} \tag{1.1}$$

subject to

$$\sum_i \xi_{ij} = \sum_j \xi_{ij} = 1 \tag{1.2}$$

(for all  $i$  and  $j = 1, 2, \dots, n$ )  
and

$$\xi_{ij} = 0 \text{ or } 1 \tag{1.3}$$

Equations (1.2) simply insure that the solution is cyclic one arc enters and one leaves every vertex.

Equations (1.1) – (1.3) together with the additional constraints that the solution must form a single (Hamiltonian) circuit and not just a number of disjoint circuits, can also be used to represent a formulation of the traveling salesman problem. Since the addition of any constraint to the assignment problem can only increase or leave unchanged the minimum value of  $z$  as calculated from equations (1.1) – (1.3), this value of  $z$  is a valid lower bound to the cost of the solution to the traveling salesman problem for a graph with a cost matrix  $[c_{ij}]$ .

### 1.2. A lower bound from the shortest spanning tree

In the case of a graph with a symmetrical cost (distance) matrix  $C$ , a non-directed graph, a lower bound to the solution of the traveling salesman problem can be derived from the shortest spanning tree of a graph as follows. Suppose that it is specified that link  $(x_1, x_2)$  is in the optimal traveling salesman circuit. If this link is removed from the circuit, a path of  $n-1$  links is obtained going through all the vertices starting at  $x_1$  and finishing at  $x_2$ . Thus, since the cost of the shortest spanning tree,  $L(\text{SST})$  say, is a lower bound to the cost of this path, the length of the shortest spanning tree plus  $c(x_1, x_2)$  is a lower bound to the cost of the optimal traveling salesman solution.

In general no link  $(x_1, x_2)$  in the optimal cycle will be known, but the longest link in the circuit must be [7] at least as long as  $\max [c(x_i, s)]$ ; where  $s$  is the second nearest vertex to vertex  $x_i$ . Thus,

$$L(\text{SST}) + \max_{x_i} \xi_{ij} \tag{1.4}$$

is a valid lower bound to the cost of the solution to the travelling salesman problem.

### 1.3 Duality relations

Let us define  $G(\text{TSP})$  to be the partial graph of a non-directed graph  $G$ , formed by the vertices and those links of  $G$  that are used by the optimal travelling salesman circuit. Similarly let us define graphs  $G(\text{AP})$  and  $G(\text{SST})$  formed by the same vertices but having links which appear in the optimal solutions of the assignment and shortest spanning tree problems respectively.

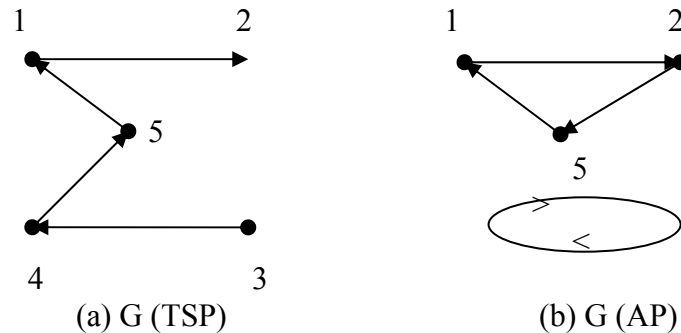


Fig. 1.1 Graphs of traveling salesman, assignment, and shortest spanning tree problem

The graph  $G(\text{TSP})$ , which in the case of a 5-vertex graph is shown in Fig.1.1 (a), has the following properties:

- (i) The graph is connected; every vertex can reach every other vertex via a path using the links;
- and
- (ii) The degree of every vertex is 2; there are two links incident at each vertex.

The graph  $G(\text{AP})$  does not necessarily possess property (i) above, as can be seen from the example of Fig. 1.1 (b) but does, by definition, have property (ii). If, however, it so happens that the solution to the assignment problem does have property (i) as well, then this is also the solution to the traveling salesman problem.

The graph  $G(\text{SST})$  has property (i), by definition, but does not have property (ii). If it so happens that the shortest spanning tree does have property (ii) – except for two “end” vertices ( $x_1$  and  $x_2$  say) which by necessity must have a degree of unity – then the shortest spanning tree is also the shortest path passing through all the  $n$  vertices. If, moreover, link  $(x_1, x_2)$  is in the optimal travelling salesman circuit, then the links of the shortest spanning tree plus link  $(x_1, x_2)$  will be the solution to the travelling salesman problem. If it is not certain that  $(x_1, x_2)$  is in the optimal travelling salesman circuit then some small modification is needed.

Thus, the solution of the assignment and shortest spanning tree problems are dual in the sense that they possess properties which are complementary with respect to the properties of the travelling salesman problem. Two possible avenues of investigation now reveal themselves which can lead to solutions for this latter problem.

- (a) Use the solution of the assignment problem which possesses property (ii) and force this solution to conform with property (i);
- or (b) Use the solution of the shortest spanning tree which possesses property (i) and force it to conform with property (ii).

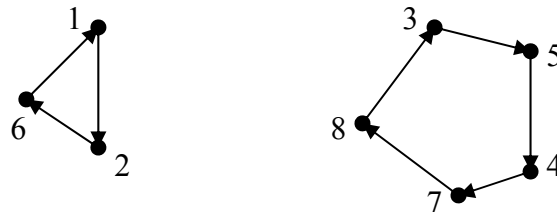
The assignment problem is defined for graphs with any arbitrary cost structure, the shortest spanning tree is only defined for non-directed graphs – graphs with symmetrical, ( $c_{ij} = c_{ji}$ ) cost matrices. What is being said about the relationship between the travelling salesman problem and the shortest spanning tree for non-directed graphs, has an exact equivalent applying to the relationship between the travelling salesman and the shortest arborescence for the case of directed graphs.

## II. THE TRAVELLING SALESMANN AND ASSIGNMENT PROBLEMS

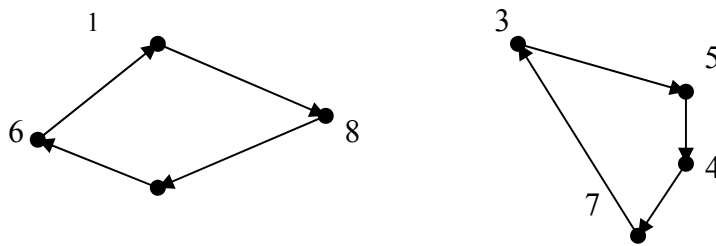
The assignment problem defined by equation (1.1), (1.2) and (1.3) may have solutions composed of a number of disjoint circuits, and one method of solving the traveling salesman problem would be to impose restrictions until the solution becomes a single (Hamiltonian) circuit. In the present section I will investigate procedures of imposing these restrictions within the framework of a decision-tree search algorithm, for the decision-tree search based on the shortest spanning tree.

### 2.1 A decision – tree search algorithm

Let the solution of the assignment problem with a cost matrix  $[c_{ij}]$  (and  $c_{ji} = \infty$ ), be composed of a number of disjoint circuits. For example if the solution of an 8-vertex problem is given by  $\xi_{1,2} = \xi_{2,6} = \xi_{3,5} = \xi_{4,7} = \xi_{5,4} = \xi_{6,1} = \xi_{7,8} = \xi_{8,3} = 1$  and all other  $\xi_{ij} = 0$ , then the solution corresponds to the two circuits shown in Fig. 2.1(a). What is now needed is to eliminate this solution together with as many other solutions as possible without eliminating the solution to the travelling salesman problem under the same cost matrix. Since the travelling salesman solution is a Hamiltonian circuit we will attempt to eliminate any solutions which correspond to more than one circuit.



(a) Solution to problem  $P_0$



b) Solution to problem  $P_1$

Fig. 2.1 Solution to assignment problems

#### (A) A SIMPLE BRANCHING RULE

Let the solution to the assignment problem contain the (non-Hamiltonian) circuit  $(x_1, x_2, \dots, k, x_1)$  with cardinality  $k$ . This circuit (and all solutions containing it), can be removed from further consideration by insisting that at least one of the arcs  $(x_1, x_2), (x_2, x_3) \dots (x_k, x_1)$  must not be in the solution. This can be done quite simply by subdividing the original problem  $P_0$  with the cost matrix  $[c_{ij}]$ , into  $k$  sub-problems  $P_1, P_2, \dots, P_k$ . In problem  $P_1$ ,  $c(x_1, x_2)$  is set to  $\infty$  all other  $c_{ij}$  remaining unchanged (as problem  $P_0$ ); in  $P_2$ ,  $c(x_2, x_3) = \infty$ , etc., and for problem  $P_k$ ,  $c(x_k, x_1) = \infty$ . Any solution to problem  $P_0$  not containing the circuit  $(x_1, x_2, \dots,$

$x_k, x_1$ ) is a solution to at least one of the problems  $P_1, \dots, P_k$  and hence the optimal travelling salesman solution is the solution to one or more of these sub-problems.

For the example of Fig. 2.1(a), choosing to eliminate the circuit of cardinality 3 results in the decision-tree of Fig. 2.2 in which the problems  $P_1, P_2$ , and  $P_3$  are represented by nodes of the tree derived from the initial problem  $P_0$ . Let the problem  $P_1, P_2$ , and  $P_3$  be solved as assignment problems and let the corresponding costs be  $C_1, C_2$  and  $C_3$ . Since  $C_1$  is a lower bound on the traveling salesman solution to problem  $P_1$  and similarly for  $P_2$  and  $P_3$  the number  $L = \min [C_1, C_2, C_3]$  is a lower bound to the value of the solution of the initial travelling salesman problem.

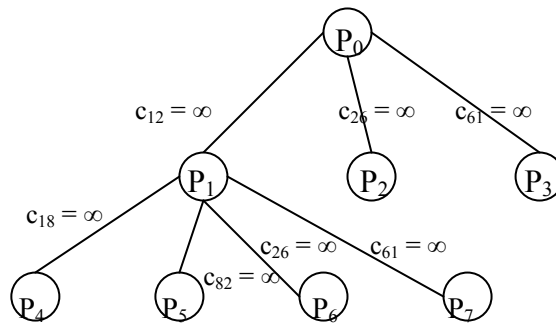


Fig. 2.2 Decision – tree with simple branching rule A

Let us now say that  $L = C_1$  ( $C_1 \leq C_2, C_3$ ). If the solution to  $P_1$  is a Hamiltonian circuit, then this is the solution to the initial travelling salesman problem. If not, let us say that the solution is as shown in Fig. 2.1 (b). Choosing to eliminate circuit (1, 8, 2, 6, 1) we can again form and solve the sub-problems  $P_4, P_5, P_6$  and  $P_7$  as shown in Fig. 2.2. It is seen from this figure that  $P_4$  corresponds to a problem whose cost matrix has the entry  $c_{1,8}$  set to  $\infty$ , and similarly for  $P_5, P_6$  and  $P_7$ . The lower bound is now redefined as  $L = \min [C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7]$  and let us say that  $P_3$  is the problem corresponding to the cost  $L$  ( $L = C_3$ ). If the solution to  $P_3$  is a Hamiltonian circuit then it is the solution to the initial travelling salesman problem. Otherwise, further branching must be resumed from node  $P_3$  in exactly the same way as was done for  $P_1$ , and one continues in this way until the solution to the problem whose cost is the current value of  $L$ , becomes a Hamiltonian circuit. When this occurs, that circuit is the final solution, since its cost is less than or equal to the lower bounds on the cost of any other Hamiltonian circuit that may result by branching further from the remaining nodes in the tree.

From the above description of the algorithm it should be quite apparent that the decision-tree search employed is of the “breadth-first” type.

(B) A DISJOINT BRANCHING RULE

All that is required for a valid branching from a problem  $P_0$  to sub-problems  $P_1, P_2$ , and  $P_3$ , is that every feasible solution of  $P_0$  (except the ones being eliminated) should be a solution of at least one sub-problems. An desirable characteristic for a branching method to possess, is for the sub-problems created to be disjoint as far as the feasible solutions of  $P_0$  are concerned, that every feasible solution of  $P_k$  should be a solution to one and only one of these sub-problems.

The previously described branching rule was based on the fact that a circuit such as  $(x_1, x_2, \dots, x_k, x_1)$  could be removed by excluding one of its arcs. This, however, does not lead to branching into mutually exclusive sub-problems. Thus, in the example given earlier, the

solution of  $P_0$  corresponding to circuits (1, 3, 6, 1) and (2, 5, 4, 7, 8, 2) is a feasible solution to both sub-problems  $P_1$  (with  $c_{1,2} = \infty$ ) and  $P_2$  (with  $c_{2,6} = \infty$ ).

A different branching rule which removes a circuit  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  but produces disjoint sub-problems is as follows.

For problem  $P_1$  set  $c(x_1, x_2) = \infty$

For problem  $P_2$  set  $c(x_1, x_2) = -M$  and  $c(x_2, x_3) = \infty$

For problems  $P_3$  set  $c(x_1, x_2) = c(x_2, x_3) = -M$  and  $c(x_3, x_4) = \infty$

For problem  $P_k$  set  $c(x_1, x_2) = c(x_2, x_3) = \dots = c(x_{k-1}, x_k) = -M$  and  $c(x_k, x_1) = \infty$

where  $-M$  is a large negative number to ensure that the arc whose cost is  $-M$  is in the optimal solution.

With this branching rule the sub-problems are certainly disjoint since for any two sub-problems there is at least one arc excluded from the solution in one, and which is definitely included in the solution in the other sub-problem. It is also easy to see that no feasible solution of  $P_0$  is lost, that any solution to the initial problem  $P_0$  must also be represented as a solution to one of the sub-problem. This is since any solution of  $P_0$  has some sequence of arcs leading from  $x_1$ , such as  $(x_1, x_\alpha)$ ,  $(x_2, x_\beta)$  etc. and these must coincide in the first  $r$  arcs with the arcs of the path  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$  for some value of  $r = 0, 1, \dots, k$ ;  $r=0$  corresponding to the case where there is no coincidence at all,  $r = 1$  to the case where  $x_\alpha = x_2$  but  $x_\beta \neq x_3$  etc.

In the example given, the initial problem  $P_0$  would be partitioned into the three sub-problems as shown in Fig. 2.3, compared to the first-level partition of Figure 2.2 which resulted from the previous branching rule.

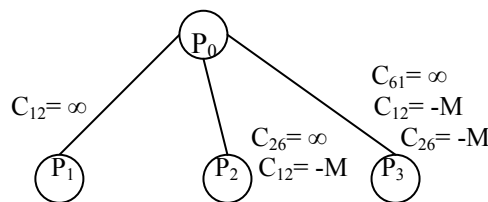


Fig. 2.3 Decision – tree with disjoint branching rule B

## REFERENCES

- [1] BELLMORE, M. and NEMHAUSER, G. L., The travelling salesman problem – a survey, Ops. Res., 16, 1968.
- [2] BELLMORE, M. and MALONE, J. C., Pathology o traveling salesman sub-tour-elimination algorithms, Ops. Res. ,19, 1971.
- [3] BURSTALL, R. M., Tree-searching methods with an application to a network design problem, In: “Machine Intelligence, Vol. I”, Collins and Michie, London, 1967.
- [4] CHARLTON, J. M. and DEATH, C.C, A method of solution for general machine-scheduling problems, Ops. Res, 18, 1970.

- [5] CHRISTOFIDES, N., Graph theory – An algorithmic approach, Computer Science and Applied Mathematics - A series of monographs and textbooks, University Maryland, 1975.
- [6] CHRISTOFIDES, N. and EILON, S., An algorithm for the vehicle dispatching problem, Opl. Res., 20, 1969.
- [7] EILON, S., WATSON-GANDY, C.D.T. and CHRISTOFIDES, N., Distribution Management: Mathematical modelling and practical analysis, Griffin, London, 1971.
- [8] HARING, D.R., Sequential-circuit synthesis, MIT Press, Research Monograph 31, Cambridge, Massachusetts, 1966.

---

\* Gabriela – Simona Dumitrescu, ing. profesor , Liceul teoretic “Traian” Constanta, str. Traian nr. 55, tel.. 0241 672295, e-mail: profdumi@yahoo.com.

## STABILITY STUDY OF A SYSTEM EQUIPPED WITH A HYDRAULIC VALVE

Olivia FLOREA \*

**Abstract:** *This paper presents the mathematical model of a system equipped with a hydraulic valve. It is studied the dynamical behavior of a hydraulic model in both the linear and nonlinear case. The numerical simulation for the chosen mathematical model is realized with the Simulink environment of Matlab. We use the Routh – Hurwitz criterion for the stability study of the hydraulic system as well as the Nyquist criterion which rely on the transfer function of the system.*

**Keywords:** hydraulic pump, stability, transfer function

**2000 Mathematics Subject Classification:** 34K20, 34A34, 37N10

### Introduction

We consider a hydraulic system composed form a volumetric pump, a volumetric motor and pressure restrictor valve. A complete dynamic analysis of the system requires the consideration all the component elements. In order to distinguish the valve dynamic, the pump and engine dynamic is neglected and they will be considered later. The evolution of the pressure  $p_s$  from the volume of liquid  $V_t$  located between the pump, engine and the valve can be calculated from the continuity equation corresponding to the mode between the pump, engine and valve [1], [2]:

$$Q_{tp} - Q_{lp} - Q_{tm} - Q_{lm} - Q_s - Q_{cs} = \frac{V_t}{\varepsilon_e} \dot{p}_s \quad (1)$$

Where:  $Q_{tp}$  is the theoretical volumetric debit of the pump;  $Q_{lp}$  is the volumetric debit of the pump's flow;  $Q_{tm}$  is the theoretical volumetric debit of the engine;  $Q_{lm}$  is the volumetric debit of the engine's flow;  $Q_s$  is the volumetric debit evacuated trough the valve orifice;  $Q_{cs}$  is the command volumetric debit of the valve;  $\varepsilon_e$  is the equivalent elasticity module of the liquid from the volume  $V_t$ .

The evolution of the pressure in the command chamber of the valve's poppet results from the continuity equation attached to the chamber:



$$Q_{cs} - A_{cs} \dot{x}_s = \frac{V_c}{\varepsilon_e} \dot{p}_{cs} \quad (2)$$

Where:  $A_{cs}$  is the surface of the command piston and  $\frac{dx_s}{dt}$  is the speed of the poppet;  $V_c$  is the average volume of liquid located in the command chamber of the valve.

The distance between the poppet and the drawer  $x_s$  (the valve opening) results from the movement equation attached to the poppet:

$$m_s \ddot{x}_s = F_{cs} + F_{hs} + F_{ht} + F_e \quad (3)$$

Where:  $m_s$  is the equivalent mass of the poppet and the spring;  $\ddot{x}_s$  is the valve acceleration;  $F_{cs}$  is the pressure force which assures the command of the valve;  $F_{hs}$  is the hydrodynamic force corresponding to the fluid speed variation with respect to the space inside the valve (stationary component);  $F_{ht}$  is the pressure force corresponding to the variation of the fluid speed with respect to the time inside the valve (transitory component);  $F_e$  is the elastic force generated inside the helicoidally spring

It's admitted that both the volumetric machines have variable capacities (the general case). Their theoretical debits are of the following form:  $Q_{tp} = n_p V_p$ ;  $Q_{tm} = n_m V_m$

Where:  $n_p$  is the pump revolution (constant);  $V_p$  is the pump capacity (variable);  $n_m$  is the engine revolution (variable);  $V_m$  is the engine capacity (variable).

It is admitted that the dominant flows of both machines are produces in a laminar regime therefore they are direct proportional with the pressure differences that they create:

$$Q_{tp} = K_{lp} (p_s - p_t) \quad (4)$$

$$Q_{tm} = K_{lm} (p_s - p_t) \quad (5)$$

Is admitted that the exit joints of the valve and the drain joints of the machines are connected straight to the tank, which is at the atmospheric pressure  $p_t \approx 0$ .

The debit evacuated trough the valve derives from the Bernoulli equation and the equation of continuity for the current tube:

$$Q_s = K_s x_s \sqrt{p_s} \quad (6)$$

Where  $K_s$  is the valve constant. For a valve with a conic poppet, at small openings

$$K_s = \pi d_s c_{ds} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sin \beta \quad (7)$$

Where:  $d_s$  is the diameter of the valve;  $c_{ds}$  is the debit coefficient of the valve orifice;  $\beta$  the half-angle of the poppet cone;  $\rho$  the liquid density

The debit coefficient depends on the angle  $\beta$ . The command debit for the valve is generated by the pressure difference  $p_s - p_{cs}$ . It is considered a damper of a ring type slot, having the medium diameter  $d_s$ , the length  $L_s$  and the width  $l_s$ . The usual value of the report  $\frac{l_s}{d_s} = \frac{1}{100}$ , and the command debit is relatively small. Therefore, it can be admit that the movement trough the slot is a plane movement of Hagen – Poiseuille type. If the damper is not centered (the usual case)

$$Q_{cs} = 2,5 \frac{\pi d_s l_s^3}{12 \eta L_s} (p_s - p_{cs}). \quad (8)$$

Where  $\eta$  is the dynamic viscosity of the liquid. This relation can be written under the following form:

$$Q_{cs} = K_{cs} (p_s - p_{cs}) \quad (9)$$

$$\text{Where } K_{cs} = 2,5 \frac{\pi d_s l_s^3}{12 \eta L_s}$$

is the constant of the damping butterfly valve. The equivalent mass of the poppet and the resort is:

$$m_s = m_v + 0.33 m_e \quad (10)$$

Where  $m_v$  is the poppet mass and  $m_e$  the spring mass.

The poppet is accelerated by the force:

$$F_{cs} = A_{cs} p_{cs} = \frac{\pi d_s^2}{4} p_{cs} \quad (11)$$

The hydrodynamic force is:

$$F_{hs} = K_{hs} x_s p_s \quad (12)$$

Where  $K_{hs}$  is the constant of the hydrodynamic force in stationary regime.

The spring of the valve generates the force:

$$F_e = -K_{es} (x_s + x_e) \quad (13)$$

Where  $K_{es}$  is the static rigidity and  $x_e$  is the pre-compression.

For the case of an uncompressed poppet, the movement equation for the poppet becomes:

$$F_{cs} - F_{hs} + F_e = 0 \quad (14)$$

$$\text{Or } A_{cs} p_s - K_{hs} x_s p_s = K_{es} (x_s + x_e).$$

From this equation one can calculate the valve opening based on the pressure from the valve's upstream:

$$x_s = \frac{A_{cs} p_s - K_e x_e}{K_{es} + K_{hs} p_s}. \quad (15)$$

The valve begins to open at the pressure:

$$p_{s0} = \frac{K_e x_e}{A_{cs}} \quad (16)$$

So,  $x_s = \frac{A_{cs} (p_s - p_{s0})}{K_{es} + K_{hs} p_s}$ . The valve working process in stationary regime is described by the equation:

$$Q_s = K_s A_{cs} \sqrt{p_s} \frac{p_s - p_{s0}}{K_{es} + K_{hs} p_s}. \quad (17)$$

### Establishing the transfer function for the valve

The complete mathematic model of the valve is composed of the following equations [1], [4]:

$$m_s \ddot{x}_s = A_{cs} p_{cs} - K_{hs} x_s p_s - K_e x_e - F_e \quad (18)$$

$$K_{cs}(p_s - p_{cs}) - A_{cs}\dot{x}_s = \frac{V_c}{\varepsilon_e} \dot{p}_{cs} \quad (19)$$

$$n_p V_p - n_m V_m - K_{lm} p_s - K_{cs}(p_s - p_{cs}) - K_s x_s \sqrt{p_s} = \frac{V_t}{\varepsilon_e} \dot{p}_s \quad (20)$$

To distinguish the valve's dynamic we introduce the notation:

$$Q_t = Q_{tp} - Q_{tm} = n_p V_p - n_m V_m \quad (21)$$

This measure represents the available theoretical debit in the pump – engine – valve node. The flows of the two machines can be represented focused on the coefficient:

$$K_{lpm} = K_{lp} + K_{lm} \quad (22)$$

The equation (22) becomes:

$$Q_t - K_{lpm} p_s - K_{cs}(p_s - p_{cs}) - K_s x_s \sqrt{p_s} = \frac{V_t}{\varepsilon_e} \dot{p}_s \quad (23)$$

If the compressibility of the liquid from the command chamber is neglected the equation (21) is essentially simplified:

$$K_{cs}(p_s - p_{cs}) = A_{cs}\dot{x}_s \quad (24)$$

The system consisting in the equations (18), (19) si (23) contains 5 known measures:  $x_s, p_{cs}, p_s, F_e, Q_t$ . If the elastic force is maintained constant and the debit  $Q_t$  is defined variable, the transfer function of the valve can be defined with respect to the available debit in the node between the pump, engine and valve:

$$H_Q(s) = \frac{p_s(s)}{Q_t(s)} \quad (25)$$

If  $Q_t$  is constant and the pre-compression of the spring is changing, the transfer function of the valve with respect to the elastic force:

$$H_F(s) = \frac{p_s(s)}{F_e(s)} \quad (26)$$

To establish the two transfer functions we introduce in these three equations the variation of the involved measures with respect to the values for a point of working within the stationary regime. The valve characteristic can be described as:

$$Q_s = Q_{s0} + \left. \frac{\partial Q_s}{\partial x_s} \right|_0 dx_s + \left. \frac{\partial Q_s}{\partial p_s} \right|_0 dp_s + \dots \quad (27)$$

In which:

$$\left. \frac{\partial Q_s}{\partial x_s} \right|_0 = K_s \sqrt{p_{s0}} = K_{Qx} \quad (28)$$

$$\left. \frac{\partial Q_s}{\partial p_s} \right|_0 = \frac{K_s x_{s0}}{2\sqrt{p_{s0}}} = K_{QP} \quad (29)$$

Results:

$$\Delta Q_s = Q_s - Q_{s0} = K_{Qx} \Delta x_s + K_{QP} \Delta p_s \quad (30)$$

The equations for the transitory regime are becoming [4]:

$$m_s \frac{d^2(\Delta x_s)}{dt^2} = A_{cs} \Delta p_{cs} - K_{hs} x_{s0} \Delta p_s - K_{hs} p_{s0} \Delta x_s - K_e \Delta x_s - \Delta F_e \quad (31)$$

$$K_{cs} (\Delta p_s - \Delta p_{cs}) = A_{cs} \frac{d(\Delta x_s)}{dt} \quad (32)$$

$$\Delta Q_t - \Delta p_s (K_1 + K_{cs} + K_{QP}) + K_{cs} \Delta p_{cs} - K_{Qx} \Delta x_s = E_t \frac{d(\Delta p_s)}{dt} \quad (33)$$

In the last equation,

$$E_t = \frac{V_t}{\varepsilon_e} \quad (34)$$

represents the volume elasticity for the liquid between the pump, engine and valve.

We apply the Laplace transformation to the equations with the finite differences, resulting:

$$s^2 m_s \Delta x_s = A_{cs} \Delta p_{cs} - K_{hs} x_{s0} \Delta p_s - K_{hs} p_{s0} \Delta x_s - K_e \Delta x_s - \Delta F_e \quad (35)$$

$$K_{cs} (\Delta p_s - \Delta p_{cs}) = s A_{cs} \Delta x_s \quad (36)$$

$$\Delta Q_t - \Delta p_s (K_1 + K_{cs} + K_{QP}) + K_{cs} \Delta p_{cs} - K_{Qx} \Delta x_s = s E_t \Delta p_s \quad (37)$$

To establish the first transfer function for the valve, we consider  $\Delta F_e = 0$ . This has the expression:

$$\frac{\Delta x_s}{\Delta p_s} = \frac{A_{cs} - K_{hs} x_{s0}}{s^2 m_s + s \frac{A_{cs}^2}{K_{cs}} + K_{et}} \quad (38)$$

The first transfer function of the valve has the expression:

$$\frac{\Delta p_s}{\Delta Q_t} = \frac{s^2 b_2 + s b_1 + b_0}{s^3 a_3 + s^2 a_2 + s a_1 + a_0} \quad (39)$$

Where:

$$b_2 = m; b_1 = \frac{A_{cs}^2}{K_{cs}}; b_0 = K_{et}; \quad (40)$$

$$a_3 = m_s E_t; a_2 = m_s K_p + E_t \frac{A_{cs}^2}{K_{cs}}; a_1 = E_t K_{et} + K_p \frac{A_{cs}^2}{K_{cs}} + A_{cs} (A_{cs} - K_{hs} x_{s0});$$

$$a_0 = K_p K_{et} + K_{Qx} (A_{cs} - K_{hs} x_{s0})$$

The measure  $K_p = K_1 + K_{QP}$  can be named total coefficient of command for the pressure  $p_s$ .

In the command systems built with valves that are normally closed, the pump's debit is maintained constant and the pre-compression of the valve's spring is changed. It is therefore useful to determine the transfer function of the valve with respect to the elastic force of reference.

To determine the second function we consider:  $\Delta Q_t = 0$ . The transfer function will then have the expression:

$$\frac{\Delta p_s}{\Delta F_e} = \frac{s c_1 + c_0}{s^3 a_3 + s^2 a_2 + s a_1 + a_0} \quad (41)$$

Where:  $c_1 = K_{Qx}; c_0 = A_{cs}$ .

For the particular case of the non-compensated system the time constant can be precisely determined through simplifying the transfer function. If we neglect the second and the third term results:

$$\frac{\Delta p_s}{\Delta Q_t} = \frac{1}{K_{QP}} \frac{1}{sT_s + 1} \quad (42)$$

The time constant of the valve is:

$$T_s = \frac{E_t K_{et} + K_p \frac{A_{cs}^2}{K_{cs}} + A_{cs} (A_{cs} - K_{hs} x_{s0})}{K_p K_{et} + K_{Qx} (A_{cs} - K_{hs} x_{s0})} \quad (43)$$

From the analysis of the measure order of the time constant results that it can be written under the following form:

$$T_s = \frac{E_t}{K_p} \quad (44)$$

It can be so noticed that the time constant is influenced by the volume of liquid submitted to the pressure variations between the pump, engine and valve, on the slope of the static characteristic of the valve and by the drain coefficient of the pump and engine.

### Stability analysis through the algebraic criterion

The algebraic criterion provides the condition [3], [5]:

$$a_1 a_2 > a_3 a_0 \quad (45)$$

This leads us to the inequality:

$$aK_{cs}^2 + bK_{cs} + c > 0 \quad (46)$$

In which:

$$a = m_s (A_{cs} - K_{hs} x_{s0}) (K_p A_{cs} - E_t K_{Qx}) \quad (47)$$

$$b = A_{cs}^2 \{ E_t [K_{et} E_t + A_{cs} (A_{cs} - K_{hs} x_{s0})] + m_s K_p^2 \}$$

Considering the expression for the coefficient  $K_{cs}$  one can determine the maximum value of the damper's maximum clearance:

$$j_{s\max} = \sqrt[3]{1.257\eta \frac{L_s A_{cs} K_{et}}{d_s K_{Qx}} E_t} \quad (48)$$

The maximum clearance of the damper is twice bigger than the optimum one. It can be noticed that the resistance required by the amortization butterfly valve depends directly of the volume of the liquid located between the pump, engine and valve. This relation explains the high intensity of the pressure oscillation among the weekly amortized dumping connections of the pumps equipped with valves for pressure restriction. Placing an elastic joint between the pump and the engine can essentially contribute to the reduction of the pressure pulsation when the engine is blocked by an excessive overload. The parameters which influence the mathematic model are taken over from the specific literature and are presented in the following table [1]:

$$\begin{aligned} A_{cs} &= 2.8274e-005; m_s = 0.0497; d_s = 0.006; c_{ds} = 0.8; c_{vs} = 0.98; \beta = \frac{\pi}{12}; j_s = 6 \cdot 10^{-5}; \\ \eta &= 22.9; l_s = 0.009; \rho = 900; K_{hs} = 0.0074; K_{es} = 100000; x_e = 0.0085; E_e = 7 \cdot 10^7; \end{aligned}$$

$V_c = 10^{-7}$ ;  $K_{cs} = 4.1156e-015$ ;  $V_t = 10^{-3}$ ;  $Q_t = 3.8590e-004$ ;  $K_{lpm} = 3.9260e-012$ ;  $K_s = 1.8398e-004$ ;

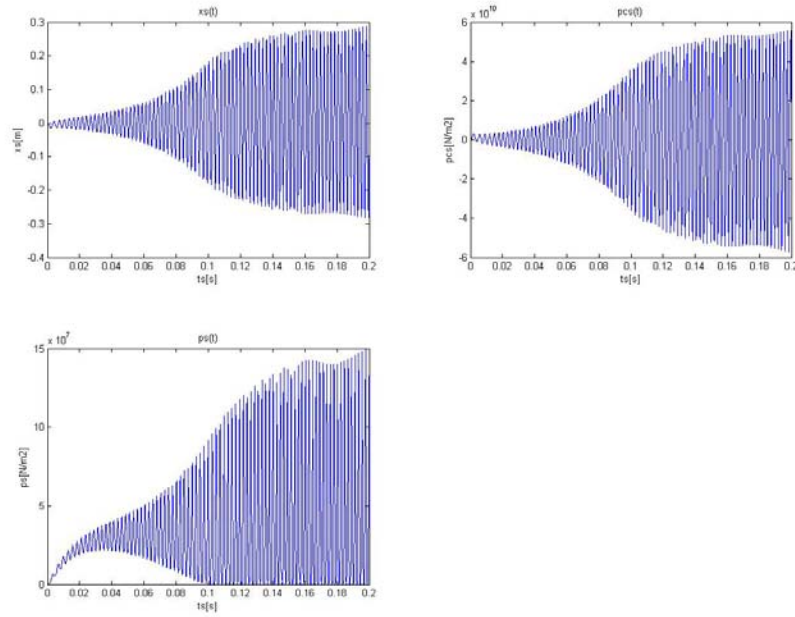


Fig. 1. The response of an non compensated valve  $\delta = \beta$  to a step signal of low amplitude

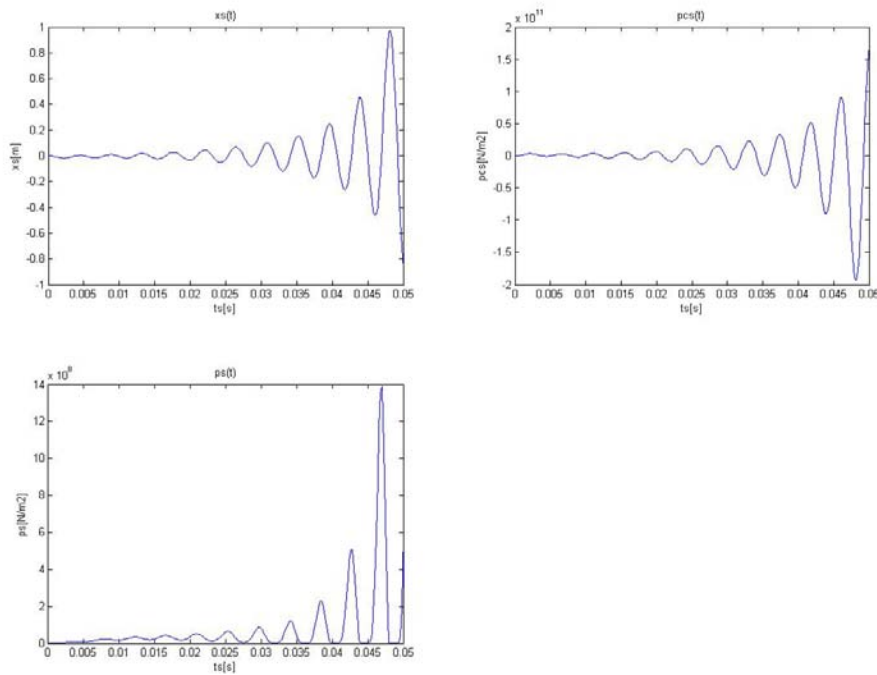


Fig. 2. The answer of compensated valve  $\delta = \frac{\pi}{2}$  to a step signal of low amplitude

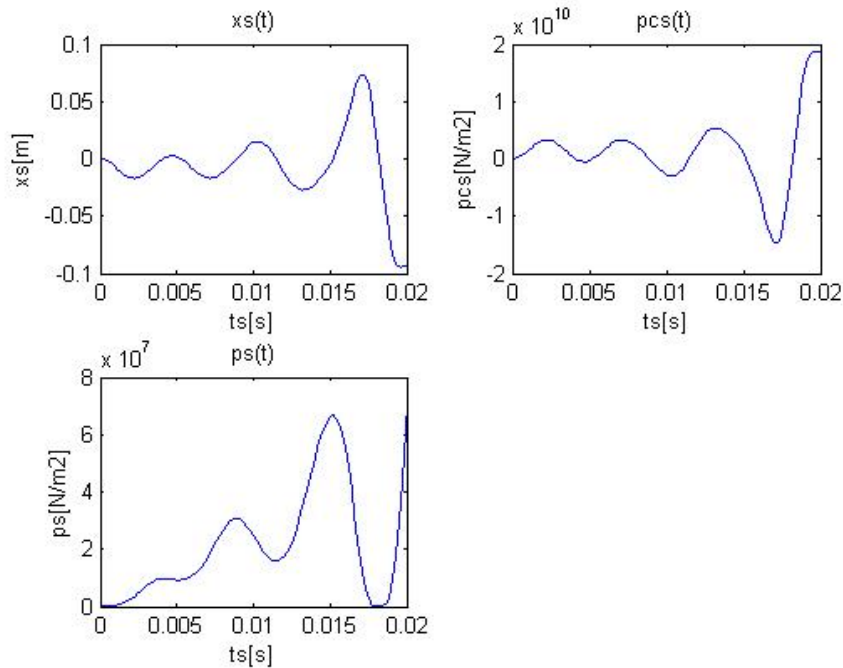


Fig. 3. The answer to an over-compensated valve  $\delta = \frac{\pi}{2} + \beta$  to a step signal of low amplitude

### Bibliography:

- [1]. Vasiliu, N.: Actionari Hidraulice si Pneumatice, Vol. I, Ed. Tehnica, 2005
- [2]. Halanay, A., s.a.: Periodic motions for loaded two control edges hydraulic copying systems, Comput. Meth. Appl. Eng. 158 (1998) 367-374
- [3]. Halanay, A., s.a.: Stability of equilibrium in a four – dimensional nonlinear model of a hydraulic servomechanism, J. of. Eng. Math. 49: 391-406, 2004
- [4]. Florea O.: Mathematical Models And The Dynamics Optimization For Hydraulic Servomechanisms Installed In Ideal Conditions, Proceeding NAV-MAR-EDU 2007, 337-348
- [5]. Florea, O.: Mathematical Modeling of a Hydraulic System Equipped with a Pipe Rupture Valve, Bull. Transilvania Brasov, Vol 13(48)2006, 153-157

---

\* Olivia Florea, Assist. Univ. drd., Transilvania University of Brasov, [olivia.florea@unitbv.ro](mailto:olivia.florea@unitbv.ro), [oaflorea@gmail.com](mailto:oaflorea@gmail.com)



## INDICATORI FOLOSIȚI ÎN ANALIZA ASISTATA DE CALCULATOR A DEGRADĂRII UNEI IMAGINI ȘI IMPLEMENTAREA ÎN SOFTWARE MATLAB A ALGORITMILOR DE CALCUL AFERENȚI

Tamarina FLOREA \*

*Abstract: This paper presents some metrics which are specially used in the analysis of a image degradation process. In order to establish a relationship between the image degradation and the adequate metrics, the computer's usage with algorithms' implementation in software MATLAB, represents a powerful tool. Some aspects regarding the basic methods which are used in image quality evaluation are also presented.*

*Keywords: algorithm, image quality, MATLAB, metrics.*

### I. Calitatea imaginii văzută prin prisma proceselor parcurse

*Calitatea unei imagini* reprezintă suma proprietăților care definesc imaginea respectivă și care reflectă măsura în care din aceasta se pot extrage informațiile de interes necesare. Se poate astfel aprecia că, în principiu, calitatea unei imagini este un concept legat indisolubil de procesele de prelucrare a imaginilor; aceasta se datorează faptului că, în marea lor majoritate, aplicațiile sau procesele ce implică utilizarea imaginilor sunt în bună măsură apreciate prin prisma *calității imaginilor* furnizate.

Prelucrarea imaginilor digitale presupune folosirea unor tehnici exprimate, de obicei, sub forma unor algoritmi. Astfel, imaginea supusă prelucrării parcurge o serie de transformări, care conduc la obținerea imaginii prelucrate. Deși, în principiu, se urmărește ca procesele de prelucrare să nu fie însoțite de efecte nedorite de *reducere a calității imaginii procesate*, acest aspect adiacent nu poate fi evitat în totalitate. Putem avea astfel una dintre următoarele aplicații, realizate cu sisteme care folosesc algoritmi adecvați de procesare:

- *îmbunătățirea* imaginilor („image enhancement”), proces folosit în vederea realizării unui aspect vizual corespunzător al imaginii prelucrate;
- *compresia* imaginii în vederea stocării sau transmisiei acesteia, al cărei obiectiv este obținerea unei imagini care să fie reprezentată cu un număr cât mai redus –pe cât posibil de simboluri de cod, dar menținându-se *calitatea imaginii* codate la un nivel acceptabil;
- *restaurarea* -realizată de sisteme de procesare care urmăresc compensarea degradărilor cunoscute din imagine.

Factorul comun al celor trei aplicații precizate anterior (îmbunătățirea, compresia și restaurarea) îl reprezintă *calitatea imaginii*; este vorba deci despre menținerea, îmbunătățirea, sau restaurarea calității imaginilor procesate.

Calitatea unei imagini, care a parcurs un proces de prelucrare, poate fi analizată prin prisma unui ansamblu de minim 5 *factori* de transformare: *artefact-uri*, *blur*, *contrast*, *zgomot* și *distorsiuni* (Perry Sprawls –[4]).

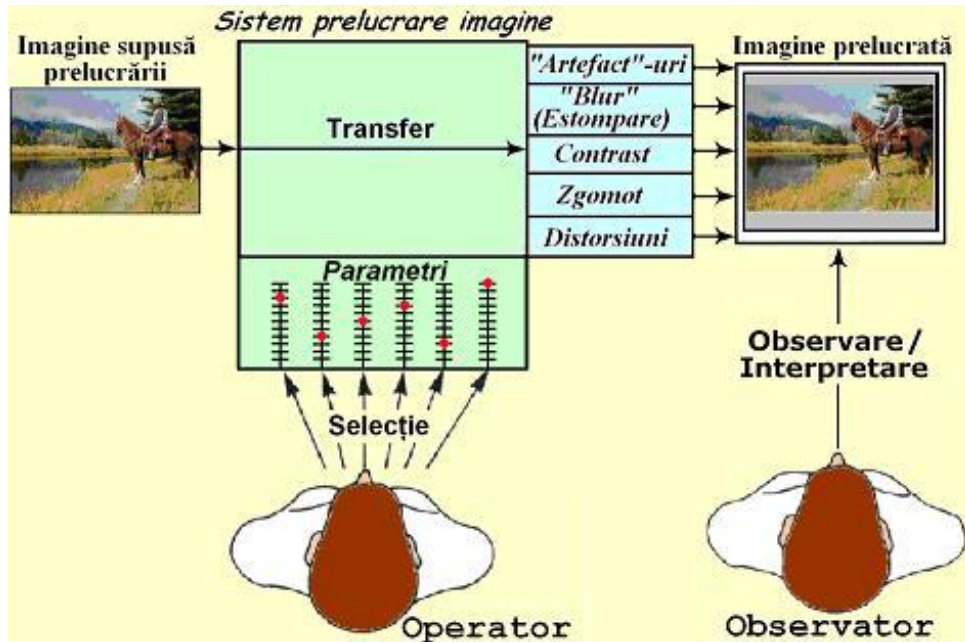


Fig.1: Procesul de prelucrare a unei imagini privit sub aspectul principalilor factori ce îl caracterizează .

Având în vedere etapele de bază pe care le parcurge o imagine, conceptul de calitate a unei imagini poate îmbraca mai multe aspecte. Astfel, alături de calitatea prelucrării, se mai pot enumera următoarele componente ale calității unei imagini: calitatea achiziției imaginii, calitatea afișării și, respectiv calitatea observării/analizei imaginii. S-a realizat astfel o transpunere a calității imaginii în planul calității proceselor pe care imaginea respectivă le parcurge, în vederea analizei acesteia de către om/mașină.

## II. Prezentare sintetică a metodelor de evaluare a calității imaginilor

### 2.1 Evaluarea subiectivă

Una dintre cele mai sigure și comune aprecieri a calității imaginii o reprezintă *evaluarea subiectivă*, realizată de către observatori umani. Pentru asemenea evaluări sunt utilizați observatori neantrenați (“non-experti”), astfel ca aprecierea asupra calității unei imagini să corespundă percepției unui observator mediu. Testele sunt conduse de observatori “experti” antrenați, care au dobândit abilitatea de a observa degradările unei imagini la scară mică și, căruia unui “non-expert” i-ar scăpa. Sunt două grupe de modalități subiective de evaluare: *absolute* și respectiv *comparative*. În cazul unei *evaluări absolute*, observatorului i se cere să aprecieze calitatea unei imagini, ținând seama de o scală de evaluare predefinită. Pentru o calibrare subiectivă a aprecierii calității, observatorului i se poate furniza un set de imagini standard de referință, în timp ce, în alte situații experimentale, observatorul poate fi forțat să realizeze o apreciere bazată numai pe o experiență anterioară. *Evaluarea*

*comparativă* implică observatorul la înșiruirea unui set de imagini, de la cea mai bună la cea mai slabă calitativ, într-un grup particular de imagini.

În principiu, cel puțin 20 de subiecți sunt considerați necesari pentru a asigura o certitudine statistică în analiza subiectivă a calității imaginii. Rezultatele evaluării subiective sunt prezentate în mod normal, ca un scor de opinie mediu definit astfel:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{k=1}^K n_k C_k}{\sum_{k=1}^K n_k}$$

unde:  $n_k$  -reprezintă numărul de aprecieri ale imaginii ca fiind în categoria  $k$ ;  
 $C_k$  -valoarea numerică a categoriei.

## 2.2 Evaluarea obiectivă

Măsurile cantitative de evaluare obiectivă a calității imaginii pot fi clasificate în două clase: măsuri *monovariabile* și măsuri *bivariabile*. O măsură *monovariabilă* reprezintă o evaluare numerică dată unei imagini unice, bazată pe măsurători în câmpul imaginii, iar o măsură *bivariabilă* constituie o comparație numerică între imaginea analizată cu o imagine standard (sau „de referință”).

Evaluarea obiectivă este adesea asociată cu *fidelitatea* imaginii -care caracterizează gradul de îndepărtare al imaginii respective față de o anumită imagine standard. Alături de *inteligibilitate*, fidelitatea imaginii reprezintă o subdiviziune de bază ale *calității imaginii*.

O măsură utilă pentru aprecierea fidelității imaginilor trebuie bine corelată cu testarea subiectivă pentru o clasă largă de imagini și să fie calculabilă în mod rezonabil. Este de asemenea de dorit ca măsura să fie analitică, astfel încât să poată fi folosită ca o funcție de performanță obiectivă în optimizarea proiectării parametrice a sistemelor de procesare a imaginii; aceasta va trebui să reflecte distorsionarea imaginii, datorată proceselor de degradare (compresiei, zgomotului, senzorului de imagine inadecvat etc.) la care a fost supusă. Se va porni de la reprezentarea unei imagini monocrome –dată de matricea de pixeli:

$$A(i, j), \text{ unde } i=1 \dots M, j=1 \dots N$$

și se consideră că pixelii pot lua valori din setul de valori discrete:  $\{0, \dots, L-1\}$ , unde  $L=256$  - ceea ce înseamnă că avem o reprezentare pe 8 biți. Într-un mod similar, pentru imaginile color se va considera că  $L=256$  în fiecare bandă spectrală; componentele multispectrale aferente pixelului de poziție  $(i, j)$  vor fi notate cu  $C_k(i, j)$ ,  $k$  reprezentând indicele componentei spectrale,  $k=1, \dots, K$ . Simbolurile „boldite”  $\mathbf{C}(i, j)$  și  $\hat{\mathbf{C}}(i, j)$  vor indica vectorul cu componentele multispectrale aferente pixelului de poziție  $(i, j)$ . Spre exemplu, pentru imaginile color reprezentate în sistemul R,G,B avem reprezentarea:  $\mathbf{C}(i, j) = [R(i, j)G(i, j)B(i, j)]^T$ .

Toate mărimile notate cu o „căciuliță adițională” (cum sunt spre exemplu  $\hat{C}_k(i, j)$ ,  $\hat{\mathbf{C}}$ ) corespund versiunii distorsionate ale imaginii originale. O semnificație aparte o reprezintă expresia:

$$\|\mathbf{C}(i, j) - \hat{\mathbf{C}}(i, j)\|^2 = \sum_{k=1}^K [C_k(i, j) - \hat{C}_k(i, j)]^2$$

care indică suma erorilor componentelor spectrale corespunzătoare pixelului de poziție  $(i, j)$ . În mod similar, se poate dezvolta expresia erorii  $\varepsilon_k$  (de componentă spectrală  $k$ ) astfel:

$$\varepsilon_k^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [C_k(i, j) - \hat{C}_k(i, j)]^2$$

Pentru cazul particular al reprezentării imaginilor color în spațiile de culoare R-G-B, se vor folosi notațiile  $\{R,G,B\}$  și respectiv  $\{\hat{R},\hat{G},\hat{B}\}$ . În lucrarea “*Statistical evaluation of image quality measures*” (Ismail Avcibas -[1]) sunt prezentate o serie de *măsurî bivariate* care pot fi folosite în evaluarea fidelității imaginilor color, precum: măsurî bazate pe diferența dintre pixeli, măsurî bazate pe corelație, măsurî ale distanței spectrale, măsurî ale calității contururilor.

### III. Analiza asistată de calculator a calității imaginilor

Indicatorii de tip bivariabili mai des folosiți în analiza asistată de calculator a calității imaginilor sunt:

- *raportul semnal/zgomot SNR* (Signal to Noise Ratio);
- *raportul de vârf semnal/zgomot PSNR* (Peak Signal to Noise Ratio);
- *eroarea pătratică medie MSE* (Mean Squared Error);
- *eroarea medie absolută MAE* (Mean Absolute Error).

Practic, acești indicatori (măsurî obiective ale calității imaginii) reprezintă extensii bidimensionale ale măsurîlor de calitate folosite pentru caracterizarea semnalelor unidimensionale. Pentru implementarea funcțiilor de analiză sunt folosite ca date de intrare (argumente ale funcțiilor)  *imaginea originală și imaginea deteriorată* (a cărei calitate trebuie determinată) –care se presupune că a fost afectată ca urmare a acțiunii unor factori perturbatori.

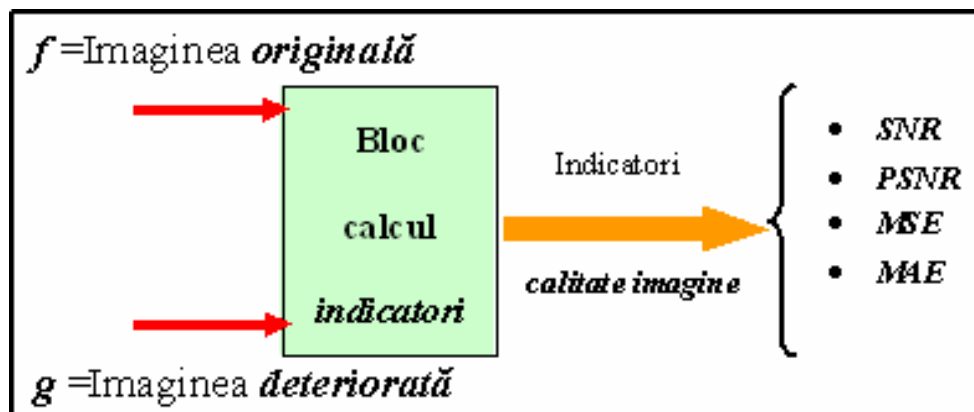


Fig.2: Prezentarea schematică a calculului calității imaginii.

Astfel, dacă se consideră imaginea  $f$  –cea originală și respectiv  $g$  – imaginea deteriorată, de dimensiuni  $M \times N$  (rânduri  $\times$  coloane), atunci formulele care stau la baza calculului principalilor indicatori de calitate sunt:

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f^2(m,n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [g(m,n) - f(m,n)]^2} \quad [\text{dB}]$$

În general, se consideră că o imagine de calitate are indicatorul  $SNR > 25$  dB, iar o imagine cu diferențe imperceptibile are  $SNR > 30$  dB (C. Vertan -[5]).



**Fig.3:** Prezentare a unor imagini degradate, cu diferite mărimi ale degradărilor evaluate prin indicatorul SNR.

$$PSNR = 10 \log \frac{MN [\max_{m,n} f(m,n)]^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [g(m,n) - f(m,n)]^2} \quad [\text{dB}]$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [g(m,n) - f(m,n)]^2$$

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |g(m,n) - f(m,n)|$$

În vederea analizei modului de evoluție a calității unei imagini supuse procesării se pot folosi și măsuri (indicatori) de tip monovariabile. Astfel de măsuri mai des folosite în evaluarea calitatății unei imagini sunt:

- *Nivelul mediu al intensității imaginii* –ca măsură a strălucirii;
- *Gradientul mediu* –caracterizează informația de detaliu conținută într-o imagine  $f(x,y)$  și se calculează cu relația:

$$g = G[f] \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{(M-1) \cdot (N-1)} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \sqrt{\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2}$$

Valoarea acestui indicator este o expresie a clarității imaginii pentru care a fost calculat.

- Indicatorul notat cu *Hsd* (*Histogram's standard deviation*) –care reflectă gradul de abatere al histogramei (aferețe imaginii) de la una ideală. Pentru evaluarea indicatorului respectiv se folosește relația:

$$Hsd = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{x=0}^{L-1} (h(x) - \bar{h})^2}$$

În relația de mai sus  $L$  reprezintă numărul de trepte de cuantizare (nivele de gri) a intensității (strălucirii) pixelilor ( $L = 256$  –în cazul reprezentării pe 8 biți), iar valoarea medie  $\bar{h}$  a histogramei normalizate  $h(x)$  va fi dată de expresia:

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \sum_{x=0}^{L-1} h(x) = \frac{1}{L}.$$

- Evaluarea gradului de atenuare al frecvențelor „răspunzătoare” de producerea fenomenului iluminării *neuniforme*, se poate face prin folosirea indicatorului *abaterii standard*, notat cu  $sd2$  (*standard deviation*), în cadrul unei regiuni selectate din imagine:

$$a(i, j) \\ i = [p+1, p+M]; j = [q+1, q+M]$$

considerată a avea o *reflectanță* aproximativ constantă:  $r(i, j) \approx \text{constant}$ . Relația de calcul a acestui indicator este:

$$\text{std2} = \left( \frac{1}{M-1} \cdot \frac{1}{N-1} \sum_{i=p+1}^{p+M} \sum_{j=q+1}^{q+N} (a(i, j) - \bar{a})^2 \right)^{1/2}$$

unde  $\bar{a}$  reprezintă valoarea medie a regiunii selectate.

#### IV. Evidențierea unor aspecte privind implementarea în software MATLAB a algoritmilor de calcul

În cele ce urmează sunt prezentate unele aspecte legate de folosirea pachetului de programe MATLAB în implementarea software a algoritmilor de calcul aferenți indicatorilor calitativi ai imaginii.

- MATLAB recunoaște cele mai multe imagini ca vectori bidimensionali (tip matrice), în care fiecare element al matricei corespunde unui singur pixel din imaginea afișată;

- pentru a reliefa modul de calcul al indicatorilor de tip bivariabili este dat ca exemplu funcția aferentă indicatorului *MSE*:

```
function mse = MSE_dbl(g, f)
% Este calculata eroarea MSE dintre doua matrici
[r c] = size(g);
A=im2double(f);
B=im2double(g);
err=(A-B).^2;
mse=sum(err(:));
% mse=sum(sum(err));
mse=mse./(r*c);
```

- folosirea funcției MATLAB „mean2” permite evaluarea *nivelului mediu al intensității imaginii* –ca măsură a strălucirii acesteia;

- în vederea calculului *gradientul mediu* –ca măsură a clarității unei imagini, este folosită convoluția cu măști de tip *Prewit* sau *Sobel*; secvența de instrucțiuni de mai jos exemplifică folosirea în acest sens a operatorilor de tip *Sobel* (notați cu „s\_v” și „s\_h”):

```
s_v = [1 2 1; 0 0 0; -1 -2 -1];
s_h = s_v';
V = conv2(A, s_v);
H = conv2(A, s_h);
```

- apelarea funcției „histc” permite calculul histogramei aferente unei imagini; astfel, secvența următoare de instrucțiuni calculează histograma  $H(i)$  a imaginii  $f$ :

```
[r c]=size(f);
for i=0:255
    H(i+1)=histc(f(:), i);
end
% S-a calculat histograma H(i)
H=H./(r*c); % S-a normalizat histograma H(i)
```



▪ pentru evaluarea *abaterii standard* într-o regiune selectată din imagine, se poate apela funcția MATLAB „std2”.

## V. Concluzii

✓ Evaluarea calității unei imagini este în principiu asociată cu aprecierea mărimii fidelității imaginii respective, pentru care se pot stabili măsuri adecvate care să reflecte gradul de îndepărtare a imaginii evaluate față de o anumită imagine standard (de referință).

✓ Măsura calității unei imagini poate fi dată de calitatea proceselor pe care aceasta le parcurge. Astfel, alături de calitatea prelucrării, se mai pot enumera următoarele componente ale calității unei imagini: calitatea achiziției imaginii, calitatea afișării și, respectiv calitatea observării/analizei imaginii.

✓ Evaluarea *subiectivă* este una dintre cele mai sigure și comune aprecieri a calității imaginii, fiind realizată de către observatori umani. Rezultatele evaluării subiective sunt prezentate în mod normal ca un scor de opinie mediu.

✓ Principalii indicatori de tip bivariabili folosiți în analiza asistată de calculator a calității imaginilor sunt:

- eroarea pătratică medie **MSE** (Mean Squared Error);
- raportul semnal/zgomot **SNR** (Signal to Noise Ratio);
- raportul de vârf semnal/zgomot **PSNR** (Peak Signal to Noise Ratio);
- eroarea medie absolută **MAE** (Mean Absolute Error).

✓ Printre măsurile de tip monovariabile care se pot folosi în analiza evoluției calității unui imagini supuse procesării, se pot aminti: *gradientul mediu*, *nivelul mediu al intensității*, indicatorul *Hsd* (*Histogram's standard deviation*).

✓ MATLAB constituie un instrument informatic util care se pretează a fi folosit în aplicațiile de procesare a imaginilor și în analiza asistată de calculator a calității imaginilor.

## Bibliografie

- [1] Ismail Avcibas, Bulent Sankur, K. Sayood: “*Statistical evaluation of image quality measures*”, Journal of Electronic Imaging 11(2), (April 2002).
- [2] Marin Ghinea, Virgiliu Firețeanu: „*MATLAB -calcul numeric și grafică, aplicații*”, Editura Teora, București, 2001.
- [3] William K. Pratt: “*Digital Image Processing*”, cap.7.-“*Sampled image quality measures*”. A. Wiley –Interscience Publication, New York, 1991.
- [4] Perry Sprawls, Ph.D.: “*Image Characteristics and Quality*”. <http://www.sprawls.org/ppmi2/IMGCHAR/>
- [5] Constantin Vertan: “*Prelucrarea și Analiza Imaginilor*” , Editura Printech, București, 2000. Laboratorul de Analiza și Prelucrarea Imaginilor. <http://alpha.imag.pub.ro/ro/cursuri/pi/>
- [6] Aurel Vlaicu: „*Prelucrarea digitală a imaginilor*”. Editura Albastră, Cluj-Napoca, 1997.

---

\* Tamarina Florea, profesor, Colegiul Virgil Madgearu, Iași, Calea Plăieșilor nr. 9, tel. 0232.237.539, e-mail: ionelcfr@yahoo.com



## TILING OF SURFACES

Monica FODOR<sup>\*</sup>  
Monica ȘTEFU<sup>\*\*</sup>  
Lorentz JANTSCHI<sup>\*\*\*</sup>  
Mircea DIUDEA<sup>\*\*\*\*</sup>

*Tiling a planar surface by various polygonal or curved regions was an ancient human activity. Covering is nowadays a mathematically founded science. A computer program, CVNET, useful in generating coverings with application in chemistry was made. The program has options for map operations, and was made for generating molecular graphs representing nanostructures. In this paper are presented mainly the algorithms that analyze the original graphs and then generate the new ones.*

**Key words:** algorithms, map operations, molecular graphs, nanostructures

**2000 MSC:** 51H05, 90C35, 90-04

### **I Introduction. Fullerenes represented as molecular graphs.**

Tiling a planar surface by various polygonal or curved regions was an ancient human activity. There are known three planar regular Platonic tessellations: (4,4) -, (6,3) - and (3,6).

Covering is nowadays a mathematically founded science [1]. Graph and Set Theory, often inspired from the Arts and Architecture, help the covering science.

A computer program, CVNET [2], useful in generating coverings with application in chemistry, as molecular graphs, was made. The chemical structure of a molecule can be represented by the *molecular graph*, in which the vertices are atoms, and the edges are chemical bonds.

The Fullerenes, discovered in 1985, are a family of carbon allotropes named after Richard Buckminster Fuller. They are molecules composed entirely of carbon of valence 3, in the form of a hollow sphere, ellipsoid, tube or their derivations and combinations [3].

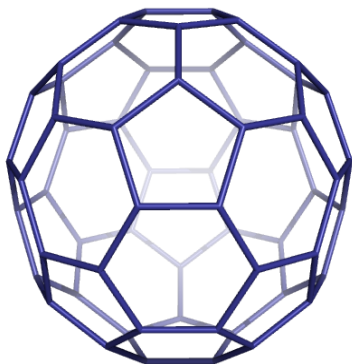
The discovery of fullerenes and other novel allotropic forms of carbon has generated a research explosion in the field of chemistry, physics, and materials science. They are intensively

studied by theoretical and experimental methods as well and display unusual and distinctive electrical, thermal, and mechanical properties.

A classical fullerene called also buckyball has a pseudo-spherical shape made up entirely of pentagons and hexagons. As the surface is curved with non-zero Gaussian curvature and according to Euler's formula [4,5], these fullerenes have 12 pentagons and  $v/2-10$  hexagons, where  $v$  is the number of atoms [6]. As theoretical models, fullerenes with various numbers of pentagons or with larger face have been proposed.

Cylindrical fullerenes called carbon nanotubes, can have only a few nano-meters in diameter, yet up to millimeters length. They are constructed mostly from hexagonal arrangements of carbon atoms [7], but they often contain defects as well, as non hexagonal polygons. In the domain of molecular modeling, derived forms of nanotubes have been proposed, as nanotubes with various covering, the faces having between 4 and 8 vertices [8], nanotori and branched nanotubes.

$C_{60}$  classical fullerene (a)



Armchair Polyhex Nanotubes (b)

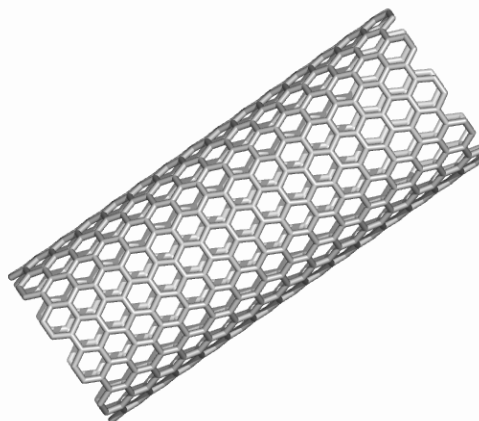


Figure 1. A buckyball fullerene (a) and a nanotube (b)

Fullerenes have been functionalized or inserted in supramolecular assemblies. Multielemental cages have also been studied.

For molecular modeling, these nanostructures are represented by molecular graphs embedded in surfaces of various genres, thus the surfaces are covered with diverse patterns by the polygons or faces of the graphs.

A graph is said to be *embedded* in a surface  $S$  when it is drawn on  $S$  so that no two edges intersect [9]. A graph is planar if it can be embedded in a plane.

A *map*  $M$  is a combinatorial representation of a graph embedded on a surface [10].

A *map operation* is a topological transformation of a given tessellation. The map operations is one of the ways in understanding chemical reactions occurring in nanostructures [11,12,13].

A few operations implemented in the CVNET program are presented in Chapter II, Map Operations. Chapter III, Algorithms used for Map Operations, describes some of the algorithms used by the CVNET program.

## II Map Operations

The Map Operations can be classified in simple, composite, generalized and others operations [8,14]. Similar with the graph notations, we denote in a map:  $v$  – the number of vertices,  $e$  – the number of edges,  $f$  – the number of faces and  $d$  – the vertex degree. A subscript index “0” will mark the corresponding parameters in the parent map.

*Dualization*  $Du$  of a map is built as follows: locate a point in the centre of each face and join two such points if their corresponding faces share a common edge. The new map is called the *dual*  $Du(M)$  (Poincaré). The following relations exist in the resulting map [10]:

$$Du(M): \quad v = f_0; \quad e = e_0; \quad f = v_0$$

Dual of the dual, recovers the original map:  $Du(Du(M)) = M$ .

*Medial*  $Me$  [15] puts the new vertices as the midpoints of the original edges and join two vertices if and only if the original edges span an angle on a face in the original map. Only the new vertices are retained. The resulting parameters are:

$$Me(M): \quad v = e_0; \quad e = 2e_0; \quad f = f_0 + v_0$$

Points in the Medial represent original edges, thus this operation can be used for topological analysis of edges in the parent polyhedron. Similarly, the points in dual give information on the topology of parent faces.

All the Platonic, Archimedean and Catalan objects can be obtained, by simple map operations, from smaller objects. Figure 2 illustrates Dual and Medial operations on the Cube.

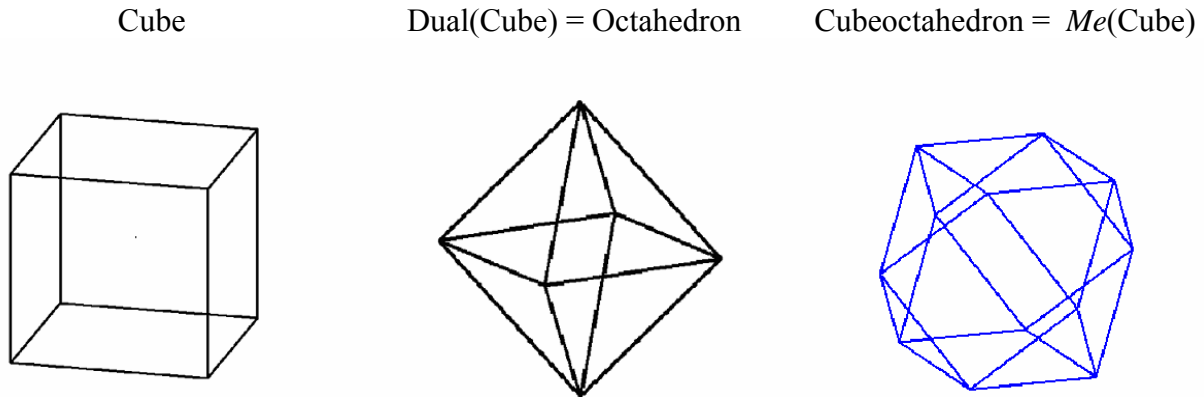


Figure 2. Results of the Dual and Medial operations on the Cube

Others simple operations are Truncation, Stellation,  $P_4$  Capping, and  $P_5$ . Figure 3 illustrates the Truncation operation of the Icosahedron.

The composite operations can be obtained by sequences of some simple operations.

The vertex multiplicity of fullerene polyhedra can be counted by the Goldberg's [16] relation:

$$m = (a^2 + ab + b^2); \quad a \geq b; \quad a + b > 0 \quad (1)$$

which predicts the multiplication factor  $m = v/v_0$  in a 3-valent map transformed by a composed or generalized operation.

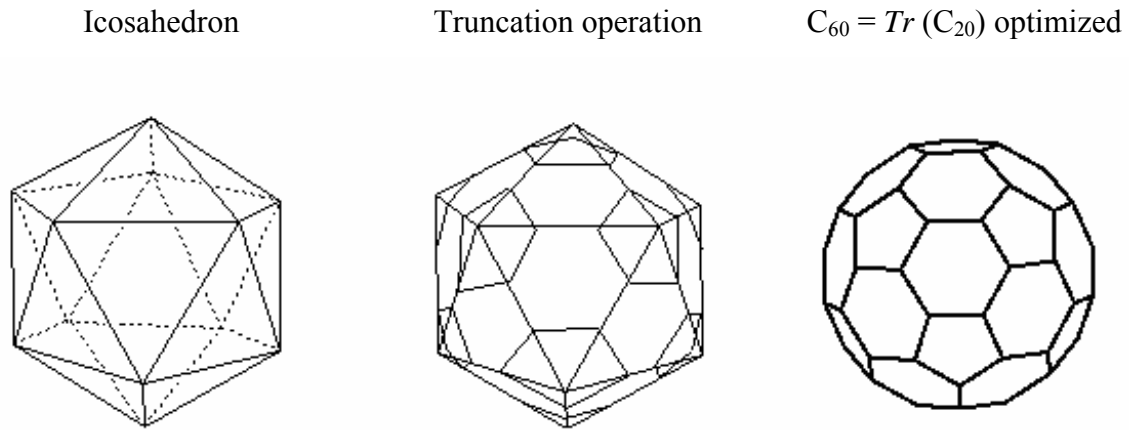


Figure 3. Truncation of the Icosahedron

The composite operations are Leapfrog, Quadrupling and Capra.

*Leapfrog Le* operation [17,18] can be written as a succession of operations:

$$Le(M) = Du(St(M)) = Tr(Du(M))$$

In trivalent maps it has the multiplication factor 3. Figure 3 illustrates the *Le* operation on the Dodecahedron.

Dodecahedron (C <sub>20</sub> )	Icosahedron = Du(Dodecahedron)	C <sub>60</sub> = Le(Dodecahedron)
---------------------------------	--------------------------------	------------------------------------

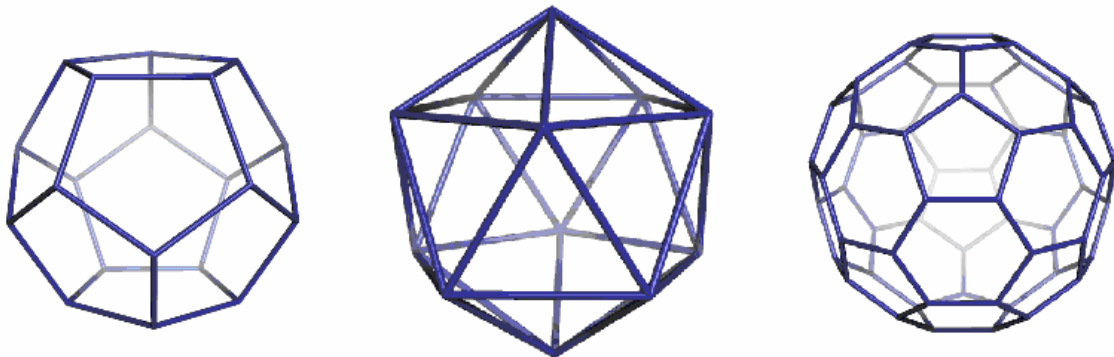


Figure 4. Leapfrog of the Dodecahedron (C<sub>20</sub>)

$$Le(C_{20}) = C_{60} = Tr(Du(C_{20})) = Tr(Icosahedron)$$

The *Quadrupling Q* and the *Capra Ca* operations [14,15] on the Cube are illustrated in the Figure 5. The multiplication factors for trivalent maps are 4 and 7, respectively.

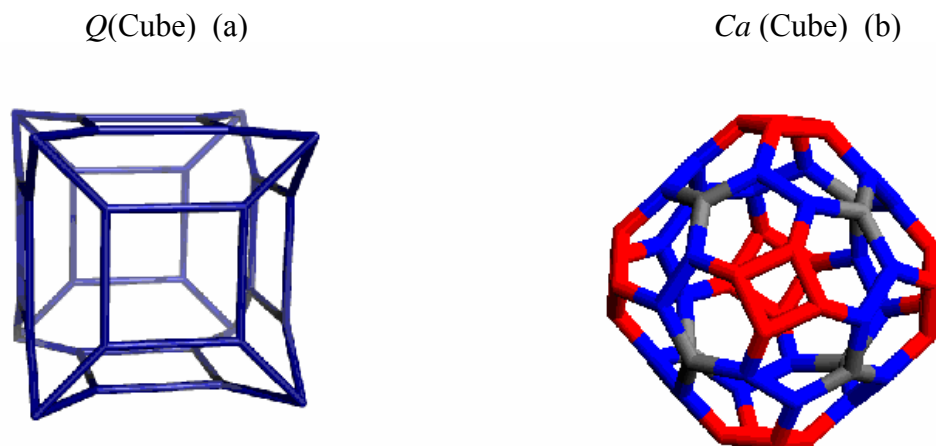


Figure 5. Quadrupling (a) and Capra (b) operations on the Cube

### III Algorithms used for Map Operations

CageVersatile .Net CVNET software program, written in C#, under .NET Framework, is a program that has options for map operations and it generates closed or open lattices covering nanostructures. The input and output files are in HyperChem - .hin format and contain the representation of labelled molecular graphs. The output files represent transformed maps and are written in a “Rez” directory, automatically created within the input directory [19]. The HyperChem program is used to create, visualize, optimize and some calculus of molecular graphs.

First, the program finds the rings or the faces of the input graph and then it realizes the map operations on every face.

The CVNET program has the option that it takes *all the rings* with the length less or equal with an input parameter or, the implicit option, *only the faces*, that is the rings selected by the condition that an edge shares maximum 2 faces. Figure 6 presents results of operations realized on the Hypercube considering all the rings – the Hypercube has 24 rings of size 4.

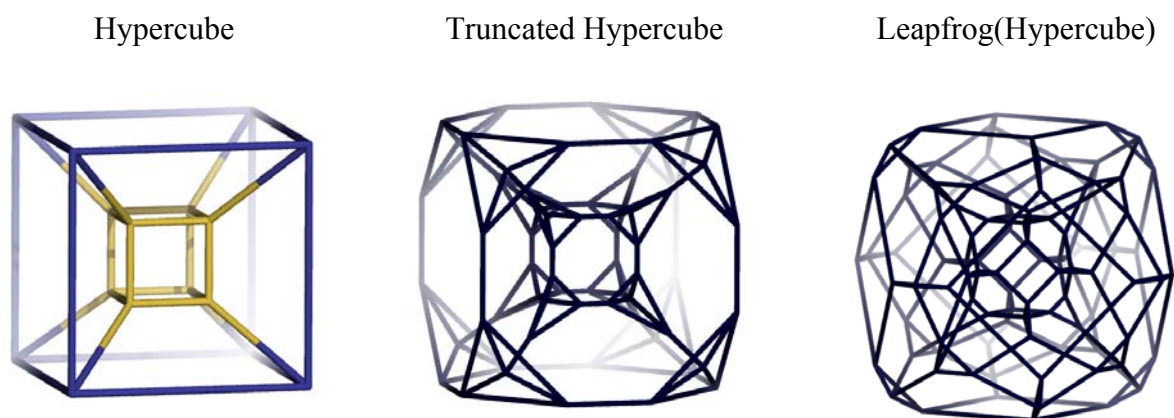


Figure 6. Operations on the Hypercube, considering all the rings.

To find the faces in a map, the program uses a recursive algorithm to detect all the cycles of the graph with length less or equal to a input parameter named *max\_c*. In this respect, the program uses the table of links between vertices from the input file. Then the program selects the cycles as *faces*, in ascending order of their size, under the condition that *any edge shares maximum 2 faces*. We will detail below this algorithm.

Let's assume that the variables *ci* and *c* are three-dimensional arrays, where *ci* contains all the cycles or rings of size less or equal to *max\_c* and in the array *c* will obtain the faces of the map. In the array *ci*, *ci[i,0]* is the number of faces contained in the vector *ci[i]*, which begins at the vertex *i*; *nvi = ci[i,j,0]* is the number of vertices of the face *ci[i,j]*, while *ci[i,j,1] ... ci[i,j,nvi]* is the list of vertices of the face *ci[i,j]*. The array *c* will have a similar structure. The variable *n* stores the number of vertices in the input map. The algorithm works as follows:

```

Int i,j,k,size_c, next_v, faces_no, add;
for size_c := 1 to max_c // the size of the cycles goes from 3 to the input parameter max_c.
  for i := 1 to n // crosses the array ci
    for j := 1 to ci[i,0]
      if (size_c == ci[i,j,0]) and (verify_faces(ci[i,j])){
// if the cycle ci[i,j] has the size size_c and if ci[i,j] doesn't contains other faces
        for k := 1 to ci[i,j,0]{ // verify the edges of ci[i,j]
          add=1;
          if k < ci[i,j] then next_v := ci[i,j,k+1];
          else next_v := ci[i,j,1];
          verify_edge(ci[i,j,k], next_v, faces_no);
//verify if on the edge (ci[i,j,k], next_v) is more than 1 face in the array c. The procedure
//returns the parameter faces_no. If there is an edge of the cycle ci[i,j] on which are already 2
//faces, the cycle will not be added in the faces array c.
          if (faces_no == 2) then add=0;
        } // end for
      if (add == 1) then
        add_cycle(ci[i,j],c); //add the cycle in the faces array c
      } // end if (size_c == ci[i,j,0])

```

Next, the algorithm of map operations works in the following steps, for every face or cycle:

1. Put the vertices of the resulting map at their coordinates, calculated function of the coordinates of the vertices from the initial map, for every old face.
2. Link the vertices located inside of an old face.
3. Link the vertices located in different old faces. In case of chiral resulting objects, the old faces are visited by adjacency, so that the proper links are accomplished (Figures 7 and 8).

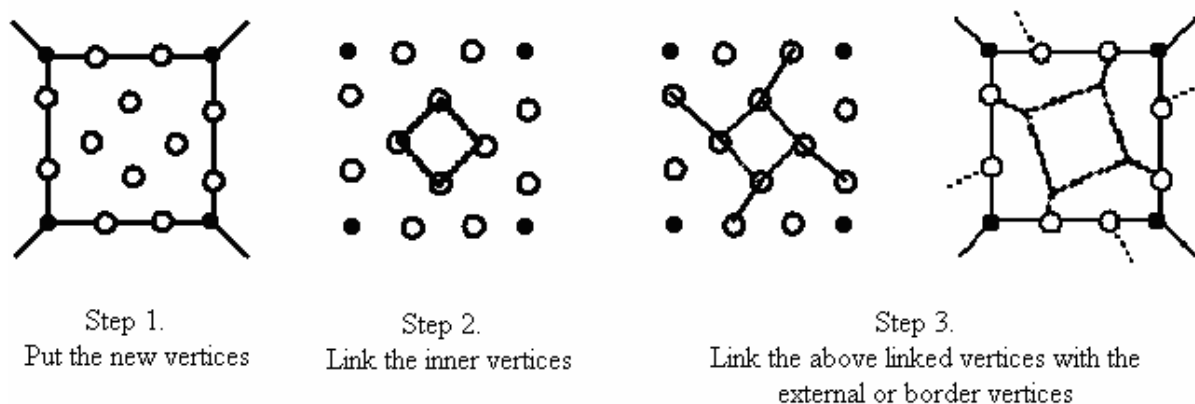


Figure 7. The algorithm steps of the Capra operation on a square face

The unfolded faces of the Dodecahedron

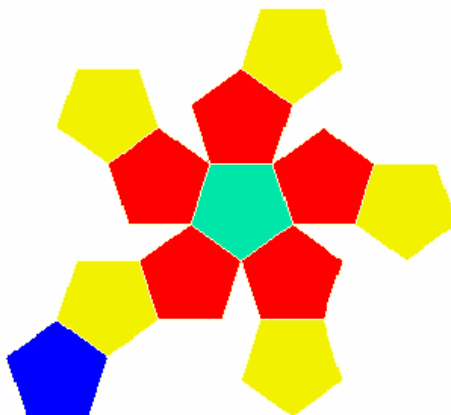


Figure 8. The order of visiting the faces in case of a chiral resulting object: if the algorithm starts with the green face, the next will be the red, then the yellow and the blue faces.

The maximum size of the input structure is about 3.000 vertices. The program has some constants for allocating variables for the number of vertices, valence, number of faces, faces shared by an edge, etc. They was modified when the option for all the cycles was introduced.

## REFERENCES

- [1] Grünbaum B., Shephard G. C., *Tilings and Patterns*, Freeman, New York, 1985.
- [2] Stefu M., Diudea M. V., CageVersatile (.Net), "Babes-Bolyai" University, Cluj, 2005.
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Fullerene#Variations>
- [4] L. Euler, *Comment. Acad. Sci. I. Petropolitanae* 1736, 8,128-140.
- [5] L. Euler, *Novi Comment. Acad. Sci. I. Petropolitanae*, 1758, 4, 109-160.
- [6] Diudea, M. V. Chemistry of Fullerenes, Master Course, Fullerene1.ppt file, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 2006.



- [7] Diudea M. V., and P. E. John, Covering polyhedral tori. *Commun. Math. Comput. Chem. (MATCH)*, 2001, *44* 103-116.
- [8] Diudea M. V., Covering Nanostructures, In: M. V. Diudea, Ed., *Nanostructures-Novel Architecture*, NOVA, New York, 2005, 203-242.
- [9] Harary, F., *Graph Theory*, Addison - Wesley, Reading, M.A., 1969.
- [10] Pisanski T. and Randić M., in *Geometry at Work*, M. A. A. Notes, 2000, *53*, 174-194.
- [11] Klein D. J., Zhu H., in: A. T. Balaban, (Ed.), *From Chemical Topology to Three - Dimensional Geometry*, Plenum Press, New York, 1997, pp. 297-341.
- [12] La Vaissière B. de, Fowler P. W., Deza M., *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, 2001, *41*, 376-386.
- [13] Deza M., Fowler P. W., Shtorgin M., Vietze K., *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, 2000, *40*, 1325-1332.
- [14] Diudea M. V., Covering Forms in Nanostructures, *Forma (Tokyo)*, 2004, *19* (3), 131-163.
- [15] Fowler P. W. and Pisanski T., *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 1994, *90*, 2865-2871.
- [16] Goldberg M., *Tohoku Math. J.* 1937, *43*, 104-108.
- [17] Fowler W., *Phys. Lett.*, 1986, *131*, 444.  
 Fowler P. W., Steer J. I., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1987, 1403-1405.  
 Fowler P. W., Rogers K.M., *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 1998, *94*, 1019-1027.  
 Fowler P. W., Rogers K.M., *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 1998, *94*, 2509-2514.
- [18] Brinkmann G., Fowler P. W., and M. Yoshida, *MATCH Commun. Math. Comput. Chem.*, 1998, *38*, 7-17.
- [19] Ștefu M., Butyka D., Diudea M. V., Jantschi L., and Parv B., Algorithms for basic operations on maps, In: M. V. Diudea, Ed., *Nanostructures-Novel Architecture*, NOVA, New York, 2005, 243-267.

---

\* Monica Fodor, Professor at National College "Mihai Viteazu", Băriștiu Str. nr. 82, Turda, PhD student at Technical University Cluj-Napoca, B-dul Muncii no. 103-105 Cluj-Napoca, e-mail: [monicai.fodor@yahoo.com](mailto:monicai.fodor@yahoo.com)

\*\* Monica Ștefu, PhD. student at Babes-Bolyai University, Mihail Kogălniceanu Str., no. 1, Cluj-Napoca, tel. 0720.568.971 e-mail: [mstefu02@yahoo.com](mailto:mstefu02@yahoo.com)

\*\*\* Lorentz Jantschi, Sef L. Dr., Technical University Cluj-Napoca, B-dul Muncii no. 103-105 Cluj-Napoca, tel. 0766.239997, e-mail: [lori@academicdirect.org](mailto:lori@academicdirect.org)

\*\*\*\* Mircea Diudea, Prof. Dr., Babes-Bolyai University, Mihail Kogălniceanu Str. no. 1, Cluj-Napoca, e-mail: [diudea@chem.ubbcluj.ro](mailto:diudea@chem.ubbcluj.ro)

## THE HEAT EXTRACTION IN A TECHNOLOGICAL PROCESS AS A NONLINEAR PROBLEM

Constantin GHIȚĂ\*

*Abstract:* The dissipative power in an electric arc to the REZ process assures the necessary quantity of heat in normal conditions. We offer the premises to a mathematical analysis of the thermal transfer in the electric arc. Using the thermal equilibrium equation, an initial time of the initiation of the electric arc, an integral transformation technique, we will formulate a boundary value problem of elliptic type. Some techniques of bifurcation theory can be applied to reveal that a ramification of solution is achieved from the first eigen-value of the linear part and a continuation is given by means of implicit function theorems.

**AMS Subject Classification:** 70E20, 74B20, 74A45, 74R10

**Key words:** electric arc, heat extraction control, quasi-linear boundary value problem

### I. Introduction

From the technological point of view, the implemented power in electric arc to a REZ process (160kVA order) on a pilot installation for ingots of half and low weight, assures the necessary quantity of heat for another melt of ingot-electrode in normal conditions of work (on standard installation parameters). With an energetic balance on the electric arc level developed between ingot-electrode and metallic bath, we create premises to thermodynamically property analysis of the arc. Difficulties in mathematical modeling of energetically equilibrium of the arc are risen up by the specification of power dissipation function through column and implicitly of heat extraction function on the electrode foot level. We put the problem of perturbations analysis which appears on changing power steps. The calculation of gyved up heat could be done at electric current parameters supplied by transformer: 2000 A, 50-80 V ([5], page 45). In case of soliciting installation electric energy variations, we impose the preliminary calculus requirement of extract heat on the ingot-electrode foot level, for REZ process behavior characterization. We can specify the power dissipation function at the column arc level and of the heat extraction function on the electrode foot level. Taking account a linear perturbation, depending o a rate factor of power in changing the power step, we study the bifurcation of solution [4]. We will see how results of bifurcation theory assure the ramification of solution  $u$  of (3.1) problem from a solution  $u_0$  of an associated eigenvalue problem.

## II. Some technological features of the electric arc and a modeling problem.

We adopt for heat transmitted in metallic mass the thermal diffusion equation. In analyzing heat source context, we require heat quantity determination through an energetically result:

$$(2.1) \quad dQ = (U \cdot I - \varphi)dt,$$

where  $U$  is electrical tension,  $I$  electrical current intensity from electrode,  $\varphi$  a dissipation function of electrical energy in arc,  $dQ$  elementary variation of extraction heat. For determining the extraction heat dissipation function through thermal conduction is necessary to determine the distribution of temperature in arc column. This is the equation of heat diffusion in liquid metal mass:

$$(2.2) \quad \frac{\partial T}{\partial t} - a\Delta T = 0,$$

$T$  is thermo dynamical temperature,  $a$  thermal spreading. We accept the cylindrical form  $\Omega$  of electric arc developed between electrode and metallic bath. We consider  $T=T(t,r,\omega,z)$ ,  $r,\omega,z$  are the cylindrical coordinates of the system of reference. From grounds of symmetry, it is sufficient to have  $T=T(t,r,z)$  and take the laplacian in cylindrical coordinates:

$$(2.3) \quad \Delta \cdot = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

We have  $\theta_0(r,z)=T(0,r,z)$  the temperature at the moment of the initiation of electric arc between ingot and the main board of crystal-maker, covered with electric-conducting slag. We impose as a boundary condition the proportionality of heat flux  $q$  with  $P$ , distribution of power on the surface level of metallic bath:

$$(2.4) \quad q(r,t,0) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}(t,r,0) = \begin{cases} \frac{P}{\pi b^2} r, & r \leq b \\ 0, & r > b, \end{cases}$$

where  $b$  is the thickness of electric arc. On this condition it is considered that power transmits itself like a step function on the contact surface electrode-melt steel. It is used the expression in cylindrical coordinates of diffusion equation (2.2), with expression (2.3) at laplacian. We introduce the laplacian transformer:

$$(2.5) \quad \Theta(r,z,p) = \int_0^{\infty} e^{-tp} T(t,r,z) dt,$$

of  $T$ , thermodynamic temperature function,  $p \in R_+$ . Function  $\Theta$  verifies the equation:

$$(2.6) \quad a \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \Theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right\} + p \cdot \Theta = T_0(r,z), \forall (r,z) \in \Omega,$$

with a boundary condition:

$$(2.7) \quad \Theta_0(r,p) = \begin{cases} -\frac{P}{\pi b^2 \lambda} \frac{1}{p^2} - \frac{1}{p} \theta_0(r,0), & r \leq b \\ -\frac{1}{p} \theta_0(r,0), & r > b. \end{cases}$$

We consider that at the initial moment the temperature  $\theta_0$  is uniformly distributed on the contact surface electrode-slag. We introduce the variable:

$$(2.8) \quad u(r, z, p) = \Theta(r, z, p) - \Theta_0(r, p),$$

And so we obtain the boundary value problem:

$$(2.9) \quad a \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot u) + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right\} + p \cdot u = f(r, z, p), u = 0, \text{ for } z=0,$$

were it's noted  $f(r, z, p) = \theta_0(r, z) + \frac{a}{p} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \Theta_0(r, 0) \right) + \frac{P}{\pi b^2 \lambda} \frac{1}{p} + \theta_0(r, 0)$ , for  $r \leq b$ ,

$$f(r, z, p) = \theta_0(r, z) + \frac{a}{p} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \Theta_0(r, 0) \right) + \theta_0(r, 0), \text{ for } r > b.$$

Because function  $f$  has a discontinuity on the disk circumference:

$$\{(r, z) \in R \times R \mid 0 < r \leq b, z = 0\}$$

and it is independent from  $u$ , it is accepted  $f \in L^2(\Omega)$  and we could see (2.9) like a boundary value problem on a restricted domain, associated with a quasi-linear operator.

### III. Some preliminaries results.

We consider a linear perturbation  $Pu = \lambda u, \lambda \in R$  being a rate factor of power in changing the power step, for which the associated the boundary value problem is:

$$(3.1) \quad Lu + \lambda u = f, f(u) = ct., f \in L^2(\Omega), u = 0, \text{ for } z = 0, \text{ where, } L = \Delta + p.$$

We will see that bifurcation of a branch of positive solution  $u(\lambda)$  is achieved from the first eigenvalue of linear part of an application that defines the equation. The Lyapunov-Schmidt theory [4] is applicable for parametric representation of solution defined near eigenvalue  $\lambda_1$ , and the solution continuation is achieved in implicit functions theorem meaning. The following considerations are for an eigenvalue problem, put in a more generally frame or a new point of view, for which we will obtain intrinsic results.

We consider the boundary value problem:

$$(3.2) \quad Lu - \lambda u + f(u) = 0 \text{ in } \Omega, \quad Bu = 0 \text{ on } \partial\Omega,$$

where  $\lambda \in R, L$  is a second order operator, defined by a real functions space,  $B$  is a linear operator, defined on functions restricted to  $\partial\Omega$ ,  $\Omega \in R^n, f(t)$  a convex function for  $t > 0$ , concave for  $t < 0$ ,  $f(0) = f'(0) = 0$ , with  $\lim_{t \rightarrow -\infty} f'(t) = k_- > -\infty, \lim_{t \rightarrow +\infty} f'(t) = k_+ < +\infty$  (see figure

1). For  $f \in C^\alpha(R)$ , with a finite rising rate  $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} |f'(t)| < \lambda_1 - \delta, Lu = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left( a_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} u \right) + a.u,$

$a_{ij} \in C^{1+\alpha}(\Omega) \alpha \in (0,1), Bu = u$ , it is accepted the operational form of equation (3.2):

$$(3.3) \quad F(u, \lambda) = K(\lambda u - f) = u,$$

where  $K : C^\alpha(\Omega) \rightarrow C^{2+\alpha}(\Omega)$  is a linear, compact application, defined by the solution of boundary value problem:

$$(3.4) \quad Lu = h \text{ in } \Omega, h \in C^\alpha(\Omega), \quad Bu = 0 \text{ on } \partial\Omega.$$

The eigenvalue  $\lambda_1$  of the operator  $L$  from (3.2) are characteristic value for application  $K$  from (3.3). It is considered the eigenvalue quasi-linear problem:

$$(3.5) \quad K(m.n) = \mu \cdot u, m \in C(\Omega), \quad m(x) > 0 \quad a.p.t. x \in \Omega,$$

with  $\mu_j(m) > 0$  eigenvalues which are accumulated to 0.

We reconsider the following result: eigenvalue of problem (3.5) are monotonous in comparison to function  $m(x)$  on  $\Omega$ . We will study the branches bifurcations of no vanish solutions from the vanish solution branches  $\{(u, \lambda) \in C(\Omega) \times R \mid u = 0\}$ ; we see  $(0, \lambda_1)$  as bifurcation point. For the formulation of the existence of positive solution branches, we will preliminary present some results. We introduce first:

*Definition 3.1:* Function  $u \in C(\bar{\Omega})$ , for which Fréchet derivative of application  $F(\cdot, \lambda)$  in  $u$  is a reversible application, is named itself a not-critical point for problem (3.2). Otherwise, it's named itself critical point.

A regular element characterization introduced by  $F$  is made by

*Lemma 3.1:* If  $u$  is a non zero solution of problem (3.2),  $\lambda \geq \lambda_1$ , which holds the same sign in  $\Omega$ , then  $u$  is not a critical point for application  $G(\cdot, \lambda) : C(\bar{\Omega}) \rightarrow C(\bar{\Omega})$ ,  $G(u, \lambda) = u - F(u, \lambda)$ .

*Proof:* We suppose that  $u$  is a critical point for application  $G(\cdot, \lambda)$ , that is to say there is  $v \in C(\bar{\Omega}), v \neq 0$ , so that  $G'_u(u, \lambda)v = 0$ . Then, equation  $F'_u(u, \lambda)v = v$ , has the solution  $v \neq 0$ , so the eigenvalue problem  $K(\lambda - f'(u))v = \mu v$  has  $v$  as a eigenfunction, for a particular eigenvalue  $\mu_k(\lambda - f'(u)) = 1$ , with  $k > 1$  specified. On the other hand,  $u$  verifies

$K(\lambda u - f(u)) = u$ , but  $K$  being linear, we have  $K\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right)u = u$ , so that the eigenvalue problem:

$$(3.6) \quad K\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right)u = \mu v.$$

has an eigenvalue  $\mu_j\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right) = 1$ , with  $u$  eigenfunction, positive or negative, which is the

solution to equation  $F(u, \lambda) = u$ . We observe that function  $f$  satisfies  $\frac{f(t)}{t} < f'(t), \forall t \neq 0$ .

Indeed, the conditions  $f(0) = f'(0) = 0$ ,  $f$  convex, assure  $f$  as a local increasing function for

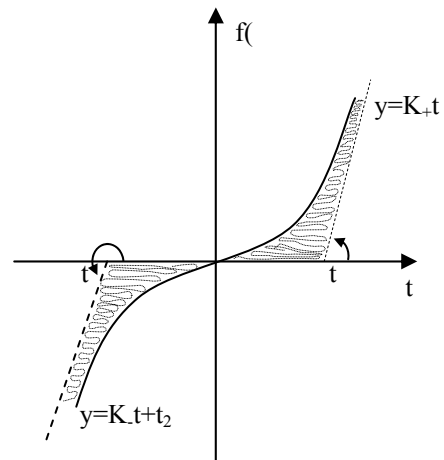


Figure 1. Example of f function

$t > 0$ , so the chord slope  $\frac{f(t)}{t}$  is inferior to graphic tangent :  $f'(t)$ . We have  $\lambda - \frac{f(t)}{t} > \lambda - f'(t) = \delta > 0$ , from where, using monotony of eigenvalues, results  $\mu_1(\lambda - f'(u)) \leq \mu_1\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right) = 1$ , that is to say  $\mu_1\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right) = 1$ . But, for (2.6)  $1 = \mu_1\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right) > \mu_1(\lambda - f'(u)) > \mu_k(\lambda - f'(u)) = 1$ , is contradiction (because  $k > 1, \mu_k \rightarrow 0$ ).

**Lemma 3.2:** The equation  $F(u, \lambda) = u$  has a unique positive solution, for  $\lambda \in (\lambda_1, \lambda_1 + k_+)$  and no solution for  $\lambda \geq \lambda_1 + k_+$ , one negative solution for  $\lambda \in (\lambda_1, \lambda_1 + k_-)$  and no solution for  $\lambda \geq \lambda_1 + k_-$ . More,  $\lim_{\lambda \rightarrow \lambda_1 + k_+} \|u(\lambda)\| = +\infty$ .

*Proof:* We see that application  $F(\cdot, \lambda) = K(\lambda \cdot - f(\cdot))$  does not vary the positive cone  $P \subset C(\bar{\Omega})$  ([1]) and is an asymptotic linear application, having  $F'_+(0, \lambda)v = K(\lambda v - f'(0)v) = \lambda K v = \lambda \mu_1(1)v = \frac{\lambda}{\lambda_1} v > v, \forall v \in P, F'_+(+\infty, \lambda)v = K(\lambda v - f'(+\infty)v) = (\lambda - k_+)K v = \frac{\lambda - k_+}{\lambda_1} v > v, \forall v \in P$ .

Having now  $\lambda \in (\lambda_1, \lambda_1 + k_+)$ , then  $\frac{\lambda}{\lambda_1} > 1, \frac{\lambda - k_+}{\lambda_1} < 1$ , so  $F'_+(0, \lambda)v - v > 0, F'_+(+\infty, \lambda)v - v < 0, \forall v \in P$ , then, continuous application  $F(u, \cdot) - u$  has a unique positive zero:  $u$ .

We suppose  $\lambda > \lambda_1 + k_+$  and a unique positive solution  $u$  for  $F(u, \lambda) = u$ , for which  $\mu_1\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right) = 1$  (Lemma 3.1). Because  $\lambda - f'(u) > \lambda - k_+$ , we have  $1 = \mu_1\left(\lambda - \frac{f(u)}{u}\right) > \mu_1(\lambda - f'(u)) > \mu_k(\lambda - k_+) > \mu_1(\lambda_1) = 1$ , a contradiction, so there is no solution for  $F(u, \lambda) = u$ , with  $\lambda > \lambda_1 + k_+$ .

#### IV. The main result.

The results from Lemma 3.1 and 3.2 assure irreversibility of application  $G(\cdot, \cdot)$ , so it is a local isomorphism for  $\lambda \leq \lambda_1$ . The following result shows us existence of two no vanish branches of solutions, making a bifurcation from solution  $(0, \lambda_1)$  at the problem (3.3), parametrically appointed through:

$$(4.1) \quad \begin{aligned} \Gamma_+ &= \{(u, \lambda) \in C(\bar{\Omega}) \times R \mid u = u_+(\lambda), \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_1 + k_+\}, \\ \Gamma_- &= \{(u, \lambda) \in C(\bar{\Omega}) \times R \mid u = u_-(\lambda), \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_1 + k_-\}, \end{aligned}$$

**Theorem 4.1:** Let  $f \in C^1(R)$  be a function that satisfies the imposed conditions; then the multitude no vanish solutions of equation (3.3), making a bifurcation in point  $(0, \lambda_1)$ , form two continuous branches of solutions  $\Gamma_+, \Gamma_-$ , so that  $\lim_{\lambda \rightarrow \lambda_1 + k_+} \|u(\lambda)\| = +\infty$ . Much more, equation

(3.3) has only vanish solution for  $\lambda \in (0, \lambda_1)$  and neither positive nor negative solution for  $\lambda \geq \lambda_2$ .

*Proof:* We prove in the first place that  $F(u, \lambda) = u$  has solution for  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$ , with positive or negative necessity. If  $u \neq 0$  then exist  $k > 1$ , so that  $\mu_k \left( \lambda - \frac{f(u)}{u} \right) = 1$  (Lemma 3.1.). Using continuation property of no vanish solution  $u$ , we have for  $\lambda - \frac{f(u)}{u} < \lambda < \lambda_2$  the following inequalities  $\mu_2 \left( \lambda - \frac{f(u)}{u} \right) < \mu_2(\lambda) = \frac{\lambda}{\lambda_2} < 1$ , and consequently  $\mu_1 \left( \lambda - \frac{f(u)}{u} \right) = 1$ , so that the no vanish solution of equation  $v = K \left( \lambda - \frac{f(u)}{u} \right) v$  is constant in sign. Because  $u$  is a solution of this equation, we have  $v = K \left( \lambda - \frac{f(u)}{u} \right) u = K(\lambda u - f(u))$ , so  $u$  is positive or negative.

If  $u = u_+(\lambda)$  is the positive solution for  $F(u, \lambda) = u$ , conforming Lemma 3.2 there exist for  $\lambda_1 < \lambda < \lambda_1 + k_+$  the solution branch  $\Gamma_+$ . Analog, a no vanish negative solution branch  $\Gamma_-$  exists. Because for  $\lambda < \lambda_1$ , the only solution is vanish, the solutions branches are bifurcated in point  $(0, \lambda_1)$ .

*Corollary 4.1:* Having  $c_1 = \min\{\lambda_1 + k_+, \lambda_1 + k_-\}$  and  $c_2 = \max\{\lambda_1 + k_+, \lambda_1 + k_-\}$ , then the boundary value problem (2.2) has two no vanish solutions branches for  $\lambda \in (\lambda_1, \min(c_1, c_2))$ , a no vanish solutions branch, if  $c_1 < \min(c_2, \lambda_2)$  and  $\lambda \in [c_1, \min(c_2, \lambda_2)]$ , none of the no vanish solutions if  $c_2 \leq \lambda_2$  and  $\lambda \in [c_2, \lambda_2]$ .

For many other considerations see [2], [3]. A numerical analysis of this solution and other technological considerations will be presented in a forthcoming paper.

## References

- [1] H. Amann, *Nonlinear operators in ordered Banach spaces and some applications to nonlinear boundary-value problems*. Lect. Notes Math. 543, Springer-Verlag, (1976), p. 1-55.
- [2] C. Ghiță, *Some considerations about monotone iterative schemes to nonlinear eigenvalue problems*, Lucrări Științifice. Matematică, Fizică, Proc. Summer school Constanța, 1981.
- [3] C. Ghiță, *Metalurgie Matematică. Analiza nestructurală a proceselor metalurgice*, Ed. Academiei Române, București 1995.
- [4] D. H. Sattinger, *Topics in stability and bifurcations theory*, Lect. Notes Math., 309, Springer-Verlag, 1973.
- [5] I. Trișă & C. Pumnea, *Retopirea și rafinarea oțelurilor*, Ed. Tehnică, București, 1981.

---

\* Constantin Ghiță, Prof. Univ. Dr., Universitatea Valahia Tîrgoviște, ghita@valahia.ro



## COMBINARE DE LOGICĂ FUZZY ȘI REȚELE NEURONALE ÎNTR-O ARHITECTURĂ DE FUZIUNE SENZORI ȘI URMĂRIRE

Marian-Silviu GÎRNIȚĂ \*

*Abstract:* In this work, a new multisensor data fusion architecture integrating neural network and fuzzy logic techniques is introduced, which has the ability of fast adjusting acceleration parameter and covariance of measurement noise of sensors. In this architecture, the neural network estimates acceleration and fuzzy logic adapts the covariance of measurement noise on-line and also offers degree of confidence of sensors for fusion. The results of simulation show that this new architecture can adjust maneuver parameter in nearly one sample time and change the covariance of measurement noise effectively.

*Keywords:* fuzzy logic, Kalman filter, neural network  
2000 MSC: 93C40, 93C42

### Capitolul I: SCOPUL URMĂRIT

Rezultatele recente în ce privește tehnologiile implementate în senzori și algoritmi de calcul distribuiți, alături de cerințele pentru extinderea necesităților operaționale au contribuit la creșterea interesului de a dispune mai mulți senzori în cadrul a diferite misiuni de supraveghere dar și tactice. Chestiunea fundamentală de interes în aceste scenarii este cum să dezvoltăm o arhitectură de fuziune date eficientă care să faciliteze procesarea integrată a mari volume de date ce sosesc cu rate de transfer mari pentru a valida luarea deciziei, ceea ce la rândul său facilitează utilizarea completă a capacităților acestor senzori și realizarea tuturor beneficiilor posibile rezultate din desfășurarea lor în teren.

În scopul fuzionării datelor de la mai mulți senzori diferiți, au fost dezvoltate o mulțime de arhitecturi de fuziune și modele. Se poate afirma că două modele au câpătat cea mai mare popularitate, anume modelul multiplu interactiv (IMM – Interactiv Multiple Model) și modelul cu estimarea intrării (IE – Input Estimation). Dar aceste două modele încă ar trebui să fie îmbunătățite. Spre exemplu, dacă ținta execută o manevră cu o foarte scurtă accelerație, modelul IE poate pierde ținta; în această situație s-ar putea utiliza o rețea neuronală care să estimeze accelerația. În 2003, Allen Stubberud a luat în discuție dezavantajele IMM când acesta folosește un model cu zgomot puternic de proces pentru a menține o țintă manevrieră, cu estimate slabe de viteză și accelerație și a propus un algoritm de urmărire IMM NEKF (EKF neuronal) [x]. Ar trebui luate în considerare însă și zgomotele de măsurători. Există metode

care se ocupă de această problemă; una din acele tehnologii utile este cea care folosește logica de tip fuzzy [2] pentru a ajusta adaptiv, on-line, covarianța zgomotului de măsură.

Deși manevra cu scurte accelerații și diversitatea de zgomote de măsură au fost discutate, s-a lucrat destul de puțin la a rezolva cele două probleme în aceeași arhitectură.

Voi prezenta aici o viziune de arhitectură multisenzor distribuită de urmărire ce integrează rețea neuronală și logică fuzzy. În acest sistem de fuziune, rețeaua neuronală ia datele de la senzori ca intrări, apoi exportă estimata accelerației către filtrul Kalman și, în același timp, la sistemul de logică fuzzy, care ajustează covarianța zgomotului de măsură al senzorilor și oferă un grad de încredere pentru a fuziona rezultatele date de filtrele Kalman.

## Capitolul II: DESCRIERE A NOII ARHITECTURI DE FUZIUNE DATE

### 2.1 Filtrul Kalman

Filtrul Kalman este un algoritm recursiv de procesare a datelor. Ecuațiile sale încorporează o nouă măsurătoare în estimata *a priori* pentru a obține o estimată *a posteriori* îmbunătățită. Dacă notăm cu  $\hat{x}_k$  estimata vectorului de stare  $x_k$ , iar  $P_k$  este matricea de covarianță corespunzătoare erorii de estimare a stării,

$$P_k = E\{(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T\} \quad (1)$$

Termenul  $H_k \hat{x}_k^-$  este ieșirea  $z_k$  prezisă la momentul anterior, iar  $(z_k - H_k \hat{x}_k^-)$  este eroarea de predicție de la momentul anterior, cunoscută și sub denumirea de secvența de inovație sau rezidualul:

$$r_k = (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (2)$$

Inovația reprezintă informația adițională disponibilă filtrului, ca o consecință a noii observații  $z_k$ . Inovația ponderată,  $K_k [z_k - H_k \hat{x}_k^-]$ , acționează ca o corecție la estimata predicționată  $\hat{x}_k^-$  pentru a forma estimata  $\hat{x}_k$ ; matricea de ponderare  $K_k$  este referită ca fiind câștigul filtrului sau matricea de câștig Kalman.

Algoritmul filtrului Kalman pornește de la condițiile inițiale la  $k = 0$ , acestea fiind  $\hat{x}_0^-$  și  $P_0^-$ . Cu trecerea timpului, pe măsură ce noile măsurători  $z_k$  devin disponibile, ciclul corecție-estimare al stărilor și covarianța corespunzătoare a erorii vor continua recursiv la infinit.

### 2.2 Rețeaua neuronală

Studiul asupra rețelelor neuronale ne dezvăluie că orice transformare neliniară continuă poate fi aproximată cât de mult dorim cu o rețea neuronală multistrat, cu o topologie de propagare înainte și funcții neliniare sigmoideale (de forma lui „S”).

Elementul de procesare de bază (neuronul) din aceste rețele de aproximare a funcției are o caracteristică de intrare-ieșire care se obține prin formarea unei sume ponderate ale intrărilor recepționate și producerea unei ieșiri care este o funcție neliniară de această sumă ponderată, conform relației:

$$y(t) = g\left[\sum_{i=1}^m w_i u_i(t)\right] \quad (3)$$

unde  $u_i(\cdot): R \rightarrow R$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  sunt intrările;  $y(\cdot): R \rightarrow R$  este ieșirea;  $w_i \in R$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  sunt ponderile. Aici  $g(\cdot): R \rightarrow R$  este o funcție de activare neliniară selectată în mod adecvat, care satisface următoarele condiții:  $xg(x) > 0$  pentru toți  $x \in R$ ;  $\lim_{|x| \rightarrow \infty} g(x) = k \operatorname{sgn}(x)$ ,  $k > 0$ ;  $g(x_1)/x_1 \geq g(x_2)/x_2$  pentru toți  $|x_1| \leq |x_2|$ .

Cele mai des întâlnite funcții de activare sunt caracteristicile sigmoide; spre exemplu,  $g(x) = \tanh(\lambda x)$  sau  $g(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$ . Arhitectura de procesare a unei rețele multistrat cu propagare înainte, cu un strat de intrare, un strat de ieșire și câteva straturi ascunse este prezentată în figura 1. În această arhitectură, stratul de intrare are 4 noduri, care doar distribuie intrările la nodurile din următorul nivel (primul strat ascuns), iar stratul de ieșire are două noduri, cu rolul doar de a combina ieșirile nodurilor din stratul anterior (ultimul strat ascuns). Straturile ascunse au un număr arbitrar de noduri care realizează procesarea neliniară, conform regulii stabilite.

De o importanță fundamentală pentru antrenarea în bune condiții a rețelei neuronale este selectarea unui set adecvat de caracteristici de intrare. Utilizând un număr suficient de caracteristici în procesul de antrenare, este posibil să obținem proprietăți de foarte bună toleranță la erori (robustețe) pentru procesorul cu rețea neuronală. Mai mult, întrucât arhitectura de rețea se poate alege astfel încât să accepte ca intrări date colectate de la mai mulți senzori (la fel sau diferiți), fuziunea datelor se poate face implicit. Uneori este necesară o preprocesare a datelor pentru a putea fi utilizate avantajos ca intrări în rețea.

La selecția caracteristicilor adecvate ne putem ghida după observația că în general există trei entități de bază care ajută la obținerea unei bune estimate a manevrei țintei. Acestea sunt: (1) intensitatea accelerației, (2) direcția vitezei tangențiale și (3) viteza inițială la momentul accelerației.

Sunt disponibile două intrări pentru rețeaua neuronală, extrase din datele brute de la senzor:

$v_1$ : intensitatea accelerației, definită astfel:

$$v_1(k) = \frac{r_x^2(k)}{S_{xx}(k)} + \frac{r_y^2(k)}{S_{yy}(k)} \quad (4)$$

unde  $r(k) = [r_x \ r_y]$  este inovația (rezidualul), iar  $S_{xx}(k)$  și  $S_{yy}(k)$  sunt elementele diagonale ale matricei covarianță:

$$S(k) = HP(k | k-1)H^T + R \quad (5)$$

$v_2$ : modificarea de cap-compass, definit astfel:

$$v_2(k) = \alpha_{LT}(k) - \alpha_{LT}(k-1) \quad (6)$$

unde  $\alpha_{LT}(k)$  și  $\alpha_{LT}(k-1)$  sunt estimatele capetelor compass, calculate ținând seama de ultimele poziții ( $N$  este 3) la momentele  $k$  și respectiv  $k-1$ , adică:

$$\alpha_{LT}(k) = \mu \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

unde

$$\mu = \operatorname{sgn} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) \quad (8)$$

$$\bar{x} = (1/N) \sum_{i=1}^N x_i \quad (9)$$

$$\bar{y} = (1/N) \sum_{i=1}^N y_i \quad (10)$$

Principiul de utilizare a rețelei neuronale de a extrage parametrul accelerație este că atunci când nu avem nici o manevră, media secvenței de inovație (un grup de date constând

din valorile anterioare ale inovației) este egală cu zero; dar atunci când există o manevră, ea nu va mai fi zero.

### 2.3 Sistemul de logică fuzzy

Principalele avantaje ale utilizării unui sistem cu logică fuzzy sunt simplitatea abordării și capacitatea de a lucra cu informație imprecisă și de asemenea posibilitatea de a include cunoștințe euristice despre un fenomen luat în considerare.

Capacitatea unui sistem cu logică fuzzy de a ajusta în mod adaptiv covarianța zgomotului de măsură a fost demonstrată în [2]. Fundamentul acestei aplicații este numit algoritm de estimare adaptivă bazat pe inovație [3]. Ideea de bază din spatele acestui algoritm este de a face valoarea actuală a covarianței rezidualului compatibilă cu valoarea sa teoretică. Secvența de inovație  $r(k)$  are o covarianță teoretică  $S(k)$  definită prin ecuația (5) de mai înainte. Având secvența de inovație  $r(k)$ , covarianța sa actuală  $\hat{C}_{rk}$  este aproximată prin covarianța de la pași diferiți prin mediere în cadrul unei ferestre de estimare glisante de dimensiune  $N$ .

$$\hat{C}_{rk} = \frac{1}{N} \sum_{i=i_0}^N r_i r_i^T \quad (11)$$

unde  $i_0 = k - N + 1$  este primul eșantion în cadrul ferestrei de estimare. Dimensiunea ferestrei  $N$  este aleasă empiric pentru a da o anumită mediere statistică.

Astfel, dacă se observă că actuala covarianță a lui  $r(k)$  este diferită de valoarea sa teoretică, atunci trebuie să facem ajustări pentru  $R$  în sensul corectării acestei nepotriviri. Este definită o nouă variabilă numită Gradul de Potrivire (GP) pentru a detecta discrepanța dintre  $S(k)$  și valoarea sa actuală  $\hat{C}_{rk}$ ,

$$GP_k = S_k - \hat{C}_{rk} \quad (12)$$

Se poate construi apoi un sistem de inferență fuzzy pentru a ajusta pe  $R$ , în baza următoarelor reguli:

-Dacă  $GP \cong 0$  (aceasta înseamnă că  $S(k)$  și  $\hat{C}_{rk}$  se potrivesc aproape perfect) atunci menținem pe  $R$  neschimbat;

-Dacă  $GP > 0$  (aceasta înseamnă că  $S(k)$  este mai mare decât valoarea sa actuală  $\hat{C}_{rk}$ ) atunci descreștem pe  $R$ ;

-Dacă  $GP < 0$  (aceasta înseamnă că  $S(k)$  este mai mică decât valoarea sa actuală  $\hat{C}_{rk}$ ) atunci creștem pe  $R$ .

$R$  se ajustează în acest fel:

$$R_k = R_{k-1} + \Delta R_k \quad (13)$$

unde  $\Delta R_k$  este ieșirea sistemului de inferență fuzzy.

Pentru situația cu mai mulți senzori, gradul de încredere corespunzător datelor senzoriale se poate genera prin observatorul logic fuzzy (FLO – Fuzzy Logic Observer) în scopul fuzionării ulterioare corecte a datelor. Acest tip de logică fuzzy ia covarianța zgomotului de măsură  $R_k$ , ajustată corespunzător cu ecuația (13), și  $GP$  ca intrări și exportă  $w$  (gradul de încredere). Regulele se pot stabili astfel: dacă  $|GP| = 0$  și  $R = 0$ , atunci  $w = \text{„Bun”}$ ; dacă  $|GP| = 0$  și  $R = \text{„Mic”}$ , atunci  $w = \text{„Bun”}$ ; dacă  $|GP| = 0$  și  $R = \text{„Mare”}$ , atunci  $w = \text{„Mediu”}$ ; dacă  $|GP| = \text{„Mic”}$  și  $R = 0$ , atunci  $w = \text{„Bun”}$ ; dacă  $|GP| = \text{„Mic”}$  și  $R = \text{„Mic”}$ , atunci  $w = \text{„Mediu”}$ ; dacă  $|GP| = \text{„Mic”}$  și  $R = \text{„Mare”}$ , atunci  $w = \text{„Slab”}$ ; dacă  $|GP| = \text{„Mare”}$  și  $R = 0$ , atunci  $w = \text{„Mediu”}$ ; dacă  $|GP| = \text{„Mare”}$  și  $R = \text{„Mic”}$ , atunci  $w = \text{„Slab”}$ ; dacă  $|GP| = \text{„Mare”}$  și  $R = \text{„Mare”}$ , atunci  $w = \text{„Slab”}$ .

Sistemele FIS și FLO (de inferență și observator) se pot integra într-un singur sistem fuzzy, care va lua  $GP$  ca intrări și va scoate  $R$  ajustat către filtrul Kalman și  $w$  (gradul de încredere) către modulul de fuziune.

## 2.4 O nouă arhitectură de fuziune date

Această nouă arhitectură de fuziune date am gândit-o în spiritul ideii mai largi de a învăța rețeaua neuronală cu parametrul accelerație al manevrei, în mod special pentru accelerațiile scurte și rapide; apoi de a ajusta on-line covarianța zgomotului de măsurare cu ajutorul sistemului cu logică fuzzy. Sunt trei algoritmi utilizați în această arhitectură: rețea neuronală, filtru Kalman și logica fuzzy. Relațiile dintre ei sunt ilustrate în figura 1. Mai întâi, toate măsurătorile noi ale senzorilor de la momentul  $k$  vor fi transmise la rețeaua neuronală, sistemul logic fuzzy dar și la filtrele Kalman. Sistemele cu logică fuzzy vor regla parametrii  $R$  (covarianța zgomotului de măsură) ai filtrelor Kalman și în același timp vor furniza gradul corespunzător de încredere în informațiile senzorilor către modulul de fuziune. Modulul de rețea neuronală va exporta parametrul accelerație la filtrele Kalman și la sistemele fuzzy. Modulul de fuziune va fuziona ieșirile filtrelor Kalman, corespunzător gradului de încredere. În figură avem:  $v_1$ : intensitatea accelerației definită anterior,  $v_2$ : modificarea de cap-compas definită anterior,  $v_3 - v_n$ : alte intrări pentru rețeaua neuronală care sunt utilizate în estimarea parametrului accelerație, formele lor detaliate depinzând de proprietățile sensorului,  $Z(k)$ : măsurătoarea sensorului la momentul de eșantionare  $k$ ,  $S(k)$ : covarianța secvenței de inovație, definită anterior,  $a$ : parametrul accelerație estimat la momentele de eșantionare  $k$ ,  $X(k - 1)$ : valoare estimată al momentele de eșantionare  $k - 1$ ,  $GP$ : Gradul de Potrivire, intrare a sistemului logic fuzzy,  $R(k)$ : covarianța zgomotului de măsurători la momentele de eșantionare  $k$ , una din ieșirile sistemului logic fuzzy,  $w$ : gradul de încredere pentru un senzor, una din cele două ieșiri ale sistemului logic fuzzy.

În această arhitectură, mai trebuie introduse alte două module: modulul de operații (prelucrări) matematice și modulul de fuziune. Modulul de operații matematice este utilizat pentru a executa operații matematice simple. Modulul de fuziune are ca scop fuzionarea ieșirilor filtrelor Kalman către o valoare care este mai apropiată de valoarea reală bazată pe algoritmul de fuziune, astfel:

$$\tilde{X}(k) = \frac{\sum_{i=1}^m w_i \hat{x}_i(k)}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (14)$$

unde  $m$  este numărul de senzori,  $w_i$  este gradul de încredere al celui de-al  $i$ -lea senzor,  $\hat{x}_i(k)$  este estimarea valorii reale la momentele de eșantionare  $k$  date de al  $i$ -lea filtru Kalman,  $\tilde{X}(k)$  este rezultatul fuziunii la momentele de eșantionare  $k$ .

## Capitolul III: SIMULĂRI ȘI EVALUAREA PERFORMANȚEI

Pentru a verifica eficiența unei asemenea arhitecturi, în această secțiune voi prezenta o simulare. Vom considera doi senzori în cadrul sistemului nostru de urmărire, ambele furnizând date de măsurători în două dimensiuni. Cei doi senzori au însă condiții diferite de lucru și sensibilități diferite la situațiile meteo nefavorabile. Modelul de urmărire ales este unul liniar:

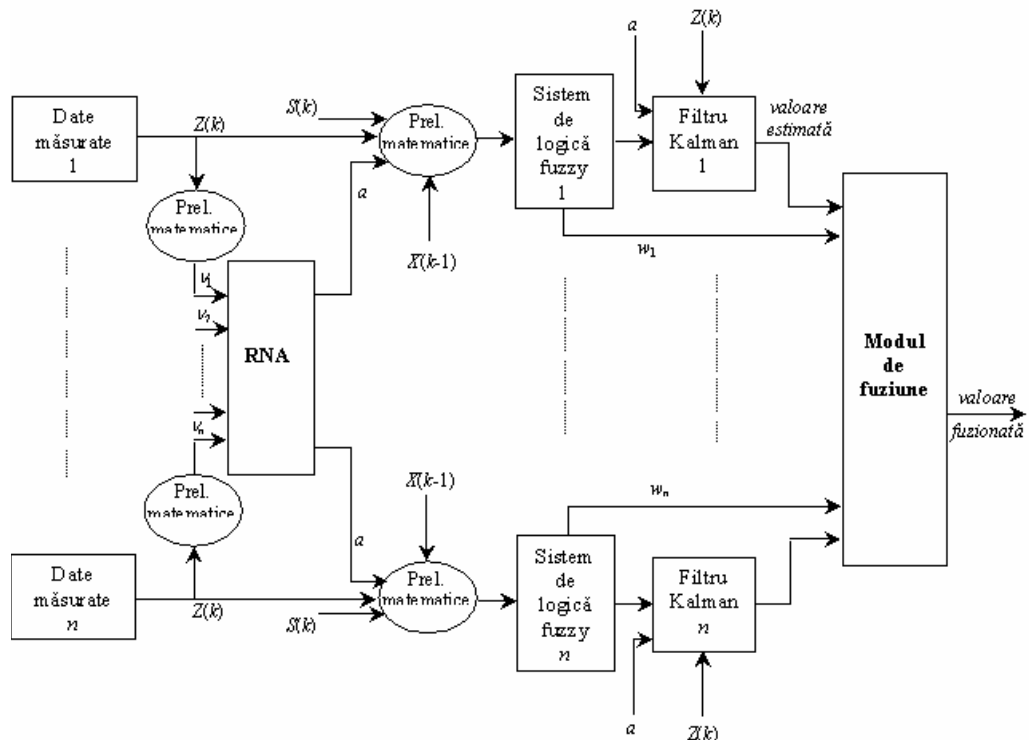


Figura 1. O nouă arhitectură de fuziune date

$$\begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ v_x(k) \\ v_y(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k-1) \\ y(k-1) \\ v_x(k-1) \\ v_y(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2}T^2 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}T^2 \\ T & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_x \\ w_y \\ w_{v_x} \\ w_{v_y} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} z_x(k) \\ z_y(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(k) \\ y(k) \\ v_x(k) \\ v_y(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} \quad (16)$$

unde  $T$  este perioada de eșantionare.

Rețeaua neuronală are patru intrări și două ieșiri. Numărul de neuroni ales pentru stratul ascuns se poate decide doar după antrenare. Pentru a avea o bună acuratețe la estimarea accelerației, am creat 2000 de seturi de date de antrenare după următoarea schemă:

- Accelerație: între 0 la 20, împărțită în 20 de nivele;
- Viteza inițială: între 100 și 200, împărțită în 10 nivele;
- Covarianța zgomotului de măsură: între 0,1 și 1, împărțită în 10 nivele.

Rezultatele antrenării au arătat că 35 de neuroni sunt suficienți pentru stratul ascuns.

Se ridică două întrebări în legătură cu arhitectura de față. Mai întâi, dacă această arhitectură lucrează eficient atunci când avem în mod sistematic manevre de scurtă durată și diverse zgomote de măsură; apoi, pentru situația când covarianța zgomotului de măsură al celor doi senzori se modifică în același timp.

### 3.1 Primul test

Considerăm o țintă care se deplasează cu viteza inițială de 100 m/s, perioada de eșantionare a sistemului de urmărire a țintei este 4 s, covarianța zgomotului de măsură pentru ambii senzori este 0,1, o manevră scurtă se întâmplă la momentul de eșantionare 5. Această manevră constă dintr-o accelerație rapidă de 3 m/s<sup>2</sup> și durează doar o singură perioadă de eșantionare. Apoi covarianța zgomotului de măsură al unui senzor se modifică de la 0,1 la 0,5 la momentul de eșantionare 10 și se păstrează neschimbată în următoarele eșantioane.

Rezultatul simulării pentru eroarea de poziție pe coordonata x (eroarea de poziție pe y este asemănătoare) este prezentat în figura 2, în care performanța noii arhitecturi de fuziune este comparată cu aceeași arhitectură dar cu rețea neuronală doar și cu o arhitectură doar cu sistem logic fuzzy. Rezultatul arată că noua arhitectură de fuziune poate ajuta la reglarea parametrului accelerație într-o singură perioadă de eșantionare și modifică adaptiv covarianța zgomotului de măsurare în câteva perioade de eșantionare. Dimpotrivă, arhitectura doar cu rețea neuronală și cea doar cu sistem logic fuzzy pierd ținte atunci când apare manevra cu accelerația, respectiv când se modifică zgomotul de măsură.

### 3.2 Al doilea test

Considerăm o țintă care se deplasează cu viteza inițială de 100 m/s, perioada de eșantionare a sistemului de urmărire a țintei este 4 s, covarianța zgomotului de măsură pentru ambii senzori este 0,1. La momentul de eșantionare 5, covarianța zgomotului de măsură pentru ambii senzori se modifică de la 0,1 la 0,5. Pentru comparație, luăm situația în care se modifică zgomotul de măsurători de la un singur senzor în aceleași condiții, adică la momentul de eșantionare 5 și valoarea de la 0,1 la 0,5. Rezultatul simulării pentru eroarea de poziție pe coordonata x este prezentată în figura 3.

Am observat că atunci când zgomotul de măsură de la doi senzori se modifică simultan și cu aceeași valoare, arhitectura respectivă nu poate lucra corect. Aceasta înseamnă că în condițiile date senzorii respectivi nu trebuie plasați în același loc (pe aceeași platformă). O altă posibilitate de rezolvare a situației ar fi ca senzorii aleși să fie de tipuri diferite sau cu tehnologii constructive diferite, care să le determine sensibilități diferite la condiții nefavorabile.

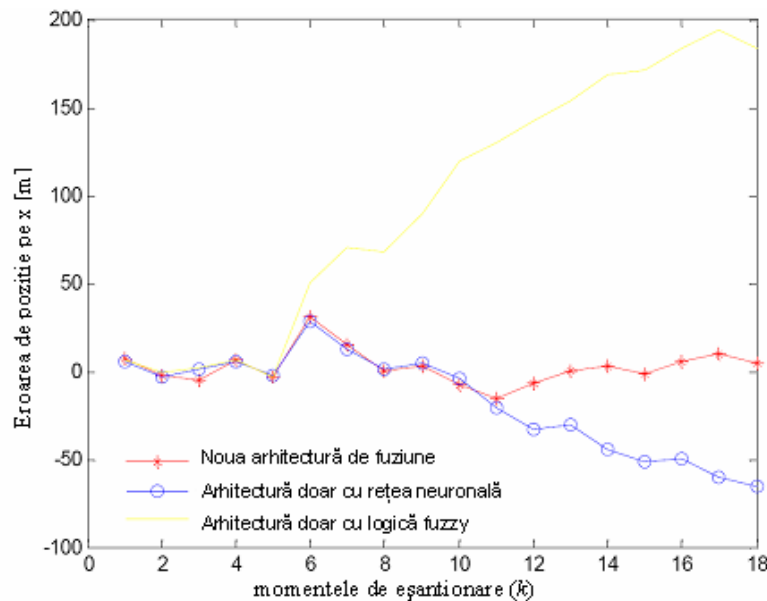


Figura 2. Eroarea de poziție pentru coordonata x a unui sistem de urmărire ce folosește trei arhitecturi diferite de fuziune



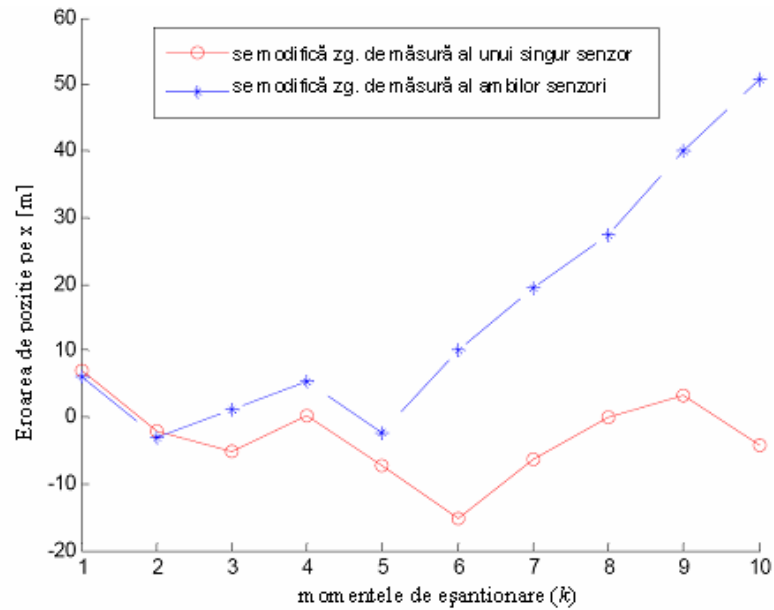


Figura 3. Eroarea de poziție în coordonata x a sistemului de urmărire ce folosește această arhitectură

### Capitolul III: CONCLUZII

Scopul acestei lucrări a fost de a prezenta o nouă arhitectură de fuziune ce s-ar putea utiliza într-un sistem de urmărire a țintelor și care poate rezolva problema manevrelor cu scurte accelerații și a ajustării adaptive a covarianței zgomotului de măsură al senzorilor. Rezultatele simulării au arătat că această arhitectură poate rezolva cele două probleme anterioare dar are totuși dezavantajul că senzorii utilizați în sistemul de urmărire nu trebuie să aibă același zgomot de măsurători.

### Bibliografie

- [1] M.W. Owen and A.R. Stubberud, „*NEKF IMM Tracking Algorithm*”, Signal and Data Processing of Small Targets, 5204:223-233, 2003.
- [2] P.J. Escamilla-Ambrosio, N. Mort, „*A hybrid Kalman filter-fuzzy logic architecture for multisensor data fusion*”, International Symposium on Intelligent Control, pg. 364-369, 2001.
- [3] A. H. Mohamed and K. P. Shwarz, *Adaptive Kalman filter for INS/GPS*, Automatic Control, pg.193-203, 1999.

---

\* Gîrniță Marian-Silviu, doctorand, Academia Tehnică Militară, București, George Cosbuc nr. 81-83, tel. 0213354660, e-mail: silviu\_girmita@yahoo.com

## **CHANGING THE WAY CONTENT IS DISTRIBUTED, VALUED AND CONSUMED BY THE POWER OF RSS**

Luminița GIURGIU\*  
Ghiță BÂRSAN\*\*

*Abstract: RSS stands for “Rich Site Summary” and is a type of XML document used to share news headlines and other types of web content. RSS has been adopted by news syndication services, weblogs, and other online information services. RSS and RSS feeds are relatively new to internet users, being the most important technology to arrive on the internet since blogging. Because this technology provides us with a method of getting relevant and up to date information sent to us and for us to read in our own time, it saves a lot of time and helps getting the information we want quickly after it was published. The content comes to us instead of going to get it! The strength of RSS is its simplicity. It is exceptionally easy to syndicate website content using RSS.*

*2000 MSC code: 68U35*

*Key words: web syndication, RSS feeds.*

### **I. Introduction**

RSS, or Really Simple Syndication as it is commonly known, is a technology that gives webmasters the ability to easily distribute and publish syndicated content on the Internet. But a lot of webmasters have absolutely no idea how to create an RSS feed or how they can incorporate an RSS feed on their website. A tool is not very useful if they do not know how to use it. It is with this motivation that this article is written, to give a basic understanding of how to create an RSS feed, validate/incorporate an RSS feed into the website, promote the feed, and finally how to subscribe a feed.

### **II. What is RSS?**

If we think about the types of websites that offer RSS feeds we see: first, there is the news and article related websites. These make up the majority of the websites who use RSS. There are also forums, web portals, search engines, and news aggregators, to name a few. The one thing all these types of websites have in common is that they are all filled with a lot of

information that changes. Organizing this information is the difficult part, and organizing it in a way that others can syndicate and customize the format is even more difficult.

RSS organizes information within ‘tags’ or ‘labels’ and places this information into what could be considered an outline format. All information can be organized into separate parts. As an example, an article website is made up of articles. Each article can be considered its own part of the site. Within each article there are parts as well, such as the title of the article, a description of the article, the date the article was published, who wrote the article, and so on. What RSS does is to present these ‘parts’ in a uniform, organized format.

RSS organizes information the same way every time. An RSS feed can be broken down into a few parts. First RSS presents the header information such as the XML version and various comments. This is more for the computers than it is for the readers. Next RSS presents information about the website. The information presented here can vary, but typically there will be the name of the site, a link to the site, the webmaster’s e-mail address, and maybe the last time the feed was updated. The next part to an RSS feed is the actual content of the feed.

So, to understand about how RSS organizes information, it would be useful to see how an RSS feed is published.

### III. Publishing an RSS Feed

Because RSS is focused on organizing content, creating an RSS feed is fairly easy to do. The below example is extremely simplified. RSS has quite a bit more flexibility than is demonstrated here, but for most webmasters a basic RSS feed is all that is needed.

An RSS feed can be broken up into a few simple parts. Similar to regular HTML, the first part of an RSS feed is the header information. A sample RSS header is located below:

```
[code]
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<!-- Publishing tool used -->
<rss version="0.91">
[/code]
```

The header is normally the same from feed to feed. After the header comes the actual content. All of the content is surrounded by “channel” tags. Below is a snippet of an RSS feed that contains just two articles:

```
[code]
<channel>
<title>Website Title, or Title of Section on the Site</title>
<link>http://www.thesite.com/</link>
<description>A short description of what the website is about</description>
<webmaster>Who is the webmaster ofthe site?</webmaster>
<language>en-us</language>
<item>
<title>Title of the first article focusing on</title>
<link>http://www.thesite.com/directlinktoarticle.html</link>
<author>Author’s Name</author>
<date>The date the article was published</date>
<description>This is the description of this article</description>
```

```

</item>
<item>
<title>The title of the second article</title>
<link>http://www.thesite.com/directlinktootherarticle.htm</link>
<author>Author's Name</author>
<data>Date Published</data>
<description>This description will describe the second article.</description>
</item>
</channel>
[/code]

```

The “channel” tags surround everything. Within the channel tags lies the content being syndicated. There is the title of the site, the site description, a place for a webmaster’s e-mail address, and the language that the site is in. It can be added more tags if needed. For example, if we want to include information on when the feed was last updated, we might include a tag called “lastUpdate”. Whatever information we want to give those who are syndicating our content, we can give them.

After this information are the “item” tags. The item tags allow separating the content being syndicated. In this example, the item tags separate each article. Each item tag separates items.

Within the item tags is the RSS feed’s content itself. In the above example, each item tag separates an article. Within the item tag, we have more tags which identify the title of the article, a link to the full article, the article’s author, the date published, and a description of the article. Again, we could include more information or less information depending on what our goals are.

The final step to create the RSS feed consists in closing all tags. RSS is very strictly about open tags. So, when creating the RSS feed, the RSS tag that we opened back in the header must be closed:

```

[code]
</rss>
[/code]

```

This information is saved as an XML document and the result will be a valid RSS feed. The final sample RSS feed looks like the following:

```

[code]
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<!-- Publishing tool used -->
<rss version="0.91">
<channel>
<title>Website Title, or Title of Section on the Site</title>
<link>http://www.thesite.com/</link>
<description>A short description of what the website is about</description>
<webmaster>Who is the webmaster of the site?</webmaster>
<language>en-us</language>
<item>
<title>Title of the first article focusing on</title>
<link>http://www.thesite.com/directlinktoarticle.html</link>
<author>Author's Name</author>

```

```
<date>The date the article was published</date>
<description>This is the description of the article</description>
</item>
<item>
<title>The title of the second article</title>
<link>http://www.thesite.com/directlinktootherarticle.htm</link>
<author>Author's Name</author>
<data>Date Published</data>
<description>This description will describe the second article.</description>
</item>
</channel>
</rss>
[/code]
```

#### IV. Validating/Putting the RSS Feed on the Website

With the flexibility of an RSS feed, we can take the content, arrange it how we want, make it fit the exact look and feel of our website, and control how much or how little information we are displaying on it.

It is recommended to:

- validate the RSS file to one of the following validators: feedvalidator.org, validator.w3.org/feed, rss.scripting.com, validome.org/rss-atom, validator.com;
- put the RSS file in the same folder as the home page;
- inform on the existence of the RSS file with an RSS image placed in the home page, by specifying the link to the RSS file, like this:

```
<a href="url rss"> </a>
```

- specify the localization of the RSS file by the add of tab link in the header of the web page, so RSS will be discovered and displayed by the browser and the process of subscribing to the RSS aggregators/readers will be made simpler like this:

```
<link rel="alternate" type="application/rss+xml" title="RSS" href="url RSS">
```

After the validating process, for a quick preview of how the new feed actually looks, a visit to [Wytheville Community College News Center](#) can be made. By entering again the URL feed, the clickable headlines and story descriptions nicely assembled inside a box, will be seen. The service will also generate a JavaScript code that we can post on the site. Anyone copying the JavaScript can automatically have our feed syndicated into their pages.

#### V. Get syndicated! or RSS Directories and RSS Search Engines Submission

Now that the RSS file is validated, we want the world to know about it! To make this happen, a visit must be made to the RSS directories and search engines listed in the [RSS: Your Gateway To News & Blog Content](#) article where submission pages are offered to inform them about the feed.

So, in order to promote the RSS feed, it is necessary to submit it to as many directories as possible, such as: [Best Blog Directory And RSS Submission Sites - Robin Good](#), FeedSubmitter, RSSFeedPromoter.

Finally, it's recommended to "ping" one of the major services that track when web logs and RSS content changes. By doing this, we ensure that other sites that monitor these know to check back at our site for more content. [Weblogs.com](#) is one of these major sites. By entering the site's name and the URL of the feed into the manual [Ping-Site Form](#), it will know we have updated our feed. The [Specs](#) page explains how to set up automatic notification.

[blo.gs](#) is another major change monitoring site. It is supposed to receive any changes that come from Weblogs.com, so we shouldn't need to notify it separately. The [ping form](#) explains how to set up automatic pinging, as well.

## VI. Subscribing and reading RSS feeds

There are a number of news aggregators or RSS readers allowing to subscribe to and read RSS feeds. While the in-browser feed readers are convenient they are still quite rudimentary.

We should consider switching to a full-fledged feed aggregator for more features and increased usability. There are many feed readers to choose from, each have different levels of complexity and features. There are essentially two types: web-based and application-based. With a web-based aggregator we can check our feeds from any computer but this comes at the cost of limited functionality and speed. With application-based feed readers we get excellent features and speed but lack mobility.

The best and most popular aggregator (online feed reader), in my opinion, is [Bloglines](#). Signing up for an account and clicking My Feeds on the top left we can test out Bloglines by adding a few feeds. If we found the feed on the website we can paste that in the subscribe page now. However, Bloglines has a feature where we can just type in the URL of the website and it will search for feeds: it may find several feeds and other times it will not find any. The figure bellow display a RSS feed in Bloglines aggregator's window:

The screenshot shows the Bloglines web interface. On the left is a sidebar with navigation links like 'Feeds', 'Blog', 'Clippings', and 'Playlists'. The main content area displays a feed for 'Extremetech' with 37,521 subscribers. The feed items include:

- Asus, Creative in Sound Card Spat**: A news item about a sound card with a signal-to-noise ratio of 112 to 116 dB, dated Mon, Mar 31 2008 9:25 AM.
- ATI Ships DisplayPort-Enabled Workstation Card**: A news item about a 3D workstation card with DisplayPort, dated Mon, Mar 31 2008 8:27 AM.
- Troubleshooting Motherboard Problems: 5 Real World Examples**: A link to a troubleshooting article.

Figure 1 RSS feed in Bloglines aggregator's window

## **VII. Conclusions**

There are a lot of good resources available and the challenge is actually seeing the information. RSS is still not a very familiar technology but it's already very obvious what role RSS will be playing in the future of the Internet. Because the web has become a sprawling network of different services, RSS is helping the web connect these services in an organized fashion - the new Web 2.0. In the coming few years, RSS will definitely be seen on every website and blog. Any service without RSS would lag behind.

RSS is a great supplemental communication method that does not burden the publisher with maintaining lists or following strict privacy guidelines. RSS feeds are compiled according to the user's choices, removing any burden that is placed on publishers of email newsletters.

Publishers no longer need to be concerned with spam, privacy policies, and age guidelines. Publishers using RSS as a communication vehicle are able to create keyword-rich, themed content, establishing trust, reputation, and ongoing communication with current and prospective customers.

Rarely in the last 10 years has there been a technology with so much potential to explode online exposure. A part of Web 2.0 has been the increasing popularity of RSS feeds and aggregation-syndication that changes the way content is distributed, valued and consumed.

## **References**

- [1]. RSS Specifications, <http://www.rss-specifications.com/>
- [2]. <http://dictionary.reference.com/wordoftheday/wotds.rss>
- [3]. [http://www.rssguide4u.com/Web\\_2.0.html](http://www.rssguide4u.com/Web_2.0.html)
- [4]. <http://www.syndic8.com/documents.php?Section=HowTo>

---

\* Luminita Giurgiu, Associate professor, PhD, "Nicolae Balcescu" Land Forces Academy, Sibiu, Revolutiei Street, 3-5 No., tel. 0269432990, e-mail: lumigee@armyacademy.ro

\*\* Ghita Barsan, Professor, PhD, "Nicolae Balcescu" Land Forces Academy, Sibiu, Revolutiei Street, 3-5 No., tel. 0269432990, e-mail: gbarsan@armyacademy.ro



## **INFORMATION TECHNOLOGY AS A TOOL FOR MODERN EDUCATION**

Miroslav HRUBÝ\*

*Abstract: The main goal of the paper is to introduce some methods and tools which are based on IT and, from the author's point of view, could shift educational process to higher level. They use modern approaches to the educational process and are suitable for both military and civilian university environment. The concrete praxis at the various faculties can differ but experience exchange among various workplaces is very useful. The discussion about this topic can bring valuable ideas for the work of all teachers who are responsible for teaching not only informatics, but many other subjects. The lifelong learning of military professionals also calls for some new concepts and modification of the used approaches. The text of the paper reflects the possibility of the educational process modernization not only at the University of Defence in Brno, the Czech Republic. The author deals with selected methods and tools which he has met in the European Net-Trainers course.*

### **I. Introduction**

In accordance with University Law of the Czech Republic, the University of Defence (UoD) in Brno [1], Czech Republic is a state university. It was established on September 1<sup>st</sup>, 2004 and included three former Czech military colleges – Military Academy in Brno, Military University of the Ground Forces in Vyskov and Jan Evangelista Purkyně Military Medical Academy in Hradec Kralove. Nowadays the UoD is the only military university in the Czech Republic and it consists of three faculties. These are: Faculty of Economics and Management, Faculty of Military Technology and Faculty of Military Health Sciences. The author of the paper works at the Faculty of Military Technology (FMT), Department of Communication and Information Systems (CIS).

The main goal of the UoD is the dissemination of learning, development of reasoning and independent scientific research in the areas vital for the security of the Czech Republic and accomplishment of its commitments to the NATO Allies. The spheres of activities at the UoD are aimed at education and training of military professionals for the needs of the Czech Armed Forces (CAF) and scientific activities in favour of the Ministry of Defence (MoD).

Educational and training processes at the UoD are primarily focused on military problems. Students are trained to be independent, creative, persevering, devoted, and well-disciplined.

The humanitarian subjects are taught with respect to their military applications. Nevertheless, the graduate study programmes are versatile and offer broad lifelong use in military professional as well as civilian life.

The UoD provides education in accredited study programmes and in branches which are structured to ensure academic education in accordance with the needs of the CAF requirements as well as civilian institutions, research and industry. The university offers accredited education in bachelor, master programmes, and doctoral studies. It should be emphasized that, compared to civilian schools, military education at the UoD has a few important differences. First of all, the UoD is relatively small. The number of its graduates in every specialization is lower than their number at civilian schools. This situation is caused by “customers’ demands” – i. e. by the MoD which sticks to the CAF figures planned. Bearing in mind future graduates’ positions, the subjects are partially tailored for the future commitment.

The Department of Communication and Information Systems (CIS) was established at the Faculty of Military Technology on September 1st, 2005 and has included two former departments – “Department of Special Communication Systems” and “Automated Command Systems and Informatics Department”. The Department of CIS is divided into five groups of specialists. These groups are oriented on “radiocommunication systems”, “telecommunication systems”, “information systems and programming”, “computer networks and operation systems ” and “security of information”. Department experts are members of NATO working groups in the field of information systems, distance education and computer modelling. The Department of CIS is also involved in the educational project – Cisco Networking Academy (CNA) – for network specialists. Establishing a Cisco regional training centre at the UoD, Department of CIS has enabled to furnish department laboratories with needful technical equipment. The project facilitates data communication topics to be incorporated into regular education. This education has a practical orientation and, therefore, it enhances theoretical knowledge.

The CIS Department takes care of the continuous development in communication technology (CT) and information technology (IT) for all students with regard to the requests of Network Enabled Capability (NEC) which includes an integrated network interface and security of troops on a battlefield.

Graduates of CIS Department are posted both in the field of CIS administration of the MoD and permanent networks on the country’s territory as well as in foreign missions. It is of vital importance to prepare them so that they are able to tackle challenging situations independently and improvise if necessary.

## **II. Selected educational methods and tools**

This chapter is divided into seven parts. The author wants to described some interesting aspects of the European Net-Trainers course [4]. The Net-Trainers project has been carried out with the support of the European Commission. It is a concrete output of Leonardo program. Nowadays the Net-Trainers course is running in 9 European countries + the Czech Republic. The pilot Czech version of the Net-Trainers course was finished in November 2006. The technology of the course is proved competent in Europe and the next propagation in Europe and in other countries is pre-supposed. The conception of a new language version of

the course is possible, too. Selected methods and tools mentioned later, could help to modernize contemporary teaching and learning processes at the military university environment.

### **2.1 The individual study agreement**

The author of this contribution met the individual study agreement in the Net-Trainers course and found it to be a very good tool for the motivation support. This tool can especially be used in lifelong learning processes. There is a necessity to pay a good deal of attention to the appropriate content of the individual study agreement between every individual student and his/her teacher (tutor). The individual study agreement should be formulated with respect to the special profile of the student and based on the information gained from the questionnaire survey before starting of the teaching and learning processes. This document should set the rights and duties of all education participants. The strong stress should be put on communication rules. When the education is provided in the distance form the introductory face to face session is the best opportunity for the creation of the individual study agreement. It is possible to say that in the Net-Trainers course the individual study agreement helped many participants to pass the course successfully. The full utilization of this tool potential depends on the social skills of the tutor.

### **2.2 Working group creation and usage**

Nowadays meeting the demands of military profession depends on close cooperation of individuals, on their capabilities to work together, and their ability to create useful working groups. The Net-Trainers course participants were also divided into working groups. There were five working groups per 7 people created since the beginning of the course. The most of participants were from the university environment but some members from the state administration and economic sector were also included. The age distribution was from the age of 24 to the age of 65. There were various kinds of university degrees from professors to Ph.D. students of the Czech universities.

The Net-Trainers course used the concept of the large diversity of personalities in each working group. This methodology was evaluated by the course participants as the best and it can be very inspiring especially for the area of lifelong learning. The working groups of participants of various gender, age, qualifications, skills, and interests were very innovative during tasks solution and this groups structure brought the best results.

It is obvious that team-work skills should be developed, it has to be an important goal of education. Besides fixed working groups there can also exist temporary working groups according to the needs of study activities. Temporary working groups can be limited by time or by concrete tasks fulfilment.

### **2.3 On-line study materials**

The technology base of the Net-Trainers course was the Learning Management System (LMS) 'AllWebSolution'. Every course participant had online study materials continually at his/her disposition. Study materials were in the Czech language but the course participants could also use alternative study materials in all other languages of

the course. The course consisted of five modules and there was given an opportunity for limited number of the Czech participants to study the third module in other course language in a foreign study group.

From the author's point of view the Net-Trainers course study materials prepared in a few alternative languages can serve as a pattern for the other education materials production. In this case a student can learn the content and a foreign language together. This solution has an importance for the Europe integration and the student can compare various national approaches to the same topic.

The Net-Trainers course showed convincingly that online study materials should be brief, apposite, links to other sources have to be included. Other sources of information should be divided in compulsory and optional (recommended sources). The very important fact is that online study materials can be updated easily, colours and multimedia can help their understanding.

#### **2.4 Study activities planning and fulfilment**

Every Net-Trainers course participant had his/her own study plan for each module of the course. Every study activity had its date of fulfilment, its deadline. The beginning and the end of the module was set by the tutor but timeline of study activities of every student depended on his/her real self-evaluation, his/her contemporary level of knowledge, time possibilities and study activities demandingness. Students were forced to overcome difficulties in team work planning and team work outputs production.

This concept of study activities planning seems to be the useful tool for the adult education. It is possible to expect the higher implementation of online studies in the future. Especially group study activities fulfilment can form special and social competencies and skills of students in formal and also in informal manner. It was shown that individual and team study activities should be implemented in every education smartly.

#### **2.5 On-line study tutoring**

One of the qualities of the Net-Trainers course was the high level of its tutoring. This was very well done by the tutor from the University of West Bohemia in Pilsen. The course participant had seven months for the appreciation of this fact and during this rather long time period they could get a general idea of the demandingness of the good tutor work. Time demands, special and social skills requirements cannot be met by everyone. The tutor can be a decisive factor of motivation, he/she has to be capable to solve possible study problems of students sensitively and he/she has a dominant role in ensuring fruitfulness of online education.

#### **2.6 Tools for communication support during studies**

There were implemented three hierarchical levels of the asynchronous communication in the Net-Trainers course. They were: the international discussion forum, the national Czech discussion forum and the special Czech discussion forum for every Czech

working group. The course participants could also use a synchronous communication tool. The LMS 'AllWebSolution' provided the chat. All communication among the course participant was controlled by the means of server located in Greece.

Three levels of asynchronous communication seems to be an optimal solution for multinational online education. It would be useful to implement: international discussion forum for common topics discussion in English or other suitable world language, national forums for communication in national languages of every participating state and working groups discussion forums for every national working group in national language. Chat at international level can sometimes bring some problems because of various students' different language competencies. It needs some experience to use chat in foreign language and write briefly and clear under time pressure.

E-mail communication need not be implemented in LMS, every student can use e-mail by his/her option. E-mail communication is the optimal tool for sending the results of study activities to tutor and e-mail communication is fully acceptable for all contemporary students.

A very important communication channel is a voice communication. Students can use phone, mobile phone or computer network. It is possible to recommend the use of the Skype software, it is free of charge. In the case of the appropriate equipment ownership, videoconference can also be a suitable solution.

## **2.7 The portfolio as a study activities fulfilment review**

Every module of the Net-Trainers course required a student's portfolio creation at its end. After the last study activity of the concrete module every student had to create a review of his/her work. Portfolio contains the results of all study activities of the student. Some of them were individual activities, some of them were group activities. Student had to select his/her own part of outputs of the group activity and to add it to his/her portfolio. The final file was sent to tutor.

In the university environment the portfolio can be used as a useful tool. It can serve in the process of assessment of student's work and especially in the case of great number of students it can help the teachers in their decision process about credits and exams evaluation.

## **III. Conclusion**

The Net-Trainers course belongs to a very good European educational technology. The text of the paper describes seven of the most interesting methods and tools of the course. From the author's point of view they can be very usefully implemented at the military university environment.

## References

- [1] Web pages of the University of Defence in Brno. [online]. [cit. 2. 4. 2008]. URL: <http://www.unob.cz/en/>.
- [2] HRUBÝ, Miroslav, COUFALÍKOVÁ, Aneta, SMEJKALOVÁ MAZÁLKOVÁ, Markéta. European On-line Courses - a Step to Closer Co-operation in Education. In *Proceedings 7th International Conference Virtual University VU'06*. Bratislava : E-Academia Slovaca, 2006. p. 109-111. ISBN 80-227-2542-0.
- [3] VEJVODOVÁ, Jana. Developing European Online Courses. In *Online Educa Berlin 2007. 13th International Conference on Technology Supported Learning & Training*. Berlin : ICWE, 2007. s. 214-217. ISBN 3-9810562-7-2.
- [4] Web pages of European Net-Trainers Association (ENTA) about the Net-Trainers course. [online]. [cit. 2. 4. 2008]. URL: <http://www.nettrainers.org/en/index.asp?p=1-1>.
- [5] Web pages of Lifelong learning Institution in Pilsen about Net-Trainers course. [online]. [cit. 2. 4. 2008]. URL: <http://www.ucv.zcu.cz/kurz.php?num=130&kurz=1>.

---

\* Ing. Miroslav Hrubý, CSc., University of Defence, Faculty of Military Technology, Department of Communication and Information Systems (K-209), Kounicova 65, 61200 Brno, the Czech Republic, tel. 00420 973 443 646, e-mail: [miroslav.hruby@unob.cz](mailto:miroslav.hruby@unob.cz)

## TEHNICI DE IMPLEMENTARE A FEED-BACKULUI IN PROIECTAREA SOFT-URILOR EDUCATIONALE

Ioan MAXIM\*

Ioan Tiberiu SOCACIU-LENDVAI\*\*

**Abstract:** *This paper presents techniques of feed-back implementation in educational soft design, adequate to student's age particularities and psychological nature. The application of those techniques is explained by case studies which point up the lesson's successive moments, depending on the lesson's type and scientific nature.*

**Key words:** *educational soft, feed-back, didactic project, computer assisted learning.*  
**2000 MSC:** *97U50 - Computer assisted instruction and programmed instruction*

Tehnologiile comunicaționale contemporane și în primul rând cele computerizate, constituie prima și cea mai eficientă soluție de fluidizare a decalajelor din sistemul educațional. Ca orice soluție tehnică, aceasta rezolvă multe probleme și creează altele. Trecând peste dificultățile de a concretiza o terminologie în limba română, unele concepte s-au cristalizat în ultimele decenii, în mediul nostru cultural. Dificultăți ar putea fi motivate de faptul că nici în occidentul european nu se constată o așezare conceptuală și o reglementare terminologică a domeniului învățării asistate de calculator. Nu numai în țări, tradițional centraliste, cum e Franța, dar chiar în Anglia, Germania, sau Italia, reglementarea conceptuală în acest domeniu, este în actualitate de nu mai puțin de douăzeci de ani[2].

Ne situăm, prin urmare, încă în etapa cristalizării unor termeni și definiții autohtone. Acesta este și motivul pentru care am să fac uneori, în cele ce urmează mai degrabă o prezentare a unor particularități și concepte, decât un comentariu al lor. Nu toate au intrat încă în conștiința culturală didactică românească păstrându-și încărcătura de semnificații pe care o aveau în mediul didactic originar, ca să nu mai vorbim că ele vin în contact cu un domeniu, cel al tehnologiilor informatice, în care profesionalizarea și rigoarea terminologică și teoretică este mult mai ridicată, mai puțin afectată de temperamentul vag-eseistic din domeniul științelor educației.

Un prim demers în direcția standardizării proiectării oricărei categorii de soft educațional este legat de precizarea cadrului organizatoric și competențial al echipelor de proiectare. Pornind de la coordonatele pedagogice și tehnice definitorii ale soft-urilor educaționale, o echipă de proiectare trebuie să cuprindă specialiști în domeniile ca: psihologie, pedagogie, specialitatea țintă, didactica specialității, estetică și design, procesare imagine și sunet, analiză de sistem și proiectare software[7].

Asigurarea componenței și competențelor echipei de proiectare logică este condiția necesară a realizării unui soft educațional de calitate.



Componenta interactivă a programelor de învățare constituie un element important, de calitate, definitoriu pentru un produs informatic destinat instruirii și singura modalitate de realizare a feed-backului. Implementarea interactivității prin adoptarea elementelor de interfață ale sistemului de operare Windows, este importantă prin faptul că reduce perioada de adaptare și instruire a elevilor pentru utilizarea programelor de învățare [9].

Se impune în acest sens, o standardizare a componentelor de interacțiune elev-soft, standardizare care să vină în întâmpinarea dezideratului enunțat anterior; cel de accentuare a interactivității.

Plecând de la premisa că cea mai eficientă abordare a unei activități se bazează pe abilitățile dobândite într-o activitate desfășurată anterior cu succes, și mai ales îndelung și frecvent exersată, este normal, ca un element de confort acțional, elevului să i se propună să utilizeze în programele de învățare, elemente de interfață cu care el este obișnuit.

Particularizarea stilurilor de interacțiune utilizate în interfețele grafice ale programelor de învățare se bazează pe o paradigmă a comunicării; metafora, care permite descrierea unui obiect, fenomen sau proces în termenii altuia, prin scoaterea în evidență simultan, atât a asemănarilor cât și a deosebirilor acestora. În acest context, se impune a se face o distincție între metafora sugestivă, care asociază conținuturi reale, palpabile și metafora revelatorie, atât de necesară și de importantă în procesul de descoperire și cunoaștere a realității înconjurătoare[8].

Metafora a fost utilizată în terminologie, atunci când interfața sistemului de operare cu utilizatorul se situa la nivel de linie de comandă, încercându-se a se sugera prin aceasta moduri de organizare a informațiilor (structura arborescentă, rădăcină, fișier) și acțiuni (delete, format, copy etc).

Contextul organizațional sugerat de sistemele de operare se bazează pe o tradiție a organizării activității curente și determină, prin modelare, un nou mod de gândire și de acțiune; o cultură organizațională și acțională[9], recomandabil prin eficiență și operativitate

în proiectarea programelor de învățare.

Un soft educațional, ca produs informatic, trebuie să se alinieze din punct de vedere conceptual particularităților populației țintă, să corespundă cerințelor și așteptărilor, potențialului emoțional al acesteia. Din acest motiv, utilizarea mediilor de dezvoltare cunoscute, devenite standarde de interacțiune, permite utilizatorului familiarizarea rapidă cu noul produs și exploatarea imediată a facilităților oferite de acesta.

Scenariul didactic care implementează strategia didactică a unei lecții,



Fig. 1. Ecran soft

presupune realizarea interacțiunii individualizate elev-soft educațional, în fiecare moment al lecției. Gama de implementare a interacțiunii este condiționată de situația de învățare întâlnită, de obiectivul operațional vizat, de competența ce urmează a fi formată. În Fig. 1 este prezentată imaginea ecranului propus de un soft de învățare pentru o lecție de Limba engleză,

la clasa a IV-a. Aceleași elemente grafice de interfață pot fi folosite în diferite momente ale lecției, în funcție de obiectivul urmărit.



Fig. 2. Rabbit

Astfel, elementul grafic din Fig. 2 poate fi folosit la momentul comunicării noilor cunoștințe, când elevul este pus în situația de învățare în care i se sugerează să apropie pointer-ul mouse-ului de imagine. Pointer-ul se transformă din forma „normal” în forma „link”, iar sub pointer-ul mouse-ului se deschide o fereastră de afișare în care apare cuvântul „Rabbit”. Noua formă a pointer-ului mouse-ului sugerează elevului să dea click pe imagine și acesta aude în difuzor pronunția cuvântului. Obiectivul operațional vizat este cel al învățării pronunției și a transcrierii fonetice a cuvântului. Se cuvine a

fi remarcat faptul că în momentul în care pointer-ul mouse-ului se transformă în forma „link”, nu mai este necesar ca elevului să i se precizeze sarcina de a da click pe imagine, aceasta este sugerată de forma pointer-ului și indusă de obișnuință.

Același element grafic poate fi folosit în momentul verificării gradului de asimilare a noilor cunoștințe (fig. 3), când elevul este pus în situația de învățare în care i se sugerează să dea click pe imagine. Acesta aude în difuzor pronunția cuvântului „Rabbit” și sub imagine se deschide o fereastră de dialog în care i se cere să introducă transcrierea fonetică a cuvântului respectiv. Obiectivul operațional vizat este cel al realizării feed-back-ului.

Combinarea elementelor de grafică și sunet pot facilita învățarea în situații specifice atingerii unor obiective cum ar fi formarea abilităților de parcurgere a unui text într-o limbă străină sau chiar în limba română, de pronunție sau retroversiune. Astfel, sincronizarea redării înregistrării sonore a unui text cu parcurgerea acestuia în maniera „karaoke” conduce la formarea deprinderilor de citire, pronunție sau traducere a unui text.

Datorită faptului că elevii din clasele a III-a până la a VI-a, pot întâmpina dificultăți la citire, această tehnică este recomandată în proiectarea programelor de învățare pentru discipline din planul de învățământ, la care prezentarea conținutului științific se face în mare parte sub formă de text și în special la care apar numeroși termeni noi necunoscuți elevului, dificil de pronunțat[6].

Tehnic privind, critica cea mai vehementă se îndreaptă asupra calității de interactivitate a programelor de învățare. Interactivitatea vizează în mod direct calitatea feed-back-ului secvențial, ameliorativ, asigurarea retenției, asigurarea transferului, concretizarea particularităților populației țintă, realizarea evaluării continue, formative și a evaluării sumative.

Soft-urile interactive de comunicare de noi cunoștințe oferă o gamă largă de tehnici și procedee didactice de realizare a feed-back-ului secvențial, pornind de la utilizarea unor elemente de legătură (link) sau declanșare, marcate ca text personalizat, astfel încât, un „dublu click” cu mouse-ul pe aceste cuvinte să producă deschiderea unei ferestre de dialog și continuând cu elementele de interogare care implementează instrumentele de evaluare alternative. Utilizarea acestora se face într-un scop bine conturat, precis; cel al ameliorării calității procesului instructiv. Evaluarea formativă joacă aici cel mai concret rol de mijloc de învățare, recurgând la o serie de alte mijloace didactice care urmăresc întărirea retenției, consolidarea cunoștințelor și asigurarea transferului.

De o deosebită importanță este modalitatea de reprezentare a itemilor de evaluare utilizați în realizarea feed-back-ului sau în constituirea testelor docimologice pentru evaluarea formativă. Aceștia trebuie realizați utilizându-se elementele grafice de interfață ale sistemului

Windows, familiare elevului. În cele ce urmează vom prezenta modalități de reprezentare a itemilor obiectivi și semiobiectivi[3]:



Fig. 4. Alegere duală

corect este de 50 %). Pot fi utilizați cu succes în verificarea cunoașterii unor definiții, proprietăți sau principii, identificarea unor relații de tip cauză-efect, utilizarea unui criteriu de clasificare, identificarea opiniei unei surse autorizate, capacitatea de a diferenția enunțurile factuale de enunțurile de opinie.

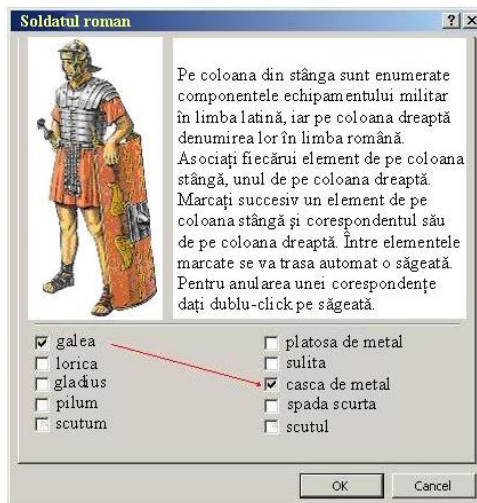


Fig. 5. Pereche

măsurarea rezultatelor învățării prin asociere, testarea unor situații urmărind simple asocieri de elemente: autori-opere, oameni-fapte, date-evenimente, simboluri-concepte, cauză-efect, reguli-exemple, termeni-definiții, etc.

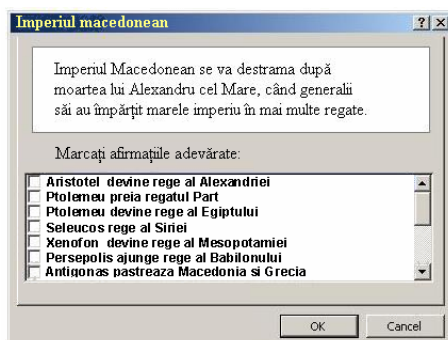


Fig. 6. Alegere multiplă

- *itemi cu alegere duală* (fig. 4), care solicită asocierea unuia sau mai multor enunțuri cu o singură alternativă duală (da-nu, adevărat-fals, corect-incorect). Pot fi avute în vedere următoarele avantaje: se construiesc ușor, sunt ușor de cuantificat, permite formularea unui model complet al răspunsului corect, permite abordarea, într-un interval scurt de timp, a unui volum mare de rezultate ale învățării situate la nivelul cunoașterii și înțelegerii.

Dezavantaje rezultă din faptul că abordează rezultate ale învățării de complexitate redusă, nu poate fi utilizat în situații complexe, în care există mai multe răspunsuri corecte și are vulnerabilitate mare la răspunsuri date la întâmplare (șansa de ghici răspunsul

- *itemi de tip pereche* (fig. 5), solicită stabilirea unei corespondențe între elementele a două mulțimi, distribuite pe două coloane. Elementele celor două mulțimi pot fi: cuvinte, propoziții, numere, formule, elemente grafice, simboluri, etc. Elementele primei mulțimi constituie premisele, iar elementele celei de-a doua mulțimi reprezintă opțiunile (răspunsurile).

Acest tip de item prezintă avantajul unei construcții facile și a abordării într-un interval scurt de timp, a unui volum mare de rezultate ale învățării, dar este dezavantajos prin faptul că abordează puțin nivelurile superioare ale domeniului cognitiv. În același timp, trebuie remarcată dificultatea alcătuirii listelor omogene de premise și opțiuni și pericolul creării unor itemi de calitate slabă, nesemnificativi pentru obiectivul testului. Situații de utilizare:

- *itemi cu alegere multiplă* (fig. 6), care solicită alegerea, pentru o premisă dată, a unui răspuns corect dintr-o listă de opțiuni. Pot fi avute în vedere următoarele avantaje ca: varietatea rezultatelor de învățare abordabile, asigurarea omogenității probei, un bun control asupra rezultatului învățării; dar și unele dezavantaje: nu este eficient pentru evaluarea unor comportamente de tip rezolvare de probleme, permite determinarea răspunsului prin ghicire sau excludere, nu poate măsura comportamentul elevului confruntat cu o situație reală, nu poate măsura modul în care

elevul își organizează ideile pentru a și le exprima coerent, este destul de dificil de elaborat un număr suficient de mare de distractori (răspunsuri aparent corecte) plauzibili.

Situații în care pot fi utilizați permit măsurarea rezultatelor învățării, a cunoștințelor asimilate, cum ar fi: verificarea cunoașterii terminologiei, a unor principii, cunoașterea unor metode, proceduri, cunoașterea elementelor specifice (cine, ce, cum, când?); dar și măsurarea rezultatelor învățării ca reflectare a nivelului comprehensiv și aplicativ: capacitatea de a identifica aplicații ale unor rezultate teoretice, capacitatea de a interpreta relația cauză-efect, capacitatea de a argumenta metode și proceduri.



Fig. 7. Răspuns scurt

- *itemi cu răspuns scurt (de completare)* (fig. 7), care solicită elaborarea unui răspuns în scris, prin actualizarea integrală a rezultatului de învățare urmărit de profesor. Pot fi avute în vedere următoarele avantaje: se construiesc ușor, sunt ușor de cuantificat, premisa poate utiliza diferite forme de comunicare (text, scheme, diagrame, desene, grafice), se poate elabora un model complet al răspunsului corect, permite abordarea, într-un interval scurt de timp, a unui număr mare de obiective. Ca dezavantaje remarcăm: capacitate redusă de abordare a unor nivele superioare ale domeniului cognitiv, formularea răspunsului corect poate fi afectată de capacități și cunoștințe care nu sunt direct implicate în obiectivele evaluate (capacitatea de exprimare în scris - ortografie, capacitatea de utilizare a unor simboluri), furnizarea

de răspunsuri cu grade diferite de corectitudine.

Principalele situații de utilizare sunt: cunoașterea terminologiei, a unor fapte specifice, a unor principii, a unor metode sau proceduri, interpretarea unor date, aplicarea unor cunoștințe, capacitatea de a opera cu simboluri, formule și convenții standardizate[5].

- *întrebările structurate*, sunt un set de întrebări care se succed logic și se leagă între ele și care solicită elaborarea unui răspuns în legătură cu un conținut științific prezentat. Pot fi avute în vedere următoarele avantaje: testează cunoștințe, priceperi, capacități la nivele superioare ale domeniului cognitiv, permit utilizarea unor materiale auxiliare, transformă un item subiectiv, de tip eseu, într-o suită de itemi obiectivi sau semiobiectivi sau minieseri, mai ușor de notat. Ca dezavantaje: materialele auxiliare sunt dificil și laborios de proiectat, există riscul condiționării unei întrebări de răspunsul celei sau celor anterioare. Situații de utilizare recomandate: verificarea cunoașterii unor definiții, proprietăți, principii, evaluarea capacității de a observa fenomene, a utiliza cunoștințe, a efectua experimente, a manevra informații; evaluarea capacității de a raționa și a relaționa elemente[4].

Exemplu.

*Obiectiv.* Măsurarea capacității de a opera cu variabile de tip întreg.

*Enunț.* Citește cu atenție întrebările care urmează. Nu te grăbi cu răspunsurile! Folosește tabele de verificare pentru analiza secvențelor de program. Fi atent la inițializarea variabilelor!

*Premisă.*

1. Care sunt tipurile de date întregi folosite în limbajul Pascal?
2. Precizați numărul de octeți de memorie ocupat și determinați intervalele de valori pentru fiecare tip de date întreg.
3. Cum se reprezintă în memorie date de tip întreg?
4. Cum se determină câtul și restul împărțirii întregi a două numere naturale?



5. Ce va afișa secvența de program, pentru n număr natural?

```
while n<>0 do
  begin
    write(n mod 2);
    n:=n div 2;
  end;
```

6. Ce determină secvența de program, pentru a și b două numere naturale nenule?

```
while a<>b do
  begin
    if a>b then
      a:=a-b
    else
      b:=b-a;
  end;
```

Itemii formulații mai sus trebuie puși într-o formă grafică adecvată, în concordanță cu cele prezentate anterior. Pot fi imaginate modalități de reprezentare și pentru alte categorii de itemi, semiobiectivi și subiectivi, dar aceasta depășește cadrul prezentării noastre.

„Scenaristica didactică” - stabilirea strategiei didactice în proiectarea soft-urilor educaționale, este mai puțin artă - un meșteșug care se poate învăța; este un gen aflat la granița dintre didactică și artele vizuale.

Scenariul didactic poate deveni artă dacă valorifică ansamblul conținutului științific alături de alte mijloace de expresie didactică cum ar fi fotografia, filmul (*cadrul, lumina, culoarea, unghiul de filmare*), sunetul (*dialogurile, zgomotele, muzica*)[1].

Cele enunțate anterior nu reprezintă o pledoarie pro standardizare, dar scoate în evidență o serie de facilități oferite de standardizare. Nu se militează pentru o standardizare strictă, ci se dorește susținerea unei nuanțe de uniformitate în diversitatea modurilor de abordare a interacțiunii elev – soft educațional.

## Bibliografie

- [1] V. Ciubotaru - *Ce este un scenariu*, [www.poezie.ro/index.php/article/](http://www.poezie.ro/index.php/article/)  
 [2] Giordan, A., *Apprendre*, Paris, Ed. Belin, 1998  
 [3] I. Maxim, *Înstruire asistată de calculator*, Suceava, Universitatea „Ștefan cel Mare”, Note de curs, 2007, <http://dppd.usv.ro/cursuri/cursuri.html>  
 [4] I. Maxim, C. Moroșanu, *Informatică – Didactica specialității*, Iași, Editura Universității „Al. I. Cuza”, 2007  
 [5] I. Maxim, S. Budușanu, V.V. Maxim, *Educație tehnologică*, Cluj-Napoca, Editura InfoData, 2007  
 [6] C. Masalagiu, I. Maxim, I. Asiminoae, *Metodica predării informaticii*, București, Editura MatrixRom, 2001  
 [7] Siebert, H., *Pedagogie constructivistă*, Iași, Institutul European, 2001,  
 [8] Sorel, M., *Pratiques nouvelles en éducation et en formation. L'éducabilité cognitive*, Paris, L'Harmattan, 1994  
 [9] Stanciu M., *Didactica postmodernă*, Editura Universității Suceava, 2003

\* Lector univ. dr. Departamentul pentru Pregătirea Personalului Didactic, Universitatea “Ștefan cel Mare” Suceava, Universității, 13, 720225, e-mail: [maximioan@yahoo.com](mailto:maximioan@yahoo.com)

\*\* Lector univ. drd. Facultatea de Științe Economice și Administrație Publică, Universitatea “Ștefan cel Mare”, Suceava, Universității, 13, 720225, e-mail: [socaciu@seap.usv.ro](mailto:socaciu@seap.usv.ro)

## EDUCATION BY E-LEARNING AT COMMUNICATION AND INFORMATION SYSTEMS DEPARTMENT

Marketa MAZALKOVA\*

### **Abstract:**

*The goal of this paper is to show possibilities of on-line course at Communication and Information Systems Department.*

*E-learning is a new and very popular form of education at universities. It is very suitable for modules, where are rapid progressions and we need to change studying materials very often. At the beginning, there is a big problem with knowledge from e-learning, tutoring and on-line education field. We need someone, who is able to create and tutor on-line course. It is not only about creation and tutor the course, it is necessary to find the right form of e-learning education.*

*How to get knowledge about e-learning as a support of education? I passed the European Net-Trainers [1] on-line course in 2006. This course gave me a lot of information about e-learning and how to prepare and tutor an e-learning course by the right form.*

*On-line course Moodlinka was the second experiences "how to prepare on-line course" and lots of aspects of education by this form of education. Moodlinka (Moodle-link) is LMS (Learning Management System) at Masaryk University in Brno and the tried to explained principles of using this LMS and its advantages. Moodle is the LMS which was installed for support the education at our department.*

*This paper deals with e-learning utilization for education supporting at communication and information systems department. It involves experiences and effects of pilot course Net-Trainers and few words about preparing course Optical Communication Systems and Support of Software for Communication Technologies. There are mentioned the differences between classic type of education and e-learning. It is concentrated on positives and negatives in e-learning utilization as a support of education and e-learning utilization at University of Defence. The knowledge about how to create and how to tutor on-line course went from Net-Trainers on-line course.*

## **Chapter I – Introduction to e-learning**

E-learning is very efficient usage of information technologies in education. The efficient of e-learning utilizations in educations is different for specific groups or individuals. It is very hard to say what is really efficient and what is not. The information technology utilization may become the most effective. The opposite side is very impossible in nowadays. The technology – like internet makes the education cheaper and faster. Whence it follows that globally education become better and better. The electronic education utilization is one of possibilities by whole-life education. And the whole-life education is one of the most important priorities for each of us.

New modules at Communication and Information Systems Department were solved in specific research project in last year [2].

The traditional way of education in classes are supporting by new forms of education, using new technologies. These new education's form can be made by teach-yourself type or by lector in virtual classroom.

The class work should be divided into formal and informal education. Students have to be presented on lessons (talk, laboratories, and exercises) by the formal – classical type. The informal education is for students, who are learning in the necessary time (study how to do the work and theoretical knowledge is necessary to do it in right way) [3].

It is convenient to use e-learning as a support of education in distant study. It is because there is lack of time and students have to study at home a lot. So, it is comfortable to use on-line course instead of classical type of education. The sources of study materials are university mimeographed in classical type of education.

There are advantages of e-learning : saving in transfer, accommodation and other travelling expenses, saving in classroom rentals, lectors, materials printing ...; saving time in transfer, organization of training, possibility of choice pudding time for education and another advantages associated with internet education; possibility of made-to-measure course; junction formal and autonomic access to training, multimedia utilization, collection enhancement; making groups of specialists of same sight, discussion in discussion forum; ...

## **Chapter II – Communication and Information Systems Department**

Communication and Information Systems Department is one of the departments of Faculty of Military Technology. It is focused on education in computers systems, networks, securities and communications. This department is interesting for all young people, because computers, mobile phones etc. became necessary for our lives.

There is very big progress in this field of research and education. Situations, new systems and new development are daily changing. This was the reason for preparing new modules as e-learning courses. It makes easily availability by these subjects. It is much more flexible than an old type of education.

## **Chapter III – Education by e-learning**

It was mentioned, that it will be prepared some modules as e-learning courses for its flexibility. The other point of view is an access to the students. Students want to study



by using modern methods of education. We live in 21st century, so we have to adapt modern methodology into education form. It will be much more attractive and with a lot of advantage (Time independent and individual study for each student; Student has a choice of learning speed; New experiences in collaborative study activity; Each one is evaluate by the same rules. There is a feedback between student and tutor; Author and tutor can remake contents of each modules for student's interesting).

I try to create e-learning support for all subjects, which I am teaching, because it is more comfortable for me (I can change studying materials together with progress). I teach Signals and Systems and Modern Communication Technologies. And I have a plan for the future of two new subjects - Optical communication systems and Support by software [4].

At the beginning I had to prepare myself for creating and teaching (become a tutor) by the new form of education (e-learning). I have passed two on-line courses for tutors and for e-learning course creator and I must admit, I will be totally lost without these courses. It helped me not only with creating, but I could try to be a student of on-line course [5], [6].

## Chapter IV – Signals and Systems

At the first I was worried I have to transfer all text books into digital form, but it is not necessary, I put references in the end of each modul and students can go to library for this book or they can view articles in internet. The best and the most easily way are finding guarantee digital library in our study area and it helps as with the making subject and we can insert links in the text which can helps us to include innovation in the education. We need good researching tools, which should help students with searching necessary information for study and work. This information is very useful to understand problems and can extends branch of business [7].

I use many figures in this subject, because it is very important for students to see not only equations, but it is very helpful to see signal process too.

The Fourier Transform is based on the discovery that it is possible to take any periodic fuction of time  $x(t)$  and resolve it into an equivalent infinite summation of sine waves and cosine waves with frequencies that start at 0 and increase in integer multiples of a base frequency  $f_0 = 1/T$ , where  $T$  is the period of  $x(t)$ .

In mathematics, the continuous Fourier transform is one of the specific forms of Fourier analysis. As such, it transforms one function into another, which is called the frequency domain representation of the original function (where the original function is often a function in the time-domain). In this specific case, both domains are continuous and unbounded. The term Fourier transform can refer to either the frequency domain representation of a function or to the process/formula that "transforms" one function into the other [8], [9].

In mathematics, the discrete Fourier transform (DFT) is one of the specific forms of Fourier analysis. As such, it transforms one function into another, which is called the frequency domain representation, or simply the DFT, of the original function (which is often a function in the time domain). But the DFT requires an input function that is discrete and whose non-zero values have a limited (finite) duration. Such inputs are often created by sampling a continuous function, like a person's voice. And unlike the discrete-time Fourier transform (DTFT), it only evaluates enough frequency components to reconstruct the finite segment that was analyzed. Its inverse transform cannot reproduce the entire time domain, unless the input happens to be periodic (forever). Therefore it is often said that the DFT is a transform for Fourier analysis of finite-domain discrete-time functions. The sinusoidal basis functions of the decomposition have the same properties

The continuous Fourier transform is defined as

$$f(v) = \mathcal{F}_t[f(t)](v) \tag{4.1}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-2\pi i vt} dt, \tag{4.2}$$

Now consider generalization to the case of a discrete function,  $f(x) \rightarrow f(k)$  by letting  $f_k = f(k)$ , where  $k = k\Delta$ , with  $k = 0, \dots, N-1$ . Writing this out gives the discrete Fourier transform  $F_n = \mathcal{F}_k[(f_k)_{k=0}^{N-1}](n)$  as

$$F_n = \sum_{k=0}^{N-1} f_k e^{-2\pi i kn/N}, \tag{4.3}$$

The inverse transform  $f_k = \mathcal{F}_n^{-1}[(F_n)_{n=0}^{N-1}](k)$  is then

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{2\pi i kn/N}, \tag{4.4}$$

Discrete Fourier transforms are extremely useful because they reveal periodicities in input data as well as the relative strengths of any periodic components. There are a few subtleties in the interpretation of discrete Fourier transforms, however. In general, the discrete Fourier transform of a real sequence of numbers will be a sequence of complex numbers of the same length. In particular, if  $f_k$  are real, then  $F_{N-n}$  and  $F_n$  are related by

$$F_{N-n} = \bar{F}_n, \tag{4.5}$$

for  $n = 0, 1, \dots, N-1$ , where  $\bar{z}$  denotes the complex conjugate. This means that the component  $F_0$  is always real for real data.

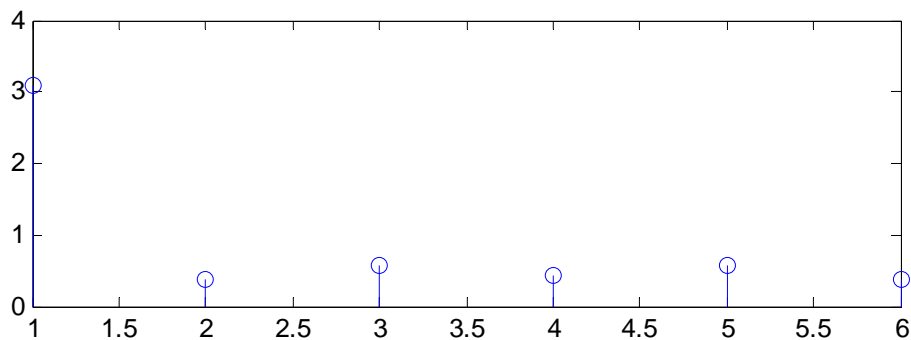
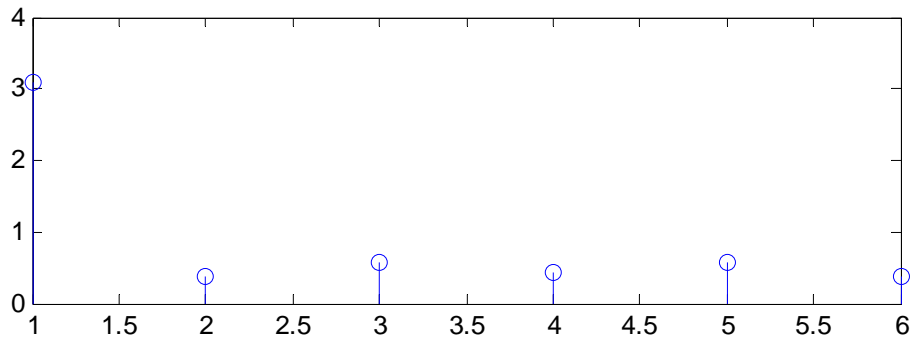


Fig. 1 : Discrete Fourier transforms using the function of Fast Fourier transform and matrix transform

This picture is only an example of using figures for demonstration of equation application. The software MATLAB was used for creating signal process of Discrete Fourier transform. I use this software for demonstrate time behaviours of the signals. For this reason I would like to prepare the module Software Support for teaching how helpful this software is.

## Chapter V – Conclusion

I have passed the on-line course Net-Trainers and it was my first meeting with on-line education. It seems to be very useful for our department. The Net-Trainers course can serve as a sample of modern educational method, shows European educational technology utilisation in the Czech environment. The project about e-learning module creation has started in special research. There has been an idea – creation e-learning courses. It has been because we have needed to create new modules from our department.

I would like to finish all materials which are necessary for completion e-learning courses and I would like to try it next year.

bibliography reference:

- [1] Hortňová, N., Váňová, A., a kol.: Pilotní kurzy, Masarykova univerzita; Brno, 2007
- [2] Kopecký, K.: Moderní trendy v elektronické komunikaci; Olomouc, 2007
- [3] Kopecký, K.: E-learning (nejen) pro pedagogii; Olomouc, 2007

## Reference

- [1] Net-trainers Course [online]. [cit. 2006-05-13]. URL: <http://www.nettrainers-training.org/en/extranet.asp?p=1-1>
- [2] Hrubý, M.: From the Communication and Information Technology Modules Specification to the Distance Learning. Simulation and Distance Learning Brno 2007, Univerzita Obrany.
- [3] Smejkalová Mazálková, M.: Education in Optical communication systems by e-learning. Virtual University Bratislava 2006.
- [4] Jechyle, T.; Vejvodová, J.: European Net-Trainers: A Translational Course Framework. Online Educa Berlin 2006.
- [5] Vejvodová, J.: Metodická příručka pro autory on-line kurzů. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2005.
- [6] Vejvodová, J.: Metodická příručka pro tutorii on-line kurzů. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 2005.
- [7] Smejkalová Mazálková, M.: The analysis and optimization of premises of laser inter-satellite communication system, WSEAS Transaction on Communications, 2007.
- [8] Wikipedia, [cit. 2008-03-30]. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier\\_transform](http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform)
- [9] [cit. 2008-03-30]. URL: <http://mathworld.wolfram.com/DiscreteFourierTransform.html>

---

\* Marketa Mazalkova, Ing, University of Defence, Communication and information systems department, [marketa.mazalkova@unob.cz](mailto:marketa.mazalkova@unob.cz)

## QUANTUM ENCRYPTION USING PRIVATE KEYS

Gabriela MOGOS\*

### **Abstract:**

*This work presents a procedure of safe communication between two parts using a quantum channel. The procedure is based on the phenomenon of the entanglement of the qubits of a private key, and, those of the message which is to be transmitted.*

Key words: Quantum computing, Quantum gates, Quantum cryptography.  
2000 MSC: 81-08.

### **I. Introduction**

This work presents a way of protection of the messages sent between two parts who communicate through a quantum channel, using the qubits of the private key for the "transportation" of the message. The private key is obtained with the help of the Bennett-Brassard protocol, and it is not "one time pad", it is used until compromised by a third person. The first part of the work will present the way of obtaining the private key using the protocol Bennett-Brassard, the second part will present "the mixture" of the state of the qubits belonging to the key with the ones of the message, and the last part will present the extraction of the message from the row of qubits arriving at the receiver.

### **II. Quantum encryption using private keys**

The safe transportation procedure of the messages has the following steps:

- Setting the connection between the two parts who communicate and exchange messages;
- Obtaining the private key by the procedure Bennett-Brassard;
- Entanglement of the states;
- Transportation, reception and extraction of the message.

#### **2.1 Obtaining the private key**

The method of obtaining the private key is based on the Bennett-Brassard protocol and it is presented as follows. The protocol uses four quantum states which form two bases, for example the states up  $|\uparrow\rangle$  and down  $|\downarrow\rangle$  - which form a base and the states left  $|\rightarrow\rangle$  and right  $|\leftarrow\rangle$  - another base. The bases are maximal conjugated, meaning that any pair of vectors, one

from each base, is in the same state of superposition. Conventionally, the binary value 0 corresponds to the states  $|\uparrow\rangle$  and  $|\leftarrow\rangle$  and the value 1 corresponds to the other two states, which are called qubits states.

1.	$\curvearrowright$	$\downarrow$	$\curvearrowleft$	$\leftrightarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$	$\leftrightarrow$	$\leftrightarrow$	$\curvearrowleft$	$\curvearrowright$	$\downarrow$	$\curvearrowleft$	$\curvearrowright$	$\downarrow$
2.	+	○	○	+	+	○	○	+	○	+	○	○	○	+
3.	$\downarrow$		$\curvearrowleft$		$\downarrow$	$\curvearrowright$	$\curvearrowright$	$\leftrightarrow$		$\downarrow$	$\curvearrowleft$	$\curvearrowleft$		$\curvearrowright$
4.	+		○		+	○	○	+		+	○	○		○
5.			✓		✓			✓				✓		✓
6.			$\curvearrowleft$		$\downarrow$			$\leftrightarrow$				$\curvearrowleft$		$\curvearrowright$
7.			1		1			0				1		0

Fig. 1 How to obtain the private key

First, Alice is sending Bob individual spins in states chosen randomly from the four states. The random choice will be made by Alice in accordance with her own wish. The individual spins can be sent all at once, or one after the other, the only restriction being that Alice and Bob should be capable to establish a one-to-one correspondence between the sending and the receiving of the spins. Then, Bob measures the spins received in one of the two bases, choosing it randomly. Thus, if they use the same base, they will obtain a perfect transmission, and if they use different bases, they will obtain uncorrelated results. Alice and Bob know which qubit is correlated (in one of the bases used by them) and which is not. The error correction scheme is: for every qubit Bob announces publicly in which base he will measure the corresponding qubit (but he will not communicate the result he gets). Then, Alice will say only if that base corresponds with the one she chose. If the state is compatible, they keep the qubit, if not, they will erase it. This way, approximately half of the bits will be lost. This means that Alice and Bob will share the same row of bits, called *raw key*. In the following steps, the two of them must extract the private key starting from the raw key.

Using the classic channel, Alice and Bob announce and compare their part of the raw key. Therefore, they can estimate an error rate  $R$  resulted from noises or from a possible intruder. If this rate is too big, they restart the protocol, if not, they execute a reconciliation of the information, of the bits left in their keys. This means the following: dividing the bits from their raw keys in subgroups of a length  $l$ . This length is chosen in such a way as to have more than an error on the whole length. On each subgroup, Alice and Bob will have a parity test (the parity  $P$  of a binary row  $\{b_1, b_2, \dots, b_l\}$  is defined as  $P = b_1 \oplus b_2 \oplus \dots \oplus b_l$ ), giving up the last bit every time. If the parity of the subgroups is different, then they will locate and erase the error bits through a binary search. They will divide the subgroup and they will have the parity test in the new groups obtained ( $P_1 = b_1 \oplus b_2 \oplus \dots \oplus b_{(l-1)/2}$ ) and ( $P_2 = b_{(l-1)/2+1} \oplus b_{(l-1)/2+2} \oplus \dots \oplus b_{(l-1)}$ ). They will repeat the division of the groups each time when they realize that the parity is different, and each time they will erase the last bit from the groups whose parity is announced publicly. This way, they will avoid a possible intruder (Eve), and in the end Alice and Bob will share the same row of bits.

## 2.2. Entanglement of the states

How to obtain the private key is the most important step of the procedure. The second step of the procedure is the entanglement of the qubits of the message with the ones of the key, and the transportation of the message to the receiver. In fact, the qubits of the private key will have a very important part in this process, because with their help the transportation of the qubits of the message will be realized from the sender (Alice) to the receiver (Bob). The second step is as follows: after obtaining the key, the sender (Alice) will divide the message in sub-messages whose dimensions are equal to that of the private key (number of qubits from the key = number of the qubits from the sub-message). When the number of the qubits of the last sub-message is lower than the one of the private key, the qubits of the key will be send to the receiver un-entangled.

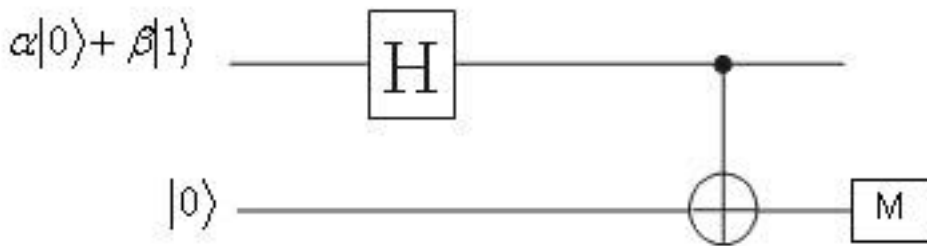


Fig.2. Entanglement of the states – the scheme

We will continue by studying the phenomenon of entanglement of the qubit states from a sub-message, represented by the generic state:  $|\Psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  with  $\alpha$  and  $\beta$  unknown and a qubit of the private key considered in the state  $|0\rangle$ . For the entanglement of the states we will use the circuit from figure 2. On the line above, the Hadamard gate will apply, and the state:

$$\begin{aligned}
 H : (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) &= 1/\sqrt{2}[\alpha(|0\rangle + |1\rangle) + \beta(|0\rangle - |1\rangle)] = 1/\sqrt{2}(\alpha|0\rangle + \alpha|1\rangle + \beta|0\rangle - \beta|1\rangle) = \\
 &= 1/\sqrt{2}[(\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle) + (\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle)]
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

will be obtained.

The next step is to apply the C-NOT gate, and the state of the qubit from the key will change as follows:

$$\begin{aligned}
 C - NOT : 1/\sqrt{2}[(\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle) + (\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle)]|0\rangle &= 1/\sqrt{2}(\alpha|00\rangle - \beta|11\rangle) + (\alpha|11\rangle + \beta|00\rangle) = \\
 &= 1/\sqrt{2}[\alpha(|00\rangle + |11\rangle) + \beta(|00\rangle - |11\rangle)]
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

If we consider that:

$$1/\sqrt{2}(|00\rangle + |11\rangle) = \gamma_{00}$$

$$1/\sqrt{2}(|00\rangle - |11\rangle) = \gamma_{10}$$

$$1/\sqrt{2}(|01\rangle + |10\rangle) = \gamma_{01}$$

$$1/\sqrt{2}(|01\rangle - |10\rangle) = \gamma_{11}$$

are Bell bases, we can write the relation (1.2) :

$$1/\sqrt{2}[\alpha(|00\rangle + |11\rangle) + \beta(|00\rangle - |11\rangle)] = \alpha\gamma_{00} + \beta\gamma_{10}$$

We can notice that the state of the qubit of the key can be measured using the Bell bases. For the qubits of the key left un-entangled, the measurement cannot be realized using the Bell bases.

### 2.3. Decrypting the message

Bob will receive the qubits and he will "read" them using the Bell bases. Knowing the private key, he will be able to extract the message with the help of the quantum gates used for the entanglement of the states (the quantum gates are reversible). If during the reading of the message Bob will notice the presence of the qubits which cannot be "read" using the Bell bases, he will think that Alice's message ended, and these qubits are in fact the ones left un-entangled of the private key. The communication is considered to be realized through an isolated quantum channel, and in the absence of an intruder (ideal conditions). When the communication is realized through a noisy channel, Bob will take into consideration the errors which can appear during the transmission (decoherence and redundancy).

### Bibliography

- [1] David P. DiVincenzo, *Quantum Gates and Circuits*, Proceedings of the Royal Society, London, 1997.
- [2] G. Johansson, *Quantum Algorithms-Lectures in Quantum Informatics*, applied Quantum Physics, MC2, Chalmers, S-412 96 Göteborg, Sweden, 2005.
- [3] Michael E. Nielsen, Isaac L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*, ISBN 0-521-63503-9, 2000.
- [4] Nikolas P. Papadakos, *Quantum Information Theory and Applications to Quantum Cryptography*, University of Athens, 2001.

---

\* Gabriela Mogos, "Alexandru Ioan Cuza" University, Computer Science Department, Iasi, Bd. Carol I no.11, Tel:0232-201091, gabi.mogos@gmail.com



## QUANTUM ORACLES

Gabriela MOGOS\*

### **Abstract:**

*The 20th century has taught us that the physical world is characterized by fundamental quantum processes. Computers are physical objects that have not evolved beyond their ability to explore classical physical phenomena (even when they do take into account certain quantum phenomena, these latter's quantum essence is not being explored). Research in quantum information technology consists of exploring quantum physics' potential, laws and limits in order to illustrate, analyze and communicate information. Attempted first in laboratories, quantum IT research has its origin in questions explored by scientists like Richard P. Feynman, Nobel Prize winner for physics in the early 80s. It was not until the second half of the 90s that several IT researchers, mostly involved in theoretical IT work (information theory, complexity, cryptography), reconsidered their research field deciding to approach the quantum information field. This paper proposes an overview of quantum oracles.*

Key words: Quantum bits, Quantum gates, Quantum algorithms.  
2000 MSC: 81-08.

### **I. Introduction**

Quantum algorithms are also called oracles. Oracles are instruments employed to answer questions by a simple 'yes' or 'no.' Oracles' architecture is very appropriate for quantum computers in as much as quantum systems are based on probabilities. Therefore, if one asks a question, the answer will take the shape of a wave function. This study will present four algorithms (oracles).

### **II. Quantum oracles**

**Deutsch's Oracle.** This oracle answers the following questions:

Let there be a function  $f : \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$ , which can be either *constant* or *balanced*. When the function is constant, then  $f(0) = f(1)$ . When the function is balanced, then  $f(0) \neq f(1)$ . In classic terms, we are looking at two different evaluations of the same function that would answer the question whether this is constant or balanced. In quantum processes,

the answer can be found with the help of a single evaluation which means that, from a quantum perspective, 0 and 1 can be grouped together simultaneously in one  $x$ .

**Deutsch-Josza's Oracle.** This oracle represents a generalization of the Deutsch algorithm, where the function is  $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$ . The question is identical to the previous one: is the  $f$  function *constant* or *balanced*? In this case, for the function to be balanced, its value must be 0 in half of the arguments, and 1 in the other half. Of course, in this case, the function cannot be either constant or balanced. Therefore, the oracle does not apply because it can only answer with 'yes' or 'no' which renders the answer meaningless.

**Bernstein -Vazirani's Oracle.** Let there be a function  $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$  where  $f(x) = a \cdot x$ , where  $a$  is a vector constant with 0 and 1, and  $\cdot$  is the scalar product. How many measurements are there necessary in order to find  $a$ ? Classically, we should apply the formula to all possible arguments and solve the linear equation system for  $a$ . From a quantum perspective,  $a$  can be found in one step.

**Simon's Oracle.** Assuming a function  $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ . The function is presumed to be 2-to-1, that is for any value of  $f$  there is always  $x_1$  and  $x_2$  such that  $f(x_1) = f(x_2)$ . The function is presumed to be periodic, meaning that for a binary vector  $s$  we have  $f(x \oplus s) = f(x)$ . The algorithm returns the period  $s$  in  $O(n)$  measurements.

### 2.1 Deutsch's Oracle

Using combinations of quantum gates, Deutsch obtained a quantum circuit which performs certain calculations of operations, the circuit being known as the Deutsch oracle. The circuit scheme is illustrated in Figure 1.

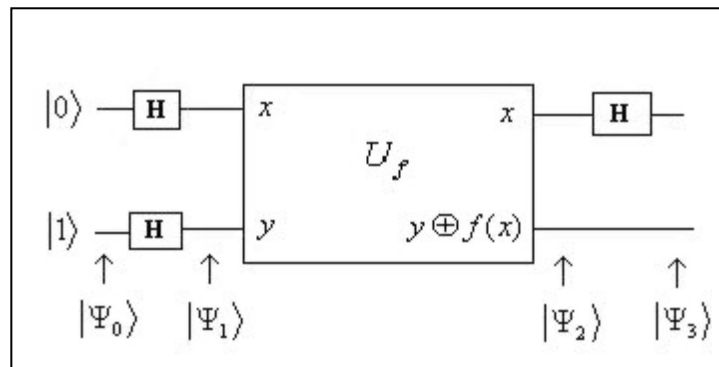


Figure 1: Deutsch's Oracle

The circuit input state is:

$$|\Psi_0\rangle = |0\rangle|1\rangle \tag{2.1}$$

$H$  marks the Hadamard gate and  $U_f$  is a control gate defined by the relation:

$$U_f |x\rangle|y\rangle = |x\rangle|y \oplus f(x)\rangle \tag{2.2}$$

where  $f : \{0,1\} \rightarrow \{0,1\}$  is either constant in which case  $f(0) = f(1)$  or balanced where  $f(0) = 1, f(1) = 0 \neq f(0)$ .

Next we will analyze the impact of the different gates of this circuit on the input state. The first Hadamard operator on the top entry affects the  $|0\rangle$  state and leads to:

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right] = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle) \quad (2.3)$$

which means:

$$|0\rangle \xrightarrow{H} \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle + |1\rangle) \quad (2.4)$$

It can be noted that the newly obtained state is a combination of  $|0\rangle$  and  $|1\rangle$ . Analogously, for input state  $|1\rangle$  we will get:

$$H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right] = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle) \quad (2.5)$$

which means:

$$|1\rangle \xrightarrow{H} \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle) \quad (2.6)$$

According to these results, the first pair of  $H$  gates (top entry and bottom left) change the initial input state  $|0\rangle|1\rangle$  to state:

$$\frac{1}{2} (|0\rangle + |1\rangle) \otimes (|0\rangle - |1\rangle)$$

Then we apply the controlled  $U_f$  gate to this state. We will follow the impact of the  $U_f$  gate on each of the terms in the equation above.

$$U_f |x\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = (-1)^{f(x)} |x\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) \quad (2.7)$$

Based on relation (2.2) we get:

$$U_f |x\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = |x\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) \oplus f(x) \quad (2.8)$$

If we use  $|x\rangle = |0\rangle$  and  $f(x) = 0$ , we get:

$$U_f |0\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = |0\rangle - |1\rangle = (-1)^0 (|0\rangle - |1\rangle) = (-1)^{f(x)} (|0\rangle - |1\rangle) \quad (2.9)$$

and if we use  $|x\rangle = |0\rangle$  and  $f(x) = 1$ , we get:

$$U_f |0\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = |1\rangle - |0\rangle = (-1)^1 (|0\rangle - |1\rangle) = (-1)^{f(x)} (|0\rangle - |1\rangle) \quad (2.10)$$

Based on relation (2.9) and (2.10), it follows that:

$$U_f |x\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = (-1)^{f(x)} |x\rangle \otimes (|0\rangle - |1\rangle)$$

which represents precisely relation (2.7).

The (2.7) formula is applied to the state expressed in the equation (2.8):

$$U_f \frac{1}{2} (|0\rangle + |1\rangle) \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = \frac{1}{2} [(-1)^{f(0)} |0\rangle + (-1)^{f(1)} |1\rangle] \otimes (|0\rangle - |1\rangle) \quad (2.11)$$

Consequently, the second Hadamard  $H$  gate on the top entry is applied only to the first vector in the right term of the relation (2.11), in other words to the term between square parentheses.

Thus, we get the final state:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}[(-1)^{f(0)} H|0\rangle + (-1)^{f(1)} H|1\rangle] \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = \frac{1}{2}[(-1)^{f(0)} \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) + \\ & + (-1)^{f(1)} \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)] \otimes (|0\rangle - |1\rangle) = \frac{1}{2}[((-1)^{f(0)} + (-1)^{f(1)})|0\rangle + \\ & + ((-1)^{f(0)} - (-1)^{f(1)})|1\rangle] \otimes \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Based on this equation, the following conclusions can be drawn:

1. If the  $f(x)$  function is *constant*, then we have:

$$(-1)^{f(0)} - (-1)^{f(1)} = 0$$

the term between square parentheses in equation (2.12) becomes:

$$\frac{1}{2}[(-1)^{f(0)} + (-1)^{f(1)}]|0\rangle = \pm|0\rangle \quad (2.13)$$

and (2.13) expresses the final state on the top entry in Figure 1.

2. If the  $f(x)$  function is *balanced*, then we have:

$$(-1)^{f(0)} + (-1)^{f(1)} = 0$$

and the final state on the top entry in Figure 1. is:

$$\frac{1}{2}[(-1)^{f(0)} + (-1)^{f(1)}]|1\rangle = \pm|1\rangle \quad (2.14)$$

In order to determine if the  $f(x)$  function is constant or balanced, we must measure the final state determined by the vector above the line. If the measurement result is  $|0\rangle$ , then the  $f(x)$  function is constant, and if the measurement result is  $|1\rangle$  then the  $f(x)$  function is balanced. Therefore, we obtain the result using a single calculation. It should be noted that the line below can suffer decoherence, which means it collapses into the  $|0\rangle$  or  $|1\rangle$  state and affect the parameters of the top entry.

Deutsch's oracle emphasizes two of the important characteristics of quantum computing: an entanglement of states (achieved through the Hadamard state) and the non-localization in quantum computing, as well as the quantum parallelism.

## 2.2. Deutsch-Josza's Oracle

Deutsch-Josza's oracle generalizes Deutsch's oracle, the top entry  $x$  being a register of  $n$  qubits.

The  $H^{\otimes n}$  operation represents the Hadamard gate's effect on each of the  $n$  qubits. The  $U_f$  operator is a unitary transformation of the  $n+1$  qubits:

$$|x\rangle|y\rangle \rightarrow |x\rangle|y \oplus f(x)\rangle \quad (2.15)$$

where  $f(x)$  is the evaluated function of a single qubit. Taking into account the fact that there are  $n$ -qubits entry data, the global problem is if the  $f(x)$  function is constant or balanced.

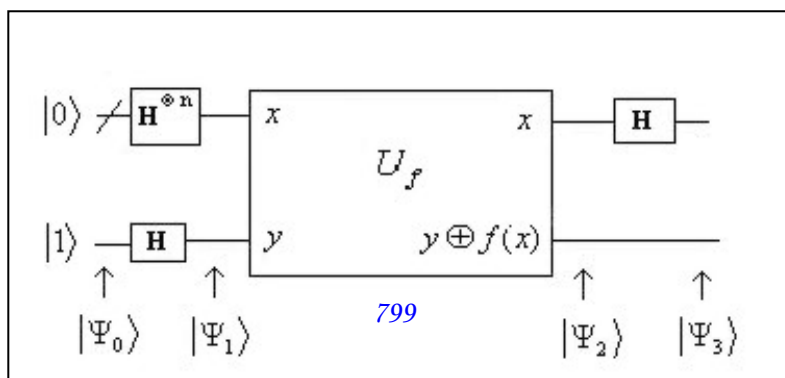


Figure 2. Deutsch-Josza's Oracle

If the function were balanced, then all the outputs would be zero for exactly half of the input values. Classically, this would represent an evaluation of the  $f(x)$  function for more than half of the input values in order to determine with certainty when the function is balanced and when it is constant.

The input state is:

$$|\Psi_0\rangle = |0\rangle^{\otimes n} |1\rangle \quad (2.16)$$

which, after applying the  $n + 1$  parallel Hadamard gates, have become :

$$|\Psi_1\rangle = \left(\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}\right) \dots \left(\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}\right) = \sum_{x \in \{0,1\}^n} \frac{|x\rangle}{\sqrt{2^n}} \left(\frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.17)$$

According to the similar step in Deutsch's algorithm, we must evaluate the effect of the  $U_f$  operator:

$$|\Psi_2\rangle = \sum \frac{(-1)^{f(x)} |x\rangle}{\sqrt{2^n}} \left(\frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.18)$$

Finally, we must evaluate the effect of the last set of Hadamard gates. For a single qubit, the Hadamard effect can be written as:

$$H|x\rangle = \sum_{z \in \{0,1\}} \frac{(-1)^{xz} |z\rangle}{\sqrt{2}} \quad (2.19)$$

which, by extension to the whole register, becomes:

$$H^{\otimes n} |x_1, \dots, x_n\rangle = \sum_{z_1, \dots, z_n} \frac{(-1)^{x_1 z_1 + \dots + x_n z_n} |z_1, \dots, z_n\rangle}{\sqrt{2^n}} \quad (2.20)$$

By using:  $x_1 z_1 + \dots + x_n z_n = x * z$ , we get:

$$|\Psi_3\rangle = \sum_z \sum_x \frac{(-1)^{xz + f(x)} |z\rangle}{\sqrt{2}} \left(\frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.21)$$

Next we will focus on the zero states in the  $|0\rangle^{\otimes n}$  register.

If the  $f(x)$  function is constant, then the sum above  $x$  is independent of  $x$ , therefore we will obtain  $2^n$ , identical simple terms by placing the sign  $\pm 1$  in front of the  $|0\rangle^{\otimes n}$  state.

Therefore, for a constant  $f(x)$  function, the studied register is in the  $|0\rangle^{\otimes n}$  state, probability 1.

If the  $f(x)$  function is *balanced*, the sum for  $x$  has  $2^{n/2}$  positive terms and  $2^{n/2}$  negative terms which cancel each other. So, for a balanced  $f(x)$  function, the studied probability has a probability zero in all zero states. Thus, it is necessary to measure the register and, if one or more of the qubits are in state 1, the  $f(x)$  function is *balanced*, otherwise the  $f(x)$  function is constant.

As a consequence, with the help of the quantum algorithm, we can answer these global questions (register work) by a single  $U_f$ , routine run as long as a classical algorithm will require a number of  $\frac{2^n}{2} + 1$  rounds, since Deutsch-Josza's algorithm is an algorithm of exponential computing.

### 2.3. Bernstein-Vazirani's Oracle

Bernstein-Vazirani's oracle is a Deutsch oracle for which  $f(x) = a \cdot x$ . The final state of the oracle is:

$$\frac{1}{2^n} \left( \sum_{x=0}^{2^n-1} \sum_{y=0}^{2^n-1} (-1)^{a \cdot x} (-1)^{x \cdot y} |y\rangle \right) \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle) \tag{2.22}$$

We consider the sum above  $x$  is:

$$\sum_{x=0}^{2^n-1} (-1)^{a \cdot x} (-1)^{x \cdot y} |y\rangle$$

If  $a \neq y$ , then the sum will be zero.

If  $a = y$ , then the sum will be:

$$(-1)^{a \cdot x} (-1)^{x \cdot y} |y\rangle = 1$$

The final state becomes:

$$\left( \sum_y \delta_{a,y} |y\rangle \right) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle) = |a\rangle \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle - |1\rangle)$$

and, in this case, the control line measurement returns  $a$ .

### 2.4. Simon's Algorithm

Let there be the  $f(x)$  function  $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ . There is a sequence  $s$  so that  $f(x) = f(y) \Leftrightarrow y = x \oplus s$ , for any  $x, y \in \{0,1\}^n$ . The problem is finding this  $s$ .

In 1993, Simon proposed an algorithm which starting from a  $|x\rangle$ , can calculate  $|x\rangle |f(x)\rangle$  in an  $n$  number of steps.

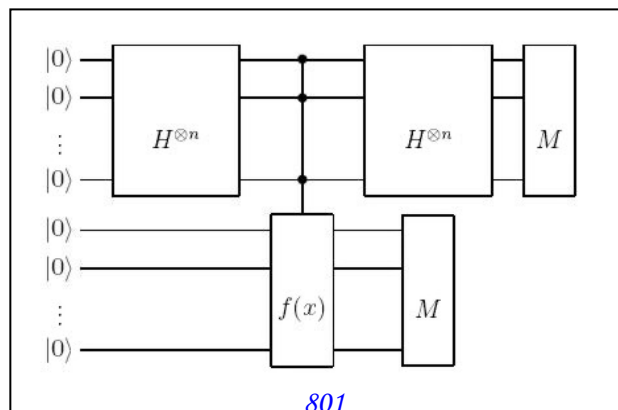


Figure 3. Simon's algorithm

Steps in Simon's algorithm:

1. Initial state:

$$\frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x \in \{0,1\}^n} |x\rangle |0\rangle$$

2. After applying  $f$ , the state becomes:

$$\frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x \in \{0,1\}^n} |x\rangle |f(x)\rangle$$

3. Measuring  $|f(x)\rangle$ , we obtain:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|x\rangle + |x \oplus s\rangle) |f(x)\rangle$$

4. Hadamard  $H$  gate is applied to every bit for  $\frac{1}{\sqrt{2}} (|x\rangle + |x \oplus s\rangle)$ , which results in:

$$\frac{1}{2^{n/2} \sqrt{2}} \sum_{y \in \{0,1\}^n} ((-1)^{x \cdot y} + (-1)^{(x \oplus s) \cdot y}) |y\rangle$$

where  $x \cdot y = \sum_i (x_i \cdot y_i) \bmod 2$ .

5. Measuring  $(-1)^{x \cdot y} + (-1)^{(x \oplus s) \cdot y}$  the result is zero if:  $x \cdot y \neq (x \oplus s) \cdot y$ .

If the result is  $y$ , then  $x \cdot y = (x \oplus s) \cdot y$ , which means that  $x \cdot y = 0$ .

6. Steps 1 through 5 are repeated  $n$  times until the result are a linear system:

$$s \cdot y^i = 0, \quad i = 1, \dots, n$$

7. This system has a single solution.

### III. Conclusions

The theory of quantum computation allows us to look at the question of consciousness from a new perspective, since every physical object can be regarded as a quantum computer, any physical process can be considered a computation and Deutsch's universality result means it must be possible to simulate conscious rational thought using a quantum computer.

### Bibliography

- [1] Zdzislaw Meglicki, *Three Lectures on Quantum Computing*, 2002.
- [2] David P. DiVincenzo, *Quantum Gates and Circuits*, Proceedings of the Royal Society, London, 1997.



- [3] G.Johansson, *Quantum Algorithms - Lectures in Quantum Informatics*, applied Quantum Physics, MC2, Chalmers, S-412 96 Götteburg, Sweden, 2005.
- [4] Christof Zalka, *Introduction to Quantum Computers and Quantum Algorithms*, 2003.
- [5] S.Imre, F. Balazs, *Quantum Computing and Communications*, John Wiley and Sons Ltd, England, 2005.

---

\*Mogos, Gabriela, Al.I.Cuza University, Computer Science Department, Iasi, Bd. Carol I no.11, Tel.: 0232-210910, gabi.mogos@gmail.com

# O noua aproximare a distribuției timpului de viață a unui sistem

Bogdan Gheorghe MUNTEANU<sup>1</sup>

**Abstract.** *The approximation theorem of distribution of lifetime of system from standard exponential distribution, using Esseen's inequality, is investigated.*

**Key Words:** *Esseen's inequality, lifetime*

**MSC 2000 subject classification:** 60F10, 60E15

## 1 Introducere și rezultate principale

Considerăm două funcții de repartiție  $F(x)$  și  $G(x)$  împreună cu densitățile de probabilitate corespunzătoare  $f(t)$  și  $g(t)$ . Se ridică următoarea problema: *dacă  $f(t)$  și  $g(t)$  sunt egale, atunci  $F(x)$  și  $G(x)$  sunt egale?* Este cunoscut că dacă  $f(t)$  și  $g(t)$  sunt apropiate, atunci ne putem aștepta la niște vecinătăți ale funcțiilor  $F(x)$  și  $G(x)$ . Următoarea teoremă a lui Esseen este unul din rezultatele ce clarifică această problemă.

**Teorema 1.** ([2]) *Fie  $F(x)$  și  $G(x)$  două funcții de distribuție cu funcțiile caracteristice  $f(t)$  și  $g(t)$ . Presupunem că  $G(x)$  are derivata de ordinul întâi mărginită astfel încât  $\sup_x G'(x) \leq K$ . Atunci pentru orice  $T > 0$  și  $b > 1/(2\pi)$  avem:*

$$\sup_x |F(x) - G(x)| \leq b \int_{-T}^{+T} \left| \frac{f(t) - g(t)}{t} \right| dt + c(b) \frac{K}{T} \quad (1)$$

unde  $c(b)$  este o constantă pozitivă ce depinde de  $b$ .

Această teoremă joacă un rol important în studiul ratei de convergență în teoremele limită. În lucrarea de față se regăsește o aplicație a teoremei lui Esseen pentru **cazul fiabilist**.

Fie  $v(0) = 0$  și  $\tau_{0,n}$  intervalul de timp de la starea 0 la starea  $n$ ,  $n \geq 1$ , adică

$$\tau_{0,n} = \inf \{t : v(t) = n \mid v(0) = 0\} . \quad (2)$$

Atunci media timpului de viață a sistemului este caracterizată de relația:

$$\mathbb{E} [\tau_{0,n}] = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\sum_{i=0}^k \Theta_i}{\Theta_k \lambda_k} . \quad (3)$$

unde  $\Theta_0 = 1$  și  $\Theta_n = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n}$ ,  $n \geq 1$ . Relația (3) a fost demonstrată în lucrarea [8].

Sunt prezentate în continuare câteva rezultate intermediare foarte importante în demersul ce va urma.

<sup>1</sup>"Transilvania" University of Brașov, Departament of Mathematical Analysis and Probability, e-mail: b.munteanu@unitbv.ro

**Propoziția 1.** ([5]) Transformata Laplace a variabilei aleatoare  $\tau_{0,n}$  este

$$\mathbb{E}[e^{-z\tau_{0,n}}] = \frac{1}{\Delta_n(z)}, \quad (4)$$

unde  $\Delta_n(z)$  este un polinom

$$\Delta_n(z) = 1 + \Delta_{n,1}z + \Delta_{n,2}z^2 + \dots + \Delta_{n,n}z^n. \quad (5)$$

**Remarca 1.** ([5]) După relația (4) urmează

$$\mathbb{E}[\tau_{0,n}] = \Delta_{n,1}. \quad (6)$$

**Remarca 2.** ([5])

$$\Delta_{n,2} = \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\sum_{s=1}^k \mathbb{E}[\tau_{0,s}] \Theta_s}{\lambda_k \Theta_k}. \quad (7)$$

## 2 Teorema de aproximare a repartiției timpului de viață (cazul $n = 2$ )

În lucrarea [9] s-a tratat exemplul ce va urma, unde s-a urmărit calculul fiabilității unui sistem cu două componente (stări). Acum pentru același sistem, cu aceleași caracteristici, vom studia abaterea distribuției timpului de viață al acestuia față de distribuția exponențială. Sistemul are două unități operaționale cu ratele  $\lambda^{(1)} = \lambda^{(2)} = 1$ , o unitate în standby-ul "rece"  $\lambda^{(3)} = 0.5$  și o componentă în standby-ul "cald"  $\lambda^{(4)} = 0.2$ . Există un singur canal de reparație cu rata de reparație  $\mu_1 = 10$ . Sistemul se degradează dacă numărul total de componente defecte este doi. În aceste condiții, ratele ascendente de tranziție ale sistemului sunt

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \lambda^{(1)} + \lambda^{(2)} + \lambda^{(3)} + \lambda^{(4)} = 2.7, \\ \lambda_1 &= \lambda^{(1)} + \lambda^{(2)} + \lambda^{(3)} = 2.5, \end{aligned}$$

iar conform relației (7),

$$\Delta_{2,1} = \mathbb{E}[\tau_{0,2}] = \frac{\Theta_0}{\Theta_0 \lambda_0} + \frac{\Theta_0 + \Theta_1}{\Theta_1 \lambda_1} = 2.112$$

$$\Delta_{2,2} = \frac{\Theta_1 \mathbb{E}[\tau_{0,1}]}{\lambda_1 \Theta_1} = \frac{1}{\lambda_0 \lambda_1} = 0.148$$

cu  $\Theta_0 = 1$   $\Theta_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} = 0.1$ .

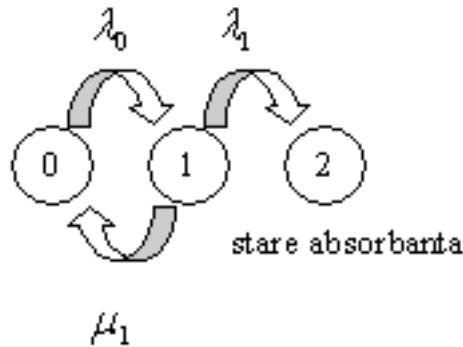


Fig. 1. Evoluția sistemului cu standby reînobil

Teorema ce urmează prezintă aproximarea funcției de repartiție a timpului de viață față de distribuția exponențială standard.

**Teorema 2.** Fie  $F(x) = \mathbb{P}(\tau_{0,2} < x)$  funcția de distribuție a timpului de viață a sistemului și  $G(x) = 1 - e^{-x}$  distribuția exponențială standard precum și funcțiile caracteristice  $f(t)$  și  $g(t)$  ale celor două funcții de repartiție. Presupunem că  $G(x)$  are derivata de ordinul întâi mărginită astfel încât  $\sup_x G'(x) \leq K$ . Atunci pentru orice  $T > 0$  și  $b > 1/(2\pi)$  avem:

$$\sup_{0 < x < \ln \frac{1}{K}} |\mathbb{P}(\tau_{0,2} > x) - e^{-x}| \leq b I + c(b) \frac{K}{T} \tag{8}$$

unde  $I = \int_{-T}^{+T} \left| \frac{0.148t + 1.112i}{(1-it)(0.148t^2 + 2.112it - 1)} \right| dt$  și  $c(b)$  este o constantă pozitivă ce depinde de  $b$ .

*Demonstrație.* Funcția de repartiție a timpului de viață pentru un sistem cu două componente ( $n = 2$ ) este  $F(x) = \mathbb{P}(\tau_{0,2} < x)$ , iar funcția caracteristică a timpului de viață este  $f(t) = \mathbb{E}[e^{it\tau_{0,2}}] \stackrel{x=-it}{=} \mathbb{E}[e^{-x\tau_{0,2}}] = \frac{1}{\Delta_2(x)} = \frac{1}{1 + \Delta_{2,1}x + \Delta_{2,2}x^2} \stackrel{x=-it}{=} \frac{1}{1 - i\Delta_{2,1}t - \Delta_{2,2}t^2}$ . Cu datele de mai sus,  $f(t) = \frac{1}{1 - 2.112it - 0.148t^2}$ .

De asemenea este cunoscut că funcția de repartiție a distribuției exponențiale standard și funcția caracteristică a distribuției exponențiale sunt date de  $G(x) = 1 - e^{-x}$  și  $g(t) = \int_0^\infty e^{itx} dG(x) = \frac{1}{1-it}$ . Atunci inegalitatea (1) devine inegalitatea (8), unde integrantul din mem-

brul drept al inegalității (1) este  $I = \int_{-T}^{+T} \left| \frac{0.148t + 2.112i}{(1-it)(0.148t^2 + 1.112i - 1)} \right| dt$ .

Rezolvarea integralei se bazează pe tehnicile bine cunoscute de integrare a unei funcții iraționale prin procedeul de descompunere a unei fracții în fracții simple.  $\square$

## Referința

- [1] DEKKING, F.M., *A Modern Introduction to Probability and Statistics*, Springer, 2005
- [2] ESSEEN, C.G., *Fourier analysis of distribution functions. A mathematical study of the Laplace-Gaussian law*, Acta. Math., 77, 1-125, 1945.
- [3] ESSEEN, C.G., *On the Liapunoff limit of error in the theory of probability*, Arkiv Mat., och Fysik, 28A(2), 1-19, 1942.
- [4] FELLER, W., *On the Berry-Esseen theorem*, Z.Wahrsch. Verw. Geb.,10,261-8, 1976.
- [5] GNEDENKO, B.V. and SOLOVYEV, A.D., *A general model for standby with renewal*, Engineering Cybernetics, **12**(6)(1974), 82-86.
- [6] KATZ, M., *A note on the Berry-Esseen theorem*, Ann. Math. Statist., 34, 1007-8, 1963.
- [7] MUNTEANU, B. GH., *On a Generalization of Esseen's inequality*, Italian Journal of Pure and Applied, **27**(2007), in press.
- [8] MUNTEANU, B. GH., *Deviation from exponentiality in birth and death process of ergodic exit and sojourn times*, A 10-A Conferință Anuală a Societății de Științe Matematice din România, 2006, in press.
- [9] MUNTEANU, B. GH., *On numerical example of a reliability of system with renewable components and fast repair*, Sesiunea de Comunicări Științifice cu Participare Internațională "Educație și Cercetare Științifică la standarde comunitare", Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă" Brașov, Proceedings " Education and Scientific Research European Standards", vol.2(2007), p.482-491, (pe CD, ISBN: 978-973-8415-45-4).
- [10] PAULAUSKAS, V.I., *On a smoothing inequality*, Litovsk. Nat. Sb., 11, 861-6, 1971.
- [11] PETROV, V.V., *Limit Theorems of Probability Theory :Sequence of Independent Random Variables*, Oxford Science Publication, Oxford, 1995.

## INFLUENTA STRUCTURALA A FORTELOR ASUPRA STABILITATII SISTEMELOR DINAMICE(CU APLICATII) IN CAZUL MODELARII LAGARELOR IN REGIM HIDRO-AERODINAMIC.

Ștefan NEDELICU\*  
Mircea LUPU\*\*

**Abstract.** *The present paper attempts to study influence of differences forces to stability motion of the material point. We consider potentials forces and non potentials forces. All depends of positional coordinates We study in the first part of the paper theoretical elements that establish the stabiles dynamics regimes. In the second part we study as application the case of journal bearing.*

*Key words: Routh-Hurwitz, stability, journal bearing.*

### I. Studiul influentei structurale a fortelor asupra stabilitatii sistemului dinamic

In general vom considera sisteme dinamice olonome supuse la legături staționare. Ecuațiile lui Lagrange vor fi de forma:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} = - \frac{\partial U}{\partial q_k} + D_k + \Gamma_k + R_k \quad (1)$$

unde  $T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n a_{kj} \dot{q}_k \dot{q}_j$  este energia cinetica,  $U(q)$  este energia potențială corespunzătoare

forțelor generalizate  $Q_k = - \frac{\partial U}{\partial q_k}$  ( dacă exista forțe  $\bar{F}_e$  cu  $\text{rot} \bar{F}_e = 0 \Rightarrow \bar{F}_e = -\text{grad} U$  ),  $D_k$

sunt forțe disipative corespunzătoare forțelor de frecare cu lucru mecanic negativ,  $\Gamma_k$  sunt forțe generalizate giroscopice cu lucru mecanic nul si  $R_k$  sunt forțe neconservative( provenite din forte  $\bar{F}_k$  cu  $\text{rot} \bar{F}_k \neq 0$  ) depinzând de coordonatele poziționale.

Ecuațiile (1) se scriu matricial:

$$A\ddot{q} + C\dot{q} + Kq + G\dot{q} + Pq = Q(q, \dot{q}) \quad (2)$$

unde  $A$  este matricea inertială,  $C$ , matricea de amortizare( corespunzătoare forțelor disipative, cu componente simetrice  $c_{ij} = c_{ji}$  ),  $K$ , matricea forțelor elastice(potențiale),  $G$ , matricea forțelor giroscopice(asimetrică,  $g_{ij} = -g_{ji}$  ),  $P$ , matricea forțelor nepotențiale,  $Q$  conține termeni neliniari in  $q, \dot{q}$ .

Considerând condițiile inițiale  $q_0, \dot{q}_0$  la  $t = t_0$ , se determină un regim de funcționare staționar cu traiectorii  $q = q_c(t, t_0, q_0, \dot{q}_0)$  și viteze  $\dot{q} = \dot{q}_c(t, t_0, q_0, \dot{q}_0)$ . Perturbăm puțin condițiile inițiale, considerând pentru  $t = t_0$ ,  $\tilde{q}_0, \tilde{\dot{q}}_0$  și determinăm o soluție perturbată  $\tilde{q} = \tilde{q}(t, t_0, \tilde{q}_0, \tilde{\dot{q}}_0)$ ,  $\tilde{\dot{q}} = \tilde{\dot{q}}(t, t_0, \tilde{q}_0, \tilde{\dot{q}}_0)$ . Dacă regimul perturbat,  $(\tilde{q}, \tilde{\dot{q}})$ , rămâne în vecinătatea regimului de control,  $(q_c, \dot{q}_c)$ , spunem, după Liapunov, că regimul de control este simplu stabil (S.S). Regimul de mișcare  $(q_c, \dot{q}_c)$  este (S.S) dacă pentru orice  $\varepsilon > 0$  există  $\eta_1(\varepsilon) > 0, \eta_2(\varepsilon) > 0$  astfel că  $\|q_c - \tilde{q}\| < \varepsilon, \|\dot{q}_c - \tilde{\dot{q}}\| < \varepsilon$  pentru  $\|q_0 - \tilde{q}_0\| < \eta_1(\varepsilon)$  și  $\|\dot{q}_0 - \tilde{\dot{q}}_0\| < \eta_2(\varepsilon)$ , cu norma din spațiul Euclidian. Dacă  $\lim_{t \rightarrow \infty} \|q_c - \tilde{q}\| = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \|\dot{q}_c - \tilde{\dot{q}}\| = 0$

spunem că avem stabilitate asimptotică, (S.A). Se observă că un sistem (S.A) este (S.S).

Pentru sistemele liniare sunt cunoscute criteriile de stabilitate Hurwitz-Routh iar pentru cele neliniare criteriile în prima aproximație utilizând stabilitatea sistemului liniarizat și deasemeni metoda funcției lui Liapunov.

Considerăm sistemul multidimensional (2) cu membrul stâng liniar și matricea A nesingulară. Sistemul liniar și omogen adus la forma normală va fi:

$$\ddot{q} + C\dot{q} + Kq + G\dot{q} + Pq = 0 \tag{4}$$

cu polinomul caracteristic corespunzător

$$P(\lambda) = \det(I\lambda^2 + C\lambda + G\lambda + K + P) = \lambda^{2s} + A_1\lambda^{2s-1} + \dots + A_{2s-1}\lambda + A_{2s} = 0 \tag{5}$$

Condiția de stabilitate asimptotică pentru soluția nulă  $q=0$  a sistemului (4) este ca rădăcinile polinomului caracteristic să aibă partea reală negativă. Acest lucru are loc dacă minorii diagonali ai determinantului Hurwitz corespunzător sunt pozitivi,

$$H = \begin{vmatrix} A_1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ A_3 & A_2 & A_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ A_5 & A_4 & A_3 & A_2 & A_1 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & A_{2s} \end{vmatrix}, H_1 = A_1, H_2 = \begin{vmatrix} A_1 & 1 \\ A_3 & A_2 \end{vmatrix}, \dots, H_{2s} = H$$

Ne vom limita la sistemul dinamic liniar bidimensional pentru demonstrații și calcule efective, referindu-ne la un punct material P(x,y).

Sistemul (4) devine:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + c_1\dot{x} + k_1x + g_1\dot{y} + p_1y &= 0 \\ \ddot{y} + c_2\dot{y} + k_2y + g_2\dot{x} + p_2x &= 0 \end{aligned} \tag{6}$$

Forțele care acționează în sistemul (6) sunt forța de amortizare,  $\vec{C}(c_1\dot{x}, c_2\dot{y})$ , forța elastică conservativă,  $\vec{K}(k_1x, k_2y)$ , forța giroscopică,  $\vec{G}(g_1\dot{y}, g_2\dot{x})$  și forța neconservativă  $\vec{P}(p_1y, p_2x)$ .

Polinomul caracteristic va fi:



$$P(\lambda) = \begin{vmatrix} \lambda^2 + c_1\lambda + k_1 & g_1\lambda + p_1 \\ g_2\lambda + p_2 & \lambda^2 + c_2\lambda + k_2 \end{vmatrix} = \quad (7)$$

$$\lambda^4 + (c_1 + c_2)\lambda^3 + (c_1c_2 - g_1g_2 + k_1 + k_2)\lambda^2 + (c_1k_2 + c_2k_1 - g_1p_2 - g_2p_1)\lambda + k_1k_2 - p_1p_2$$

Fie cazul ideal in care  $c_1 = c_2 = c, k_1 = k_2 = k, g_1 = -g_2 = g, p_1 = -p_2 = p$  cu  $c, k, g, p > 0$ . Atunci ecuația caracteristică este :

$$\lambda^4 + 2c\lambda^3 + (c^2 + g^2 + 2k)\lambda^2 + 2(ck + gp)\lambda + k^2 + p^2 = 0 \quad (8)$$

Determinanții Hurwitz corespunzători vor fi:  $H_1=2c, H_2=(H_1+4c^2(k^2+p^2))/(ck+gp), H_3 = 4(c^2 + g^2)(kc^2 + cgp - p^2), H_4 = (k^2 + p^2)H_3$ . Se observă că primul este pozitiv iar ceilalți sunt pozitivi odată cu  $H_3$ , care va fi pozitiv dacă

$$k + g\frac{p}{c} - \left(\frac{p}{c}\right)^2 > 0. \text{ Inecuația este satisfăcută dacă } (p/c)_1 < (p/c) < (p/c)_2, \text{ unde } (p/c)_1, (p/c)_2$$

sunt rădăcinile ecuației corespunzătoare,  $(p/c)_{1,2} = \left(g \pm \sqrt{g^2 + 4k}\right)/2$ . Intr-un sistem de referință triortogonal cele două rădăcini definesc două suprafețe, domeniul cuprins între ele fiind domeniul de stabilitate.

Pentru sistemul (6) vom enunța o serie de teoreme Thomson-Theta-Cetaev privind structura forțelor  $\vec{C}, \vec{K}, \vec{G}, \vec{P}$  ce vor influența stabilitatea soluției nule.

Teorema 1.

- In cazul sistemului conservativ, dacă energia potențială are un minim izolat, atunci sistemul este S.S in jurul punctului de minim.
- Dacă sistemul conservativ are in jurul punctului de minim izolat regim S.S și dacă există coordonate ciclice atunci stabilitatea simplă se conservă in raport cu coordonatele poziționale și mișcarea va fi uniformă in raport cu coordonatele ciclice.

Teorema 2.

Dacă avem un regim izolat potențial S.S atunci prin atașarea la sistem a forțelor  $\vec{C}$  (disipativă) și  $\vec{G}$  se păstrează stabilitatea simplă; dacă disiparea este totală ( $\vec{C}$ ) atunci sistemul  $(\vec{K}, \vec{C}, \vec{G})$  devine S.A(asimptotic stabil).

Teorema 3.

Intr-un regim potențial  $\vec{K}$ , instabil in vecinătatea unui punct de maxim pentru energia potențială și unde energia potențială are și valori negative, dacă se aplică forțele disipative  $\vec{C}, \vec{G}$  instabilitatea se păstrează.

Teorema 4.

Sistemul in care avem forțe giroscopice  $\vec{G}$ , intotdeauna avem stabilitatea vitezei (S.S). Dacă adăugăm și forțele  $\vec{K}$  sistemul devine asimptotic stabil in raport cu viteza și simplu stabil in raport cu coordonatele.

Teorema 5.

Un sistem in care avem numai forțele nepotențiale  $\vec{P}$  este intotdeauna instabil. Un astfel de sistem este reprezentat de ecuațiile:

$$\ddot{x} + py = 0$$

$$\ddot{y} - px = 0$$

Ecuția caracteristică este  $\lambda^4 + p^2 = 0$  cu soluțiile  $\lambda = \pm\sqrt{2}/2(1 \pm i)p$  și având rădăcini cu partea reală pozitivă rezultă instabilitatea sistemului.

Teorema 6.

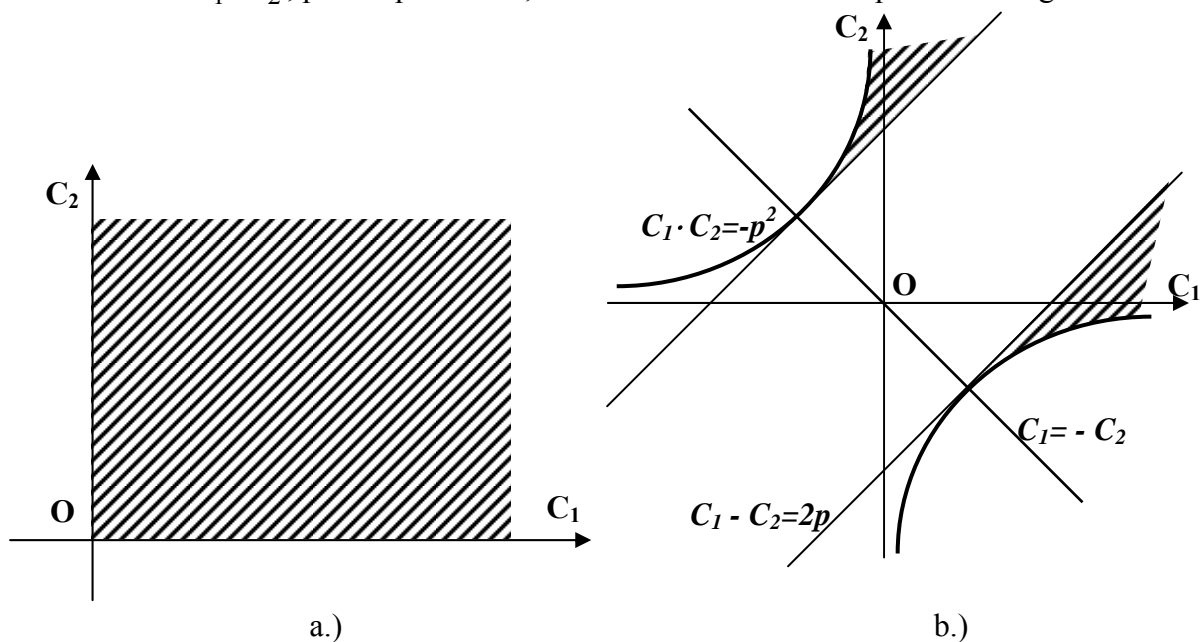
În cazul sistemelor acționate de forțele conservative  $\bar{K}$  și de cele nepotențiale  $\bar{P}$  valorile componentelor celor două forțe determină domenii de stabilitate. Sistemul de ecuații corespunzător este:

$$\ddot{x} + k_1x + py = 0$$

$$\ddot{y} + k_2y - px = 0$$

Ecuția caracteristică  $\lambda^4 + (k_1 + k_2)\lambda^2 + k_1k_2 + p^2 = 0$  trebuie să aibă rădăcinile în  $\lambda^2$  reale și negative.

Se obține sistemul de inegalități  $k_1 + k_2 > 0, k_1k_2 + p^2 > 0, |k_1 - k_2| > 2p$ . Într-un sistem de axe  $k_1Ok_2$ ,  $p$  fiind parametru, domeniul de stabilitate se prezintă în fig.1



a.)  $p=0$                       b.)  $p \neq 0, k_1=k_2=0$                       c.)  $k_1=k_2=k$

Dacă  $p=0$  domeniul de stabilitate este în cadranul  $k_1 > 0, k_2 > 0$ . Dacă  $p \neq 0$  dar  $k_1 + k_2 = 0$  stabilitatea în cadranul respectiv dispare. Deci forțele nepotențiale ( $p \neq 0$ ) pot crea instabilitate sau pot extinde stabilitatea (în exteriorul cadranelor I).

**Teorema 7.**

Fie sistemul acționat de forțele conservative  $\vec{K}$  și cele nepotențiale  $\vec{P}$ . Introducând forțele disipative  $\vec{C}$  acestea pot influența stabilitatea sistemului. Pentru sistemul  $(\vec{C}, \vec{K}, \vec{P})$  ecuațiile sunt:

$$\ddot{x} + c_1 \dot{x} + k_1 x + py = 0$$

$$\ddot{y} + c_2 \dot{y} + k_2 y - px = 0$$

$$\lambda^4 + (c_1 + c_2)\lambda^3 + (k_1 + k_2 + c_1 c_2)\lambda^2 + (k_1 c_2 + k_2 c_1)\lambda + k_1 k_2 + p^2 = 0$$

Pentru stabilitatea sistemului condițiile Hurwitz-Routh sunt:

$$c_1 + c_2 > 0, k_1 + k_2 + c_1 c_2 > 0, k_1 c_2 + k_2 c_1 > 0, k_1 k_2 + p^2 > 0 \text{ și}$$

$$H_3 = c_1 c_2 (c_1 + c_2)(k_1 c_2 + k_2 c_1) + c_1 c_2 (k_2 - k_1)^2 - (c_1 + c_2)^2 p^2 > 0$$

a) Forțele disipative  $\vec{C}$  în anumite condiții pot stabiliza sistemul instabil  $(\vec{K}, \vec{P})$ . De exemplu fie  $k_1 = k_2 = k$  (bisectoarea I aparține culoarului de instabilitate a sistemului  $(\vec{K}, \vec{P})$ ). Rezultă că  $H_3 = (c_1 + c_2)^2 (c_1 c_2 k - p^2) > 0$  dacă  $c_1 c_2 > p^2/k$ . În cadranul I zona de stabilitate, hașurată în figură, va conține o parte din bisectoarea I pe care sistemul era instabil.

b) Dacă sistemul  $(\vec{K}, \vec{P})$  este stabil forțele disipative îl pot destabiliza.

De exemplu, pentru  $c_2 = 0$  și  $c_1 = c > 0$ ,  $H_3 = -c^2 p^2 < 0$  și sistemul este instabil pe semi-axa pozitivă  $c_1$  pe care sistemul inițial era stabil.

**Teorema 8.**

Dacă se consideră sistemul conservativ  $\vec{K}$  stabil și coeficienții  $k_1 = k_2 = \dots = k_s = \omega^2$  atunci, prin adăugarea forțelor nepotențiale  $\vec{P}$ , stabilitatea va fi perturbată indiferent de termenii neliniari  $(X, Y)$ .

Exemplificăm pentru  $s=2$ . Sistemul de ecuații corespunzător este:

$$\ddot{x} + \omega^2 x + py = X$$

$$\ddot{y} + \omega^2 y - px = Y$$

Ecuația caracteristică este  $\lambda^4 + 2\omega^2 \lambda^2 + \omega^4 + p^2 = (\lambda^2 + \omega^2)^2 + p^2 = 0$ . Soluțiile vor fi:

$$\lambda = \pm \left( \sqrt{\frac{\sqrt{p^2 + \omega^4} + \omega^2}{2}} \pm \sqrt{\frac{\sqrt{p^2 + \omega^4} - \omega^2}{2}} i \right)$$

Deoarece o rădăcină are partea reală pozitivă sistemul este instabil.

Următoarea teoremă se referă la stabilitatea sistemelor neliniare.

**Teorema 9.**

a) Dacă sistemul liniar este asimptotic stabil atunci și sistemul neliniar este asimptotic stabil.

b) Dacă sistemul liniar este instabil atunci sistemul neliniar este asimptotic instabil.

Dacă termenii neliniari lipsesc ( $X=Y=0$ ) nu se pot face considerații pentru stabilitatea asimptotică în absența forțelor disipative.

## II. Instabilitatea pentru rotoarele lagărelor hidro-aerodinamice.

Se consideră o secțiune printr-un lagăr circular cu elementele geometrice prezentate în fig.2

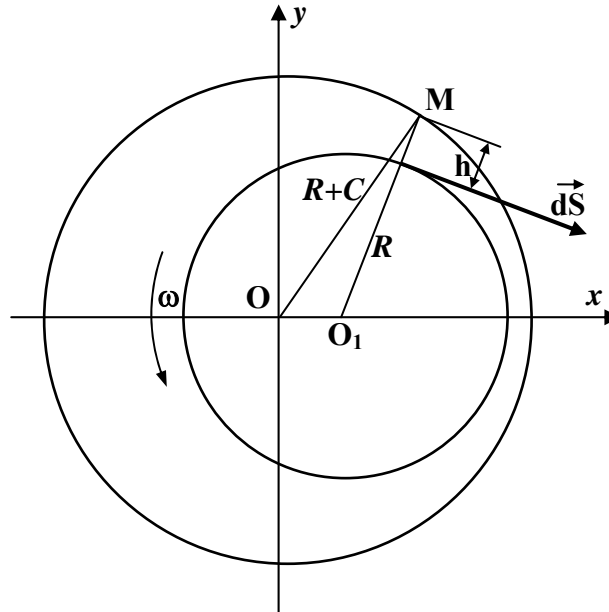


Fig. 2 Secțiune printr-un lagăr circular

Fluidul care separă cele două suprafețe are viscozitatea  $\mu$  și densitatea  $\rho$  constante, iar viteza unghiulară  $\omega$ . Vom studia mișcarea centrului rotorului (mișcare plană) sub acțiunea forțelor date arătând că în sistemul perturbat pot apărea forțe nepotențiale poziționale care produc instabilitate. Din punct de vedere tehnic, pentru a elimina această instabilitate vom introduce forțe elastice și de amortizare viscoase conform teoremelor din paragraful precedent. Fie sistemul de axe de coordonate cu axa absciselor determinată de centrele  $O, O_1$ .

Notăm cu  $R$  raza rotorului și cu  $R+C$  raza suprafeței exterioare, considerată imobilă. Considerăm un punct oarecare  $M$  pe suprafața imobilă. În triunghiul  $OMO_1$  aplicând teorema cosinusului rezultă:  $OM^2 = (R+C)^2 = (R+h)^2 + x^2 - 2x(R+h)\cos\theta$ . Deoarece  $x, C, h \ll R$  rezultă, prin neglijarea termenilor pătratici,  $2RC = 2Rh - 2xR\cos\theta$  și  $h = C + x\cos\theta$ . În cazul suprafețelor concenrice, viteza medie a fluidului între suprafețe este  $R\omega/2$  și debitul de fluid pe unitatea de lungime a lagărului va fi  $CR\omega/2$ . Dacă centrul rotorului se deplasează în poziția  $O_1$  debitul prin secțiunea de lățime  $h$  va fi  $vh$  ( $v$  fiind viteza fluidului prin secțiune respectivă). Din ecuația de continuitate rezultă  $vh = CR\omega/2$  și  $v = CR\omega/2(C + x\cos\theta)$ .

Forța de frecare pe suprafața de lungime  $Rd\theta$  și lățime unitară va fi proporțională cu pătratul vitezei relative,  $(R\omega - v)^2$  și densitatea fluidului. Această forță este tangențială la rotor. Expresia ei este:

$$d\vec{S} = \mu(R\omega - v)^2 \rho R d\theta = \mu R^3 \omega^2 \rho \left( 1 - \frac{C}{2(C + x\cos\theta)} \right) d\theta \quad (9)$$

Proiectăm (9) pe axele  $x$  și  $y$  și integrăm între  $0, 2\pi$ . Dezvoltăm în serie expresia din paranteză:

$$1 - \frac{1}{2(1 + x/C\cos\theta)} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{x}{C}\cos\theta - \left(\frac{x}{C}\right)^2 \cos^2\theta + \dots \right)$$

Componenta după y a forței de frecare va fi:

$$S_y = -\frac{\mu\rho R^3 \omega^2}{4} \int_0^{2\pi} \left(1 + \frac{x}{C} \cos\theta - \dots\right)^2 \cos\theta d\theta = -\frac{\pi\mu\rho R^3 \omega^2}{2C} x + \dots \quad (10)$$

In mod asemănător se obține componenta după axa x:

$$S_x = \frac{\pi\mu\rho R^3 \omega^2}{2C} y + \dots \quad (11)$$

Asupra rotorului considerăm că acționează și forța elastică  $\vec{F}$  cu componentele  $F_x = -cx$  și  $F_y = -cy$ , unde c este coeficientul de rigiditate la incovoiere.

Ecuatiile de echilibru sunt ecuațiile lui Newton (ecuațiile de mișcare ale centrului masei):

$$M\ddot{x} = F_x + S_y + X \quad (12)$$

$$M\ddot{y} = F_y + S_x + Y$$

unde M este masa rotorului, X și Y sunt componentele de ordin superior neglijate. In (12) împărțim cu M și notăm:

$$\frac{c}{M} = k^2, \quad \frac{\pi\mu\rho R^3 \omega^2}{2CM} = p$$

Ecuatiile de mișcare devin:

$$\ddot{x} + k^2 x - py = X$$

$$\ddot{y} + k^2 y + px = Y$$

Sistemul obținut este asemănător cu cel de la teorema 8 din paragraful precedent și putem aplica concluzia respectivă, sistemul este instabil. Pentru a evidenția natura instabilității considerăm sistemul omogen și introducem variabila complexă  $z = x + iy$ . Se obține:

$$\ddot{z} + (k^2 + ip)z = 0 \quad (13)$$

Căutând soluția de forma  $z = Ae^{\lambda t}$ , cu A complex, se obține pentru  $\lambda$  ecuația  $\lambda^2 + k^2 + ip = 0$  cu soluțiile  $\lambda_{1,2} = \pm ki \sqrt{1 + i \frac{p}{k^2}}$ . Dacă  $k^2 \gg p$  atunci, dezvoltând in serie radicalul și neglijând termenii de ordin superior se obțin pentru  $\lambda$  soluțiile:

$$\lambda_1 = \frac{p}{2k} - ki \quad (14)$$

$$\lambda_2 = -\frac{p}{2k} + ki$$

Soluția generală va fi:

$$z = C_1 e^{\frac{pt}{2k}} e^{-ikt} + C_2 e^{-\frac{pt}{2k}} e^{ikt} \quad (15)$$

Al doilea termen din (15) tinde la zero când t tinde la infinit și  $z = C_1 e^{\frac{pt}{2k}} e^{-ikt}$ . Deci,

locul geometric descris de punctul  $O_1$  este o spirală logaritmică cu  $r = \left| C_1 e^{\frac{pt}{2k}} \right|$  și  $\varphi = kt$ .

Conform cu teorema 7 pentru stabilizarea regimului de mișcare este necesară introducerea unui amortizor cu momentul Mb față de  $O_1$  și  $b > p/k$ .

**Bibliografie**

1. S.Chiriacescu: Sisteme mecanice liniare. Editura Academiei Romane, Bucuresti, 2007
2. C.I.Ghiorghiu: Metode numerice pentru sisteme dinamice. Casa Cărții de Știință, Cluj Napoca, 2006
3. D.R.Merkin : Introducere în teoria stabilității mișcării. Moscova, Nauka, 1987
4. M.Lupu, O.Florea: Studiul transferului de masă în cazul mișcării staționare a fluidelor viscoase între cilindrii cu axe paralele. Proceedings of International Conference, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, Brașov, CDROM, 2007
5. S.Nedelcu, A.Postelnicu: Rezolvarea problemei neliniare a unui lagăr circular hibrid. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, University Press Zielona Gora, Poland, vol.7,nr.2, 2002

---

\* Profesor univ. asociat, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, Brașov

\*\* Profesor univ., Universitatea „Transilvania”, Brașov

## AN INTRODUCTION IN THE ASYMPTOTIC STUDY OF NON-LINEAR STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE FIELD OF OSCILLATIONS

Gabriel NEPOTU\*

**Abstract:** Starting from the uni-dimensional Itô formula, certain aspects of a second order equation including a random phenomenon called "white noise" are presented. The calculus will make use of the amplitude and phase of the oscillations, as well as a small parameter.

*Key words:* Itô formula, white noise, oscillations, amplitude, phase.

Consider the equation:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = \varepsilon f_1(x, \dot{x}) + \sqrt{\varepsilon} f_2(x, \dot{x}) W_t \quad (1)$$

where  $f_1$  and  $f_2$  are non-linear functions,  $\varepsilon$  is a small positive parameter, and  $W_t$  is a random process of the "white noise" type.

Equation (1) can be written as a stochastic system,

$$\begin{cases} dx = \dot{x} dt \\ d\dot{x} = \left[ -\omega^2 x + \varepsilon f_1(x, \dot{x}) \right] dt + \sqrt{\varepsilon} f_2(x, \dot{x}) dB_t \end{cases} \quad (2)$$

If  $\varepsilon=0$ , equation (1) has the solution

$$x = A \cos \Psi, \quad \dot{x} = -A \omega \sin \Psi, \quad \text{where } \Psi = \omega t + \theta \quad (3)$$

Observation:  $A$  is the oscillation amplitude and  $\theta$  its phase.

Considering  $x = A \cos(\omega t + \theta)$ , its derivative is

$$\dot{x} = -\dot{A} \cos(\omega t + \theta) - A \omega \sin(\omega t + \theta)$$

Due to the fact that the oscillations are small,  $\dot{A}$  may be considered 0.

Equation (3) results in

$$A = \sqrt{x^2 + \frac{\dot{x}^2}{\omega^2}} \quad \Psi = -\arctg \frac{\dot{x}}{\omega x} \quad (4)$$

Here follows the calculation procedure used in the paper.



**Theorem:** Let  $X_t$  be an Itô process, given by  $dX_t = udt + vdB_t$

Let  $g(t, x)$  be twice continuously differentiable on  $[0, \infty) \times \mathbf{R}$ . Then  $Y_t = g(t, X_t)$  is also an Itô process and

$$dY_t = \frac{\partial g}{\partial t}(t, X_t)dt + \frac{\partial g}{\partial x}(t, X_t)dX_t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g}{\partial x^2}(t, X_t) \cdot (dX_t)^2$$

where  $(dX_t)^2 = (dX_t) \cdot (dX_t)$  is computed according to the following rules:

$$dt \cdot dt = dt \cdot dB_t = dB_t \cdot dt = 0, \quad dB_t \cdot dB_t = dt$$

Another form of Itô formula is

$$dY_t = \left( \frac{\partial g}{\partial t} + \frac{\partial g}{\partial x}u + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g}{\partial x^2}v^2 \right)dt + \frac{\partial g}{\partial x}v dB_t$$

For  $\varepsilon \neq 0$ , the following stochastic system is obtained from (2) and (4) for  $A$  and  $\Psi$

$$\begin{cases} dA = \varepsilon K_1(A, \Psi)dt + \sqrt{\varepsilon} M_1(A, \Psi)dB_t \\ d\Psi = \varepsilon K_2(A, \Psi)dt + \sqrt{\varepsilon} M_2(A, \Psi)dB_t \end{cases} \quad (5)$$

Using the previous theorem, as well as the following calculations, the expressions of the functions  $K_i$  and  $M_i$ ,  $i=1,2$  are found.

$$A = \sqrt{x^2 + \frac{\dot{x}^2}{\omega^2}} \Rightarrow \frac{dA}{d\dot{x}} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\dot{x}}{2\sqrt{\omega^2 x^2 + \dot{x}^2}} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{-A\omega \sin \Psi}{\omega A} = -\frac{\sin \Psi}{\omega}$$

$$\Psi = -\arctg \frac{\dot{x}}{\omega x} \Rightarrow \frac{d\Psi}{d\dot{x}} = -\frac{1}{\omega x} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\dot{x}^2}{\omega^2 x^2}} =$$

$$-\frac{1}{\omega x} \cdot \frac{\omega^2 x^2}{\omega^2 A^2} = -\frac{1}{\omega A^2} \cdot A \cos \Psi = -\frac{\cos \Psi}{\omega A}$$

$$\frac{d^2 A}{d\dot{x}^2} = A \cdot \frac{\omega^2 x^2 - \dot{x}^2}{(\omega^2 x^2 + \dot{x}^2)^2} = A \cdot \frac{\omega^2 A^2 \cos^2 \Psi - \omega^2 A^2 \sin^2 \Psi}{\omega^4 A^4} = \frac{\cos 2\Psi}{\omega^2 A}$$

$$\frac{d^2 \Psi}{d\dot{x}^2} = \omega x \cdot \frac{2\dot{x}}{(\omega^2 x^2 + \dot{x}^2)^2} = \frac{-\omega A \cos \Psi \cdot 2\omega A \sin \Psi}{A^4 \omega^4} = \frac{-\sin 2\Psi}{\omega^2 A^2}$$

$$K_1(A, \Psi) = -\frac{1}{\omega} \left[ f_1(A \cos \Psi, -A\omega \sin \Psi) \sin \Psi - f_2^2(A \cos \Psi, -A\omega \sin \Psi) \frac{\cos 2\Psi}{2\omega A} \right]$$

$$M_1(A, \Psi) = -\frac{1}{\omega} f_2(A \cos \Psi, -A\omega \sin \Psi) \sin \Psi$$

$$K_2(A, \Psi) = -\frac{1}{\omega A} \left[ f_1(A \cos \Psi, -A\omega \sin \Psi) \cos \Psi + f_2^2(A \cos \Psi, -A\omega \sin \Psi) \frac{\sin 2\Psi}{2\omega A} \right]$$

$$M_2(A, \Psi) = -\frac{1}{\omega A} f_2(A \cos \Psi, -A\omega \sin \Psi) \cos \Psi$$

In system (5), the change of variable is performed:

$$A = \bar{A} + \varepsilon u(\bar{A}, \Psi) \quad (6)$$

$$\Psi = \bar{\Psi} + \varepsilon v(\bar{A}, \bar{\Psi})$$

where  $u(\bar{A}, \bar{\Psi}), v(\bar{A}, \bar{\Psi})$  are represented using the small parameter  $\varepsilon$  :

$$\begin{cases} u(\bar{A}, \bar{\Psi}) = u_1(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon u_2(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon^2 u_3(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \dots \\ v(\bar{A}, \bar{\Psi}) = v_1(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon v_2(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon^2 v_3(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \dots \end{cases} \quad (7)$$

Functions  $u$  and  $v$  are so chosen that the deterministic parts of the equation system (5) in the new variables  $\bar{A}, \bar{\Psi}$  should not contain vibrating terms. Therefore, the new variables after the change (6) have to verify the new equations:

$$\begin{cases} d\bar{A} = \varepsilon C(\bar{A})dt + \sqrt{\varepsilon} B(\bar{A}, \bar{\Psi})dB_t \\ d\bar{\Psi} = \varepsilon D(\bar{A})dt + \sqrt{\varepsilon} E(\bar{A}, \bar{\Psi})dB_t \end{cases} \quad (8)$$

where  $C, B, D, E$  are to be found as series such as in (9):

$$C(\bar{A}) = C_1(\bar{A}) + \varepsilon C_2(\bar{A}) + \varepsilon^2 C_3(\bar{A}) + \dots \quad (9)$$

$$D(\bar{A}) = D_1(\bar{A}) + \varepsilon D_2(\bar{A}) + \varepsilon^2 D_3(\bar{A}) + \dots$$

$$B(\bar{A}, \bar{\Psi}) = B_1(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon B_2(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon^2 B_3(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \dots$$

$$E(\bar{A}, \bar{\Psi}) = E_1(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon E_2(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \varepsilon^2 E_3(\bar{A}, \bar{\Psi}) + \dots$$

The problem is solved when the coefficients  $u_n(\bar{A}, \bar{\Psi}), v_n(\bar{A}, \bar{\Psi}), C_n(\bar{A}), D_n(\bar{A}), B_n(\bar{A}, \bar{\Psi}), E_n(\bar{A}, \bar{\Psi})$  where  $n=1,2,\dots$ , are known.

An example of equation (1) is the equation describing the motion of a pendulum with small random disturbances in its environment.

$$x''(t) + (1 + \sqrt{\varepsilon} W_t)x = 0, \text{ with } x(0) \text{ and } x'(0) \text{ given, } \varepsilon \in R_+^*.$$

The stochastic system is

$$\begin{cases} dx = \dot{x}dt \\ d\dot{x} = (-x)dt - \sqrt{\varepsilon} x dB_t \end{cases}$$

$x(t)$  solves the stochastic Volterra equation of the form:

$$x(t) = x(0) + x'(0) \cdot t + \int_0^t a(t,s)x(s)ds + \int_0^t b(t,s)x(s)dB_s \text{ where } a(t,s) = s - t, b(t,s) = \varepsilon(s - t)$$

## References

1. R. Voinea, F. Stroie, *Introducere în teoria sistemelor dinamice*, Ed. Academiei, București, 2000.
2. E. Deciu, M. Bugaru, C. Dragomirescu, *Vibrații neliniare cu aplicații în ingineria mecanică*, Ed. Academiei, București, 2002.

---

\* Lect.dr Gabriel NEPOTU "Transilvania" University of Brasov

## OPTIMIZING QUERIES

Maria-Carmen PĂNGĂLEANU \*

### **Abstract:**

*The performance of applications depends on the database's design and the queries written for it. This paper describes goals for tuning, how to identify high-resource SQL statements, explains what should be collected, and provides tuning suggestions.*

*The tuning of SQL statements is very important for the database system performance tuning. SQL tuning involves three basic steps:*

*-Identifying high load or top SQL statements that are responsible for a large share of the application workload and system resources, by reviewing past SQL execution history available in the system.*

*-Verifying that the execution plans produced by the query optimizer for these statements perform reasonably.*

*-Implementing corrective actions to generate better execution plans for poorly performing SQL statements.*

*These three steps are repeated until the system performance reaches a satisfactory level or no more statements can be tuned.*

*This paper is a study case which provides information for understanding and managing SQL statements to optimal performance and contents examples with performing SQL statements.*

### **1. Goals for Tuning**

The objective of tuning a system is either to reduce the response time for end users of the system, or to reduce the resources used to process the same work. These objectives can accomplish both of these objectives in several ways: reduce, balance or parallelize the workload.

#### ***Reduce the Workload***

SQL tuning involves finding more efficient ways to process the same workload. It is possible to change the execution plan of the statement without altering the functionality to reduce the resource consumption. If a commonly executed query needs to access a small percentage of data in the table, then it can be executed more efficiently by using an index. If a user is looking at the first twenty rows of the 10,000 rows returned in a specific sort order, and if the query (and sort order) can be satisfied by an index, then the user does not need to access and sort the 10,000 rows to see the first 20 rows.

### ***Balance the Workload***

Systems often tend to have peak usage in the daytime when real users are connected to the system and low usage in the nighttime. If noncritical reports and batch jobs can be scheduled to run in the nighttime and their concurrency during day time reduced, then it frees up resources for the more critical programs in the day.

### ***Parallelize the Workload***

Queries that access large amounts of data (typical data warehouse queries) often can be parallelized. This is extremely useful for reducing the response time in low concurrency data warehouse. However, for OLTP environments, which tend to be high concurrency, this can adversely, impact other users by increasing the overall resource usage of the program.

## **2. Developing Efficient SQL Statements**

SQL statements can be improved efficiency by verifying optimizer statistics, reviewing the execution plan, restructuring the SQL statements, restructuring the indexes, modifying or disabling triggers and constraints, restructuring the data, maintaining execution plans over time, visiting data as few times as possible.

### ***Verifying Optimizer Statistics***

The query optimizer uses statistics gathered on tables and indexes when determining the optimal execution plan. If these statistics have not been gathered, or if the statistics are no longer representative of the data stored within the database, then the optimizer does not have sufficient information to generate the best plan.

In a database application system, it is well to check: if the process to gather statistics is true for all tables and if the optimizer statistics in the data dictionary are no longer representative of the data in the tables and indexes, then gather new statistics.

### ***Reviewing the Execution Plan***

When writing a SQL statement in an OLTP environment, the goal is to drive from the table that has the most selective filter. This means that there are fewer rows passed to the next step. If the next step is a join, then this means that fewer rows are joined.

When examining the optimizer execution plan for a SQL statement (that will be executed frequently), should be look for the following:

- The plan is such that the driving table has the best filter.
- The join order in each step means that the fewest number of rows are being returned to the next step
- The join method is appropriate for the number of rows being returned. Nested loop joins through indexes may not be optimal when many rows are being returned.
- Views are used efficiently.
- There are any unintentional Cartesian products (even with small tables).
- Each table is being accessed efficiently: consider the predicates in the SQL statement and the number of rows in the table, look for suspicious activity such as a full table scans on tables with large number of rows which have predicates in the where clause, determine why an index is not used for such a selective predicate. A full table scan does not mean inefficiency. It might be more efficient to perform a full table scan on a small table, or to perform a full table scan to leverage a better join method (for example, hash join) for the number of rows returned. If any of these conditions are not optimal, then consider restructuring the SQL statement or the indexes available on the tables.

### ***Restructuring the SQL Statements***

Often, rewriting an inefficient SQL statement is easier than modifying it. To write a new statement that meets the requirement, take in consideration next conditions:

### ***Compose Predicates Using AND and =***

To improve SQL efficiency, use equijoins whenever possible. Statements that perform equijoins on untransformed column values are the easiest to tune.

Avoid Transformed Columns in the WHERE Clause

Use untransformed column values. For example, use:

```
WHERE a.order_no = b.order_no
```

Rather than:

```
WHERE TO_NUMBER (SUBSTR (a.order_no, INSTR (b.order_no, '.') - 1))
= TO_NUMBER (SUBSTR (a.order_no, INSTR (b.order_no, '.') - 1))
```

Do not use SQL functions in predicate clauses or WHERE clauses. Any expression using a column, such as a function having the column as its argument, causes the optimizer to ignore the possibility of using an index on that column, even a unique index, unless there is a function-based index defined that can be used. Avoid mixed-mode expressions, and beware of implicit type conversions.

Avoid the following kinds of complex expressions:

- col1 = NVL (:b1,col1)
- NVL (col1,-999) = ....
- TO\_DATE(), TO\_NUMBER(), and so on

These expressions prevent the optimizer from assigning valid cardinality or selectivity estimates and can in turn affect the overall plan and the join method. Add the predicate versus using NVL() technique. The SQL functions doesn't used on the columns on which have an index. For example:

```
SELECT employee_num, full_name Name, employee_id
FROM mtl_employees_current_view
WHERE (employee_num=NVL (:b1,employee_num))AND (organization_id=:1)
ORDER BY employee_num;
```

Also:

```
SELECT employee_num, full_name Name, employee_id
FROM mtl_employees_current_view
WHERE (employee_num = :b1) AND (organization_id=:1)
ORDER BY employee_num;
```

Write Separate SQL Statements for Specific Tasks

SQL is not a procedural language. To accomplish different things with SQL, then write various statements, rather than writing one statement to do different things depending on the parameters you give it. It is always better to write separate SQL statements for different tasks, but if you must use one SQL statement, then you can make a very complex statement slightly less complex by using the UNION ALL operator.

Optimization (determining the execution plan) takes place before the database knows what values will be substituted into the query. An execution plan cannot, therefore, depend on what those values are. For example:

```
SELECT info FROM tables
WHERE ...
AND somecolumn BETWEEN DECODE (:loval, 'ALL', somecolumn, :loval)
AND DECODE (:hival, 'ALL', somecolumn, :hival);
```

Written as shown, the database cannot use an index on the somecolumn column, because the expression involving that column uses the same column on both sides of the BETWEEN.

To use the index whenever real values are given for :loval and, then can rewrite the example in the following logically equivalent form:

```
SELECT /* change this half of UNION ALL if other half changes */ info
FROM tables WHERE ...
AND somecolumn BETWEEN :loval AND :hival
AND (:hival != 'ALL' AND :loval != 'ALL')
UNION ALL
SELECT /* Change this half of UNION ALL if other half changes*/ info
FROM tables WHERE ...
```

```
AND (:hival = 'ALL' OR :loval = 'ALL');
```

If you run EXPLAIN PLAN on the new query, then you seem to get both a desirable and an undesirable execution plan. However, the first condition the database evaluates for either half of the UNION ALL is the combined condition on whether: hival and: loval are ALL. The database evaluates this condition before actually getting any rows from the execution plan for that part of the query. When the condition comes back false for one part of the UNION ALL query, that part is not evaluated further. Only the part of the execution plan that is optimum for the values provided is actually carried out. Because the final conditions on :hival and :loval are guaranteed to be mutually exclusive, only one half of the UNION ALL actually returns rows.

#### Use of EXISTS versus IN for Subqueries

In certain circumstances, it is better to use IN rather than EXISTS. In general, if the selective predicate is in the subquery, then use IN. If the selective predicate is in the parent query, then use EXISTS.

Sometimes, can rewrite a subquery when used with an IN clause to take advantage of selectivity specified in the subquery. This is most beneficial when the most selective filter appears in the subquery and there are indexes on the join columns. Conversely, using EXISTS is beneficial when the most selective filter is in the parent query. This allows the selective predicates in the parent query to be applied before filtering the rows against the EXISTS criteria.

The next examples are two examples that demonstrate the benefits of IN and EXISTS. Both examples use the same schema with the following characteristics: there is a unique index on the employees.employee\_id field, on the orders.customer\_id field, on the employees.department\_id field and the employees table has 27,000 rows.

*Example 1: Using IN - Selective Filters in the Subquery* This example demonstrates how rewriting a query to use IN can improve performance. This query identifies all employees who have placed orders on behalf of customer 144.

```
SELECT /* EXISTS example */
  e.employee_id, e.first_name, e.last_name, e.salary
FROM employees e
WHERE EXISTS (SELECT 1 FROM orders o /* Note 1 */
  WHERE e.employee_id = o.sales_rep_id /* Note 2 */
  AND o.customer_id = 144); /* Note 3 */
```

The following plan output is the execution plan (from V\$SQL\_PLAN) for the preceding statement. The plan requires a full table scan of the employees table, returning many rows. Each of these rows is then filtered against the orders table (through an index).

```
ID OPERATION OPTIONS OBJECT_NAME OPT COST
```

```
-----
0 SELECT STATEMENT s1
1 FILTER
2 TABLE ACCESS FULL EMPLOYEES JOHN 155
3 TABLE ACCESS BY INDEX ROWID ORDERS JOHN 3
4 INDEX RANGE SCAN ORD_CUSTOMER_IX JOHN 1
```

Rewriting the statement using IN results in significantly fewer resources used.

```
SELECT /* IN example */
  e.employee_id, e.first_name, e.last_name, e.salary
FROM employees e
WHERE e.employee_id IN (SELECT o.sales_rep_id /* Note 4 */
  FROM orders o
  WHERE o.customer_id = 144); /* Note 3 */
```

The following plan output is the execution plan (from V\$SQL\_PLAN) for the preceding statement. The optimizer rewrites the subquery into a view, which is then joined through a unique index to the employees table. This results in a significantly better plan, because the view (that is, subquery) has a selective predicate, thus returning only a few employee\_ids.

```

ID OPERATION OPTIONS OBJECT_NAME OPT COST
-----
0 SELECT STATEMENT s2
1 NESTED LOOPS 5
2 VIEW 3
3 SORT UNIQUE 3
4 TABLE ACCESS FULL ORDERS JOHN 1
5 TABLE ACCESS BY INDEX ROWID EMPLOYEES JOHN 1
6 INDEX UNIQUE SCAN EMP_EMP_ID_PK JOHN

```

*Example 2: Using EXISTS - Selective Predicate in the Parent* This example demonstrates how rewriting a query to use EXISTS can improve performance. This query identifies all employees from department 80 who are sales reps who have placed orders.

The following SQL statement uses IN:

```

SELECT e.employee_id, e.first_name, e.last_name, e.department_id,
e.salary FROM employees e
WHERE e.department_id = 80 /* Note 5 */
AND e.job_id = 'SA_REP' /* Note 6 */
AND e.employee_id IN (SELECT o.sales_rep_id FROM orders o)/*Note 4 */

```

The following plan output is the execution plan (from V\$SQL\_PLAN) for the preceding statement. The SQL statement was rewritten by the optimizer to use a view on the orders table, which requires sorting the data to return all unique employee\_ids existing in the orders table. Because there is no predicate, many employee\_ids are returned. The large list of resulting employee\_ids are then used to access the employees table through the unique index.

```

ID OPERATION OPTIONS OBJECT_NAME OPT COST
-----
0 SELECT STATEMENT S3
1 NESTED LOOPS 125
2 VIEW 116
3 SORT UNIQUE 116
4 TABLE ACCESS FULL ORDERS ANA 40
5 TABLE ACCESS BY INDEX ROWID EMPLOYEES ANA 1
6 INDEX UNIQUE SCAN EMP_EMP_ID_PK ANA

```

The following SQL statement uses EXISTS:

```

SELECT e.employee_id, e.first_name, e.last_name, e.salary
FROM employees e
WHERE e.department_id = 80 /* Note 5 */
AND e.job_id = 'SA_REP' /* Note 6 */
AND EXISTS (SELECT 1 /* Note 1 */
FROM orders o
WHERE e.employee_id = o.sales_rep_id); /* Note 2 */

```

The following plan output is the execution plan (from V\$SQL\_PLAN) for the preceding statement. The cost of the plan is reduced by rewriting the SQL statement to use an EXISTS. This plan is more effective, because two indexes are used to satisfy the predicates in the parent query, thus returning only a few employee\_ids

```

ID OPERATION OPTIONS OBJECT_NAME OPT COST
-----
0 SELECT STATEMENT S4
1 FILTER
2 TABLE ACCESS BY INDEX ROWID EMPLOYEES ANA 98
3 AND-EQUAL
4 INDEX RANGE SCAN EMP_JOB_IX ANA
5 INDEX RANGE SCAN EMP_DEPARTMENT_IX ANA
6 INDEX RANGE SCAN ORD_SALES_REP_IX ANA 8

```

### ***Controlling the Access Path and Join Order with Hints***

The optimizer's choices can be influence by setting the optimizer approach and goal, and by gathering representative statistics for the query optimizer. Sometimes, the application designer, who has more information about a particular application's data than is available to



the optimizer, can choose a more effective way to execute a SQL statement. You can use hints in SQL statements to specify how the statement should be executed.

Hints, such as `/*+FULL */` control access paths. For example:

```
SELECT /*+ FULL(e) */ e.last_name FROM employees e
WHERE e.job_id = 'CLERK';
```

Join order can have a significant effect on performance. The main objective of SQL tuning is to avoid performing unnecessary work to access rows that do not affect the result. This leads to three general rules:

- Avoid a full-table scan if it is more efficient to get the required rows through an index.
- Avoid using an index that fetches 10,000 rows from the driving table if you could instead use another index that fetches 100 rows.
- Choose the join order so as to join fewer rows to tables later in the join order.

The following example shows how to tune join order effectively:

```
SELECT info FROM taba a, tabb b, tabc c
WHERE a.acol BETWEEN 100 AND 200
AND b.bcol BETWEEN 10000 AND 20000
AND c.ccol BETWEEN 10000 AND 20000
AND a.key1 = b.key1
AND a.key2 = c.key2;
```

### 1. Choose the driving table and the driving index (if any).

The first three conditions in the previous example are filter conditions applying to only a single table each. The last two conditions are join conditions. Filter conditions dominate the choice of driving table and index. In general, the driving table is the one containing the filter condition that eliminates the highest percentage of the table. Thus, because the range of 100 to 200 is narrow compared with the range of acol, but the ranges of 10000 and 20000 are relatively large, taba is the driving table, all else being equal. With nested loop joins, the joins all happen through the join indexes, the indexes on the primary or foreign keys used to connect that table to an earlier table in the join tree. Rarely do you use the indexes on the nonjoin conditions, except for the driving table. Thus, after taba is chosen as the driving table, use the indexes on b.key1 and c.key2 to drive into tabb and tabc, respectively.

### 2. Choose the best join order, driving to the best unused filters earliest.

The work of the following join can be reduced by first joining to the table with the best still-unused filter. Thus, if "bcol BETWEEN ..." is more restrictive (rejects a higher percentage of the rows seen) than "ccol BETWEEN ...", the last join can be made easier (with fewer rows) if tabb is joined before tabc.

### 3. You can use the ORDERED or STAR hint to force the join order.

Use Caution When Managing Views Be careful when joining views, when performing outer joins to views, and when reusing an existing view for a new purpose.

Use Caution When Joining Complex Views Joins to complex views are not recommended, particularly joins from one complex view to another. Often this result in the entire view being instantiated, and then the query is run against the view data.

Do Not Recycle Views Beware of writing a view for one purpose and then using it for other purposes to which it might be ill-suited. Querying from a view requires all tables from the view to be accessed for the data to be returned. Before reusing a view, determine whether all tables in the view need to be accessed to return the data. If not, then do not use the view. Instead, use the base table(s), or if necessary, define a new view. The goal is to refer to the minimum number of tables and views necessary to return the required data.

Use Caution When Unnesting Subqueries Subquery unnesting merges the body of the subquery into the body of the statement that contains it, allowing the optimizer to consider them together when evaluating access paths and joins.

*Use Caution When Performing Outer Joins to Views* In the case of an outer join to a multitable view, the query optimizer can drive from an outer join column, if an equality predicate is defined on it. An outer join *within* a view is problematic because the performance implications of the outer join are not visible.

*Store Intermediate Results* Intermediate, or staging, tables are quite common in relational database systems, because they temporarily store some intermediate results. In many applications they are useful, but Oracle requires additional resources to create them. Always consider whether the benefit they could bring is more than the cost to create them. Avoid staging tables when the information is not reused multiple times.

### ***Restructuring the Indexes***

Often, there is a beneficial impact on performance by restructuring indexes. This can involve the following:

- Remove nonselective indexes to speed the DML.
- Index performance-critical access paths.
- Consider reordering columns in existing concatenated indexes.
- Add columns to the index to improve selectivity.

Application developers sometimes think that performance will improve if they create more indexes. If a single programmer creates an appropriate index, then this might indeed improve the application's performance.

### ***Modifying or Disabling Triggers and Constraints***

Using triggers consumes system resources. If you use too many triggers, then you can find that performance is adversely affected and you might need to modify or disable them.

### ***Restructuring the Data***

After restructuring the indexes and the statement, you can consider restructuring the data.

- Introduce derived values. Avoid GROUP BY in response-critical code.
- Review data design. Change the design of system if it can improve performance.
- Consider partitioning, if appropriate.

### ***Maintaining Execution Plans Over Time***

It can maintain the existing execution plan of SQL statements over time either using stored statistics or stored SQL execution plans. Storing optimizer statistics for tables will apply to all SQL statements that refer to those tables. Storing an execution plan (that is, plan stability) maintains the plan for a single SQL statement. If both statistics and a stored plan are available for a SQL statement, then the optimizer uses the stored plan.

### ***Visiting Data as Few Times as Possible***

Applications should try to access each row only once. This reduces network traffic and reduces database load. Consider doing the following: combine multiples scans with CASE statements, use DML with RETURNING Clause and modify all the data needed in One Statement.

### ***Combine Multiples Scans with CASE Statements***

Often, it is necessary to calculate different aggregates on various sets of tables. Usually, this is done with multiple scans on the table, but it is easy to calculate all the aggregates with one single scan. Eliminating n-1 scans can greatly improve performance. Combining multiple scans into one scan can be done by moving the WHERE condition of each scan into a CASE statement, which filters the data for the aggregation. For each aggregation, there could be another column that retrieves the data.

The following example asks for the count of all employees who earn less than 2000, between 2000 and 4000, and more than 4000 each month. This can be done with three separate queries:

```
SELECT COUNT (*)
FROM employees
WHERE salary < 2000;
```

```

SELECT COUNT (*)
FROM employees
WHERE salary BETWEEN 2000 AND 4000;
SELECT COUNT (*)
FROM employees
WHERE salary>4000;

```

However, it is more efficient to run the entire query in a single statement. Each number is calculated as one column. The count uses a filter with the CASE statement to count only the rows where the condition is valid. For example:

```

SELECT COUNT (CASE WHEN salary < 2000
THEN 1 ELSE null END) count1,
COUNT (CASE WHEN salary BETWEEN 2001 AND 4000
THEN 1 ELSE null END) count2,
COUNT (CASE WHEN salary > 4000
THEN 1 ELSE null END) count3
FROM employees;

```

#### Use DML with RETURNING Clause

When appropriate, use INSERT, UPDATE, or DELETE... RETURNING to select and modify data with a single call. This technique improves performance by reducing the number of calls to the database.

#### Modify All the Data Needed in One Statement

When possible, use array processing. This means that an array of bind variable values is passed to Oracle for repeated execution. This is appropriate for iterative processes in which multiple rows of a set are subject to the same operation. For example:

```

BEGIN
FOR pos_rec IN (SELECT *
FROM order_positions
WHERE order_id = :id) LOOP
DELETE FROM order_positions
WHERE order_id = pos_rec.order_id AND
order_position = pos_rec.order_position;
END LOOP;
DELETE FROM orders
WHERE order_id = :id;
END;

```

### 3. Conclusions

These operations and information are tested in an application system based on Oracle Database which offers many tools and facilities which provides the management and optimization of SQL statements. Today, the performance for an integrated applications system is a priority.

#### **Bibliography**

1. [www.metalink.oracle.com](http://www.metalink.oracle.com)
2. Rebecca M. Riordan , Designing Effective Database Systems, 2005
3. Oracle Database , Performance Tuning Guide

---

\* Pângăleanu Maria - Carmen, PhD Student, Academy of Economic Studies Bucharest, carmen.pangaleanu@transgaz.ro

## DEZVOLTAREA SISTEMELOR INFORMATICE PORTUARE INTEGRATE – O NECESITATE STRINGENTĂ PENTRU CREȘTEREA PERFORMANTELOR PORTUARE

Dinu PASCALE \*  
Tulei FILIS\*\*

### *Abstract*

*This paper makes an analysis of present and future computer based port communication networks. It also justifies the need for this systems in port activity. They facilitate much more efficient information exchange between all port operators when compared to traditional systems.*

### **1. Modalități de realizare a schimbului de informații**

Dacă avem în vedere că peste 85 % din comerțul mondial se face pe calea apei este evident că porturile ca puncte nodale în lanțul de transport reprezintă factori majori de influență comercială. Numeroșii actori care participă la actul de comerț au nevoie din ce în ce mai acută de informații pertinente, corecte și imediate pentru a asigura fluența fluxurilor de transport.

Schimbul de informații și documente se face în prezent atât pe căi tradiționale (poștă, curierat, fax, telefon) cât și cu mijloacele moderne bazate pe calculatoare și rețele de comunicații, fie de tip local (VAN), fie dedicate, fie de tip universal cum este Internetul.

Deși noile metode de comunicații asigură suportul tehnic necesar schimbului rapid de informații situația în domeniul transporturilor, inclusiv cel naval, este departe de a fi soluționată în mod corespunzător.

Majoritatea agenților economici implicați în activitățile portuare și-au dezvoltat propriile sisteme informatice de întreprindere bazate pe o structură clasică a unui sistem de întreprindere, EAS – **Entreprise Application Suite**, (fig. 1) în care componentele financiar-contabilă și cele adiacente dețin o pondere cvasitotală, fără a acorda însă atenția necesară tocmai informatizării activităților principale legate de operarea navelor și circulația mărfurilor și, cu atât mai puțin, realizării unui schimb eficient de informații cu partenerii lor.

Încercările de utilizare a unor sisteme integrate s-au făcut inițial la nivelul unor asociații sau organizații care cuprindeau o anumită sferă de interes (de exemplu vămile, expeditorii, transportatorii).

Majoritatea acestora au întâmpinat serioase probleme în implementare legate de dificultățile tehnice (care în prezent au fost practic înlăturate), de conservatorismul angajaților și managementului, dificultățile de limbă, de necesitățile diversificate de informații etc.

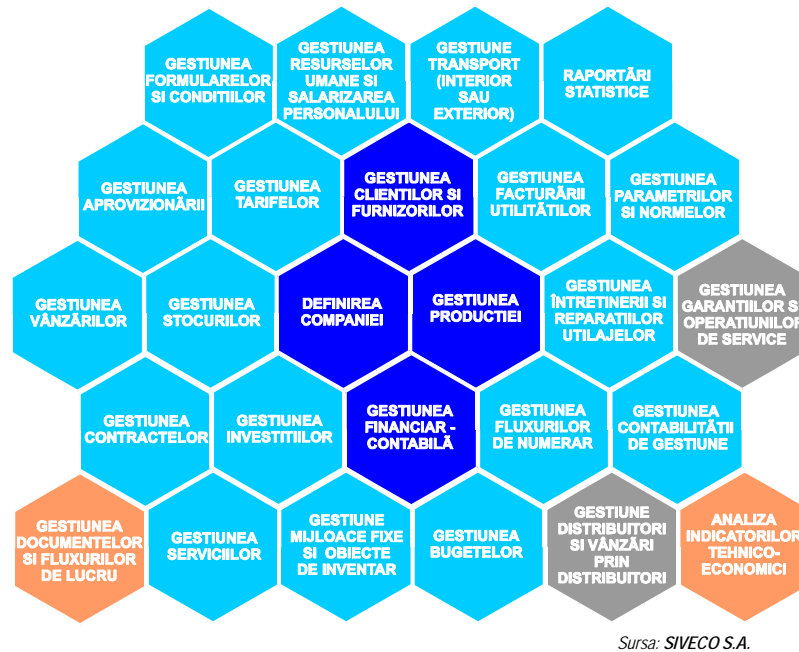


Fig. 1. Structura unui sistem informatizat de întreprindere

## 2. Sistemul informatic portuar.

Porturile au fost la rândul lor interesate de crearea unor sisteme informatizate unitare care să fluidizeze traficul de mărfuri prin port, ținând seama de partenerii implicați în activitățile portuare.

Un sistem portuar informatizat integrat pentru administrarea activităților portuare trebuie să asigure circulația informațiilor între toți operatorii economici implicați în această activitate și să realizeze următoarele funcții principale (fig. 2):

- planificarea și urmărirea activității navei în port;
- gestiunea fluxului de mărfuri prin port, inclusiv depozitarea lor;
- utilizarea resurselor la operarea navei.

El trebuie să asigure:

- previziunea sosirii și expedierii mărfurilor din port;
- optimizarea alocării resurselor portuare;
- îmbunătățirea (creșterea) productivității utilajelor portuare;
- cunoașterea operațiunilor în timp real;
- controlul prestațiilor furnizate navelor și mărfurilor
- asigurarea corectitudinii informațiilor pe lanțurile de transmitere a acestora;
- schimbul de informații între operatorii economici implicați în lanțul de transport.

Sistemul trebuie să permită informatizarea operațiunilor portuare prin **modularitate**. El trebuie să fie alcătuit din module (aplicații) distincte pentru fiecare subsistem funcțional cu asigurarea legăturilor informaționale între acestea astfel încât sistemul să poată fi personalizat

și dezvoltat cu ușurință în funcție de necesitățile funcționale ale portului în care acesta va fi aplicat.

Sistemul trebuie să fie constituit pe anumite subsisteme „*standard*” care trebuie să constituie nivelele de bază al sistemului.

În principiu subsistemele de bază ale unui sistem informatic portuar sunt:

- **NAVA** care grupează următoarele activități: gestiunea anunțurilor de sosire a navelor, planificarea și urmărirea deplasării navei în zona portuară (manevrele navei – sosire, intrare, ieșire, între dane etc.), evidența operațiunilor efectuate de navă înainte de începerea operațiunilor și cele de după terminarea acestora;
- **OPERARE** care cuprinde anunțul privind pregătirea navei pentru operare (notice of readiness), planificarea și urmărirea modului de operare a navei în port (istoricul navei, time sheet);
- **MĂRFURI** care grupează activitățile de sosire și primire sau livrare și expediere a mărfurilor și urmărirea fluxurilor de marfă prin port;
- **DEPOZITARE** care cuprinde activitățile de planificare și

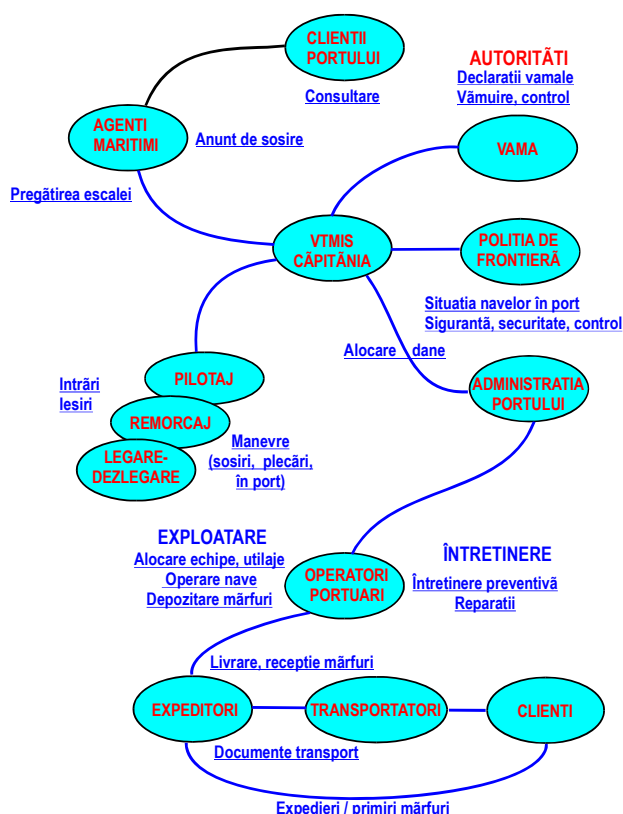


Fig. 2. Sisteme portuare informatizate integrate. Funcționalități

urmărire a mărfurilor (inclusiv containerelor) în spațiile de depozitare. Subsistemele adiționale ale sistemului informatic portuar sunt, în principal:

- **RESURSE UMANE și UTILAJE** care cuprinde activitățile de planificare și de urmărire a modului de utilizare a resurselor necesare pentru operarea navei dar și a celor necesare pentru mișcarea navelor în port (intrare, acostare, plecare etc.);
- **FACTURARE** care permite facturarea prestațiilor efectuate navei și mărfurilor.
- **STATISTICĂ PORTUARĂ** care asigură efectuarea tuturor statisticilor portuare privind indicatorii de performanță. Sistemul trebuie să conțină un set de indicatori de performanță de bază ce urmează a fi folosiți de către toți utilizatorii sistemului precum și un set cât mai extins de indicatori portuari de performanță suplimentari din care să poată fi aleși, de către fiecare utilizator interesat, indicatorii specifici analizei activităților proprii.

Între aceste subsisteme trebuie să existe corelații și interacțiuni (fig. 3):

Subsistemul **NAVA** trebuie să fie independent de celelalte subsisteme.

Subsistemul **OPERARE** necesită existența sistemului **NAVA**.

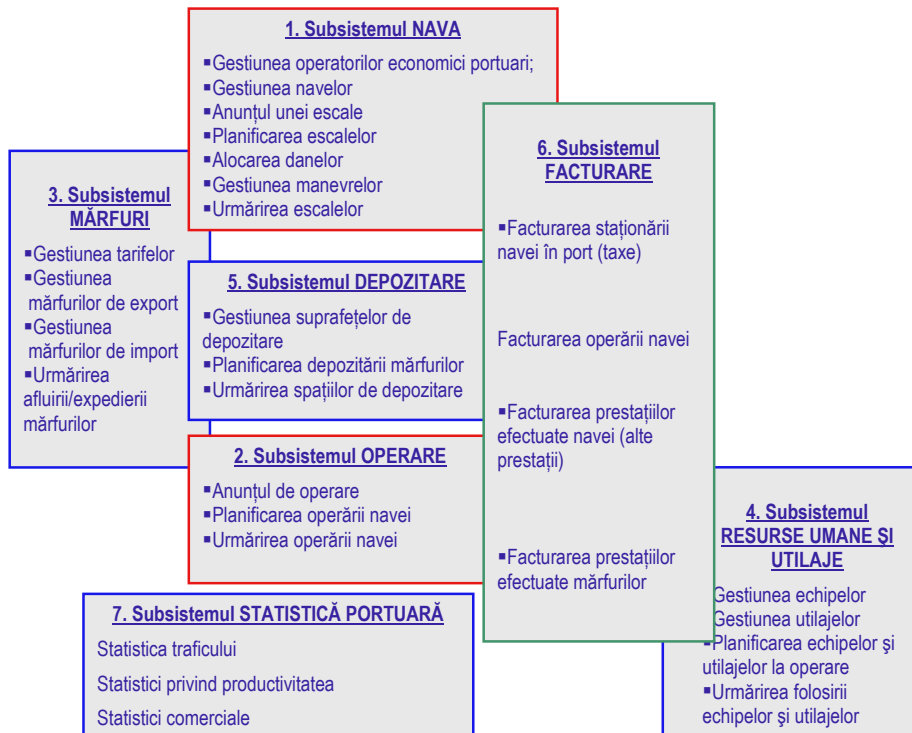
Aceste două subsisteme constituie *baza administrării activităților portuare*.

Subsistemul **RESURSE UMANE și UTILAJE** poate fi utilizat și de societăți din afara portului. Este un subsistem care depinde de subsistemele **NAVA** și **OPERARE** dar care este opțional.

Subsistemul **MĂRFURI** necesită un nivel de detaliu important pentru a gestiona corect urmărirea mărfurilor de import și export în port. Acest subsistem poate fi opțional iar implementarea sa necesită o integrare cu subsistemele **NAVA** și **OPERARE** pentru a garanta coerența datelor. Această cerință este indispensabilă pentru a putea trata în detaliu mărfurile manipulate, mai ales în cazul mărfurilor periculoase.

Subsistemul **DEPOZITARE** este legat de subsistemul **MĂRFURI** și are ca obiect principal urmărirea mărfurilor în spațiile de depozitare (magazii sau platforme).





**Fig. 3.** Interacțiuni în subsistemele informatizate portuare integrate

Subsistemele **FACTURARE** și **STATISTICĂ PORTUARĂ** sunt două subsisteme transversale, specifice fiecărui port ce permit tratarea tuturor operațiunilor legate de gestiunea subsistemelor **NAVA**; **OPERARE**; **MĂRFURI** și **DEPOZITARE**.

Există în prezent o serie de porturi europene unde asemenea sisteme informatice sunt implementate și se află în curs de dezvoltare cum ar fi Marsilia, Bremen, Anvers fără însă a putea afirma cu certitudine că ele sunt realmente funcționale în totalitate.

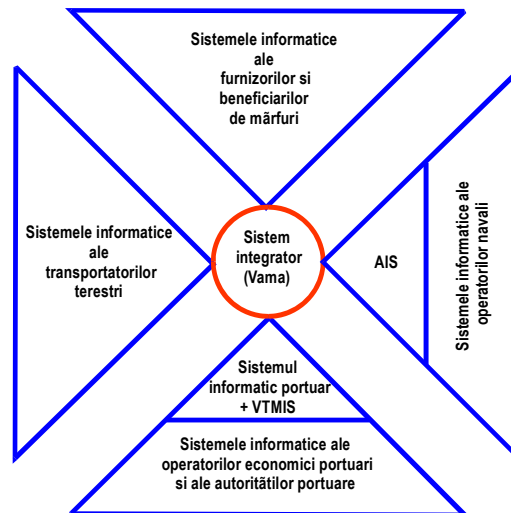
Considerăm că pentru a avea șanse de succes un asemenea sistem ar trebui dezvoltat în jurul unui centru de integrare care ar putea fi reprezentat, de exemplu, de sistemul informatic dezvoltat de Vamă (**Asicuda**) și aflat în curs de generalizare la nivel mondial.

Având în vedere că declararea mărfurilor în vamă este o cerință obligatorie în toate statele dezvoltarea unor conexiuni a sistemelor portuare cu sistemul vămii și prin acesta cu clienții porturilor poate fi cea mai facilă soluție de integrare. Ea presupune însă existența unor sisteme informatice dacă nu la nivelul porturilor, cel puțin la nivelul operatorilor economici implicați în activitățile portuare.

### 3. Integrarea sistemelor informatice

Nu se poate însă vorbi de o integrare completă a sistemelor informatice portuare decât dacă la aceasta participă și autoritățile portuare precum și ceilalți operatori economici implicați cum ar fi operatorii de transport terestru, operatorii de nave, agenții maritimi, furnizorii și beneficiarii mărfurilor tranzitate prin porturi etc. (fig. 4).

Integrarea sistemelor informatice portuare trebuie să includă și sistemele de control ale traficului portuar (**Vessel Traffic Management Information System**) care pot asigura legătura directă cu sistemele operatorilor navali prin intermediul sistemelor de identificare automată a navelor (**Automated Identification System**) care vor fi obligatorii pentru toate navele începând din anul 2008.



Soluțiile utilizate în prezent pentru integrarea acestor sisteme informatice sunt, în principal,:

1) Utilizarea unor mesaje nestandardizate prin intermediul poștei electronice (*E-mail*) din care clientul extrage informațiile și le introduce (sau nu) manual în propria bază de date. Această soluție corespunzătoare oarecum situației clasice de poștă reprezintă prima și cea mai facilă (dar și cea mai primitivă) formă de transmitere a informațiilor și se pretează acolo unde nu sunt încă implementate sisteme informatice sau acestea nu au facilități de schimb de informații cu exteriorul.

2) Crearea pentru fiecare client a unei baze de date de interfață actualizată on line sau periodic în mod automat de către sistem și din care clientul poate accesa datele care îl interesează sau poate extrage în propria sa bază de date informațiile necesare utilizării ulterioare; soluția este potrivită pentru sisteme cu un număr mic de clienți și asigură o securitate sporită prin posibilitatea de acces la fiecare bază numai a clientului cărui aceasta îi este destinată;

3) Crearea unei platforme de date extinse care să conțină întreg ansamblul de informații necesare tuturor clienților și de unde informațiile pot fi extrase pe baza unei parole ierarhizate specifică fiecărui client care are astfel acces numai la anumite informații. Soluția reprezintă de fapt o integrare a platformelor individuale specificate anterior, securitatea fiind asigurată de un sistem de parole cât mai performant (generarea aleatorie, criptarea informațiilor, schimbarea periodică a parolelor etc. cu ajutorul unui server sau a unui program de identificare unică a parolelor).

4) Schimbul de mesaje pe baza unor programe de comunicații specializate (ex. **XML** – **EX**tensible **M**arkup **L**anguage) cu standarde specifice sau nu de agregare a mesajelor/datelor (ex. **EDIFACT** – **E**lectronic **D**ata **I**nterchange **F**or **A**dministration, **C**ommerce and **T**ransport). Această soluție asigură independența bazelor de date ale furnizorului și clientului prin împachetarea datelor în formă de mesaj standardizat și preluarea/transmiterea datelor din mesaj atât în baza de date proprie cât și transmiterea lor fie direct în baza de date a clientului fie într-o bază de date intermediară de unde vor fi preluate

*Fig. 4. Integrarea sistemelor informatice ale operatorilor economici implicați în activitățile portuare*

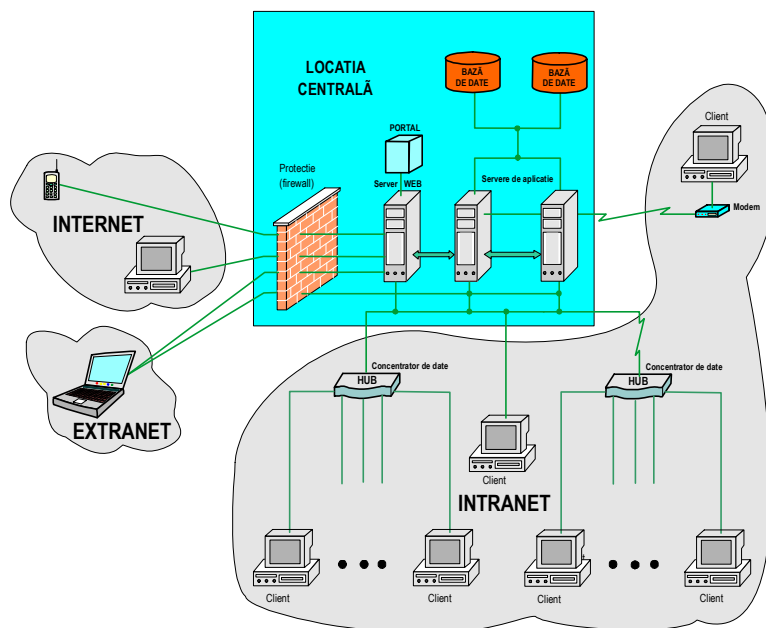


Fig. 5. Arhitectura tehnică a unui sistem informatic portuar integrat

de client.

În ceea ce privește arhitectura tehnică, soluția actuală adoptată de sistemele mari care includ un număr important de calculatoare legate în rețea (de regulă peste 50) se bazează pe arhitecturi tehnice (hardware și software) de tipul client/server, respectiv:

a) un **server** activ funcționând sub un sistem de operare specific (de ex.: UNIX, AIX etc) care asigură stocarea datelor într-o bază de date relațională de tip SQL și gestionează cererile venite din partea clienților pentru înregistrarea și livrarea informațiilor solicitate și un server de rezervă care să preia sarcinile serverului de bază în caz de incident hardware sau indisponibilității acestuia din diferite motive (revizii hard/soft, up-grade etc.);

b) stații de lucru (**clienți**) reprezentate de calculatoare de tip PC (Personal Computer) pe care se execută aplicațiile specifice inițiate de utilizatori și prin care se solicită serverului accesul la baza de date pentru înregistrarea sau citirea informațiilor (datelor) care sunt transpuse pe ecranul calculatorului într-o formă accesibilă și convenabilă utilizatorului.

Clienții pot fi legați într-o rețea internă organizației (**Intranet**), la rețeaua internațională de schimb de date (**Internet**) sau la o facilitate de comunicații exterioară de la care să aibă acces direct la serverul de date (**Extranet**). Bazele de date sunt de tip relațional bazate pe standardul SQL utilizând unul din sistemele consacrate de baze de date (Oracle, Sybase, Informix etc.).

Arhitectura unui asemenea sistem este asemănătoare cu ce a unui sistem dezvoltat pentru marile organizații (fig. 5)

#### 4. Tendințe în dezvoltarea sistemelor informatizate portuare

Tendințele de dezvoltare a sistemelor portuare informatizate trebuie să se înscrie în direcția celor două componente majore care alcătuiesc sistemul:

- **Activitatea portuară** care reprezintă **obiectul sistemului informatizat** trebuie să se înscrie în tendința porturilor de a deveni porturi de generația a III-a care implică portul ca un actor principal în lanțul de transport prin:

a) furnizarea de servicii conforme cu cerințele clienților asigurând reducerea la minim a timpilor neproductivi pentru nave și celelalte mijloace de transport cu avarii minime ale mărfurilor și eliminarea barierelor comerciale;

b) asigurarea unor servicii complete pentru întreaga comunitate comercială cu furnizarea de informații pertinente, eficiente și rapide atât pentru agenții economicii portuari cât și pentru partenerii lor din țară și străinătate;

c) asigurarea unei politici de marketing eficientă „orientată spre clienți” în cadrul căreia un sistem informatic eficient este o componentă esențială;

d) asigurarea unei flexibilități sporite în raport cu cerințele clienților și un răspuns rapid la necesitățile pieței.

- **Sistemul informatic propriu-zis** care reprezintă **suportul** pe care se dezvoltă subsistemele și aplicațiile informatice și care trebuie să țină pasul cu dezvoltarea produselor informatice, hardware și software bazate pe:

- o puternică interfață grafică;

- o rețea extinsă de comunicații de date.

O oportunitate care trebuie intens exploatată este utilizarea interfețelor grafice pe care o permit în prezent sistemele de calcul și care se va dezvolta și mai accentuat în viitor.

Comunicațiile de date sunt în prezent facilitate de existența Internetului care oferă oportunități excelente pentru asigurarea unui schimb de date internațional care este posibil pentru că el furnizează legături de comunicații virtuale între o multitudine de sisteme. Această caracteristică a Internetului de a permite legături globale între sisteme situate la mari distanțe și de a crea „rețele de rețele” asigură în fapt „compatibilitatea rețelei de comunicații de date”.

Porturile trebuie să profite de această facilitate și, odată creată „compatibilitatea rețelei”, următorul pas în asigurarea integrării va trebui să îl reprezinte achiziționarea / utilizarea unui „**standard compatibil**” care să faciliteze schimbul de date prin intermediul Internetului.

Sistemele conectate la Internet au nevoie de o cale sigură, consistentă, simplă și sistematică de transmitere a informațiilor, în special în situația când una sau mai multe din sistemele din rețea aparțin unor întreprinderi mici. Acestea au nevoie de un vocabular comun astfel încât pentru datele schimbate între diferite sisteme (întreprinderi) să se folosească același limbaj.

Limbajul actual comun pentru această transmisie este XML (EXtensible Markup Language) fiind un sistem nonproprietary, flexibil, de standarde pentru formatarea mesajelor astfel încât acestea să fie transmise printr-o rețea de comunicații (de ex. Internet) și care pot fi ușor interpretate de sisteme de calcul disparate.

XML nu este un înlocuitor al tehnologiei **EDI (Electronic Data Interchange)** ci o tehnologie complementară. **EDI** a fost și este folosit pentru transmiterea de date comerciale între marile companii; pe de altă parte atât **EDI** cât și **XML** vor putea fi utilizate împreună pentru transferul aceluiași date între diverse sisteme fiecare având avantajele și dezavantajele sale.

În funcție de necesitățile comerciale, în special cele dezvoltate ulterior de marile companii cu întreprinderile mici cele 2 sisteme pot fi utilizate împreună, mai ales de către acele companii care au investit deja în tehnologia **EDI**.

Una din principalele diferențe între **EDI** și **XML** este că **EDI** utilizează o structură predefinită foarte puternică și specializată a datelor care urmărește scopuri foarte precise și bine definite în timp ce **XML** are o flexibilitatea mult mai mare pentru dezvoltarea vocabularelor ce pot fi definite în funcție de necesități comerciale particulare (de exemplu pentru schimbul de date între 2 întreprinderi).

O altă diferență între EDI și XML este că acesta din urmă suportă și o serie de alte funcțiuni de manipulare a datelor cum ar fi gestiunea conținutului și un sistem foarte dezvoltat de căutare web. Pe de altă parte EDI a fost proiectat ca un sistem pentru rețele private în timp ce XML este dezvoltat pentru a utiliza în mod cât mai complet avantajele Internetului.

Unul din riscurile XML-ului este că definirea datelor și structura acestora pot fi alese liber de utilizator ceea ce face ca, în cazul în care o organizație își dezvoltă propriul său sistem utilizând definiții și structuri unice, nestandard, aceasta poate face extrem de dificil schimbul de date fiind necesare instrucțiuni auxiliare pentru a transla definirea și structura datelor de la un sistem la altul.

Pentru a elimina acest neajuns UNCEFACT (United Nations Centre for Trade Facilitation and Electronic Business) a lansat împreună cu OASIS (Organisation for Advancement of Structured Information Standard) inițiativa ebXML (electronic business XML) care și-a propus „furnizarea unei infrastructuri bazată pe XML care să poată asigura o folosire globală a informațiilor comerciale electronice într-o manieră interoperabilă, sigură și consistentă pentru toate părțile”. Scopul ebXML este de a facilita comerțul deschis între organizațiile comerciale de orice mărime prin folosirea XML într-o manieră consistentă pentru schimbul electronic de date comerciale.

## 5. Concluzii

În concluzie este evident că situația actuală care există, la nivelul transportului naval, o penurie de schimburi de informații pertinente între participanții la activitățile portuare, poate fi substanțial îmbunătățită prin dezvoltarea unor sisteme informatice integrate care, cel puțin din punct de vedere tehnic, este posibilă în condițiile actuale de dezvoltare tehnologică.

Oarecum ignorată în prezent, cel puțin în porturile maritime românești, tocmai din cauza penuriei de informații, planificarea activităților portuare, poate deveni o componentă majoră a utilizării corespunzătoare a tuturor disponibilităților și resurselor pe care le au porturile și poate contribui substanțial la creșterea performanțelor acestora.

### Bibliografie:

1. Robert Schware, Paul Kimberey - *Information technology and national trade facilitation*, World Bank technical paper number 316
2. Siveco S.A. – *materiale de prezentare a sistemelor informatice de întreprindere - EAS*
3. dbh Datenbank Bremische Häfen GmbH, *Bremen Harbour Telematics*, version 2.1., march 1995
4. ICI București, EDIPA – *Electronic data interchange between port administrations*, 2000
5. ICI București, *Sistem de monitorizare avansată a mobilității mijloacelor de transport și mărfurilor multimodal* – suport pentru realizarea societății naționale informaționale mobile – proiect, contract Amtrans 3C03/12.08.2002
6. \*\*\* *Port technology international*, anii 2003 – 2007
7. IAPH, *Ports and harbours*, anii 1999 – 2007
8. [www.ebxml.org/specs](http://www.ebxml.org/specs)

i

---

\* Pascale Dinu, Asistent universitar, APMC, incintă port, tel. 0724219122, e-mail: [dpascale@constantza-port.ro](mailto:dpascale@constantza-port.ro)

\*\*Tulei Filis, Preparator universitar, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, tel. 0730293633, e-mail: [fixe2005@gmail.com](mailto:fixe2005@gmail.com)

# Applications of extremal value theory to reliability. Size effect on strength of paper strips

Alexandrina Maria Proca\*

**Abstract.** Applications of extreme value theory to reliability studies, e.g. strength of materials, are provided. At the beginning, some aspects of reliability are described: the exponential model, the Weibull model in life testing. Next the extremal types theorem (the classical form) is presented.

**Key words:** domains of attraction, extreme value, max-stable.

**2000 MSC:** 60G70,60G52,60G99

## 1 Introduction

### 1.1 Some aspects of reliability

The problem of assuring and maintaining reliability has many facets, including original equipment design, control of quality during production, acceptance inspection, field trials, life testing, and design modifications. To complicate matters further, reliability competes directly or indirectly with a host of other engineering considerations, chiefly cost, complexity, size and weight and maintainability.

We define the reliability of a product as the probability that it will function within specified limits for at least a specified period of time under specified environmental conditions.

Many systems can be considered to be series or parallel systems, or a combination of both. A series system is one in which all components are interrelated in such a way, that the entire system will fail if any one of its components fails; a parallel system is one that will fail only if all of its components fail.

For a system of  $n$  components connected in series we have  $R_s = \prod_{i=1}^n R_i$ , where  $R_i$  is the reliability of the  $i$ -th component and  $R_s$  is the reliability of the series system.

For a system of  $n$  independent components connected in parallel, if  $F_i = 1 - R_i$  is the "unreliability" of the  $i$ -th component, we can again apply the special rule of multiplication for probabilities to obtain  $F_p = \prod_{i=1}^n F_i$  and  $R_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$ , where  $F_p$  is the unreliability of the parallel system, and  $R_p = 1 - F_p$  is the reliability of the parallel system.

---

\*Transilvania University of Braşov, Department of Mathematical Analysis and Probability, alexproca@unitbv.ro

The reliability function for the exponential model is  $R(t) = 1 - \int_0^t \alpha e^{-\alpha x} dx = e^{-\alpha t}$  and for a series system is

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n e^{-\alpha_i t} = e^{-t \sum_{i=1}^n \alpha_i},$$

where  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ , is failure rates. [3]

For a parallel system  $F_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\alpha_i t})$  and  $R_p(t) = \binom{n}{1} e^{-\alpha t} - \binom{n}{2} e^{-2\alpha t} + \dots + (-1)^{n-1} e^{-n\alpha t}$ .

The reliability function associated with the Weibull failure-time distribution is given by  $R(t) = e^{-\alpha t^\beta}$  ( $f(t) = \alpha \beta t^{\beta-1} e^{-\alpha t^\beta}, t > 0, \alpha > 0, \beta > 0$  is the Weibull distribution)[1].

## 1.2 Extremal properties of random sequences

**Theorem 1** (i) (*Extremal Types for Maxima*). Let  $M_n = \max_{1 \leq i \leq n} (\xi_i)$ , where  $\xi_i$  are independent identically distributed (i.i.d.) random variables. If for some constants  $\alpha_n > 0, \beta_n$ , we have  $P\{\alpha_n(m_n - \beta_n) \leq x\} \xrightarrow{w} G(x)$  for some nondegenerate  $G$ , then  $G$  is one of the three extremal types for maxima:

$$\begin{aligned} \text{Type 1: } G_1(x) &= \exp(-e^{-x}), -\infty < x < \infty \\ \text{Type 2: } G_2(x) &= \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \exp(-x^{-\alpha}), & \alpha > 0, x > 0 \end{cases} \\ \text{Type 3: } G_3(x) &= \begin{cases} \exp(-(-x^\alpha)), & \alpha > 0, x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \end{aligned}$$

(ii) *The max - stable distributions are those given in (i) above [2], [3].*

Consider a sequence  $\xi_i$  of i.i.d. random variables with the distributions function  $F(x) = P(\xi_i < x)$  and put  $M_n = \max_{1 \leq i \leq n} \xi_i$ . Assume that for some constants  $b_n > 0$  and  $a_n$

$$b_n(M_n - a_n) \xrightarrow{w} \zeta \tag{1}$$

as  $n \rightarrow \infty$  and let the distribution function  $G(x) = P(\zeta < x)$  of the random variable  $\zeta$  be nondegenerate.

If relation (1) holds we say that the distribution function  $F$  belongs to the domain of attraction of the law  $G$  and we write  $F \in D(G)$ .

As noted the minimum  $m_n = \min_{1 \leq i \leq n} \xi_i$  is simply given as  $m_n = -\max_{1 \leq i \leq n} (-\xi_i)$ , such that limiting results for minima can be obtained from those for maxima.

**Theorem 2** (i) (*Extremal Types for Minima*). Let  $m_n = \min_{1 \leq i \leq n} (\xi_i)$ , where  $\xi_i$  are i.i.d. random variables. If for some constants  $\alpha_n > 0, \beta_n$ , we have  $P\{\alpha_n(m_n - \beta_n) \leq x\} \xrightarrow{w} H(x)$  for some nondegenerate  $H$ , then  $H$  is one of the three extremal types for minima:

$$\begin{aligned} \text{Type 1: } H(x) &= 1 - \exp(-e^x), -\infty < x < \infty; \\ \text{Type 2: } H(x) &= \begin{cases} 1 - \exp\{-(-x^{-\alpha})\}, & \alpha > 0, x < 0, \\ 1, & x \geq 0; \end{cases} \\ \text{Type 3: } H(x) &= \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1 - \exp(-x^\alpha), & \alpha > 0, x \geq 0. \end{cases} \end{aligned}$$

(ii) *The min - stable distributions are those given in (i) above [2], [3].*



## 2 Applications of extreme value theory

Classical Extreme Values Theory - the asymptotic distributional theory for maxima of independent, identically distributed random variables - may be regarded as half a century old, even though its roots reach further back in to mathematical antiquity. Recent researches made by G.S.Watson, S.M. Berman, R.M. Loynes, H. Cramer, L. Haan, S. Resnick, M.R. Leadbetter, G. Lindgren, H. Rootzen, who were interested in extending the theory to include, first, dependent sequences and then continuous parameter stationary processes, and I. Matsak (who extended the theory for sequence of independent normal random functions belong to extending intervals, for Banach lattices).

The literature abounds with applications of the classical theory, and many of these are really dependent cases although assumed independent. More importantly, however, we feel that each potential application should be understood as well as possible in terms of its underlying physical principles so that extremal theory may be thoughtfully applied in the light of such principles, rather than by routine "trial and error" fitting.

Extreme value distributions have found widespread use for the description of strength of materials and mechanical structures, often in combination with stochastic models for the loads and forces acting on the material. Thus it is often assumed that the maximum of several loads follows one of the extreme value distributions for maxima. More important, and also less obvious, is that the strength of piece of material, such as a strip of paper or glass fibre, is sometimes determined by the strength of its weakest part, and then perhaps it follows one of the extreme value distributions for minima.

### 2.1 Characterizations of the extreme value distributions

Suppose that a piece of material, such as a glass fibre or an iron bar, is subject to tension, and that it breaks if the tension exceeds the inherent strength of the material.

Let  $\xi_L$  be the random strength of a piece of material  $L$  of length  $l$ , and suppose that the material can be divided, at least hypothetically, into smaller pieces,  $L_1, \dots, L_n$  of arbitrary lengths  $l_1, \dots, l_n$ , and with (random) strength  $\xi_{L_1}, \xi_{L_2}, \dots, \xi_{L_n}$ , respectively. We say that the material is stochastically:

- (i) brittle if  $\xi_L = \min(\xi_{L_1}, \dots, \xi_{L_n})$ ;
- (ii) homogeneous if the marginal distributions of  $\xi_{L_1}, \dots, \xi_{L_n}$  depend only on  $l_1, \dots, l_n$ ;
- (iii) disconnected if  $\xi_{L_1}, \dots, \xi_{L_n}$  are independent for all disjoint subdivisions  $L_1, \dots, L_n$  of  $L$ .

Suppose a material satisfies (i)–(iii) and let  $F_l(x)$  be the (non-degenerate) d.f.(distribution function) of the strength of a piece of length  $l$ . Then

$$1 - F_l(x) = (1 - F_{l/n}(x))^n. \quad (2)$$

Now, any d.f.  $F_l(x)$  satisfies (2) for some  $F_{l/n}(x)$ , e.g.  $F_{l/n}(x) = 1 - (1 - F_l(x))^{1/n}$ , such that in order to obtain a simple structure, we have to introduce one extra restriction on the material.

A material is called stochastically

- (iv) size-stable if the distribution of  $\xi_L$  is of the same type regardless of length  $l$ , i.e. there are constants  $a_l > 0, b_l$  and d.f.  $F_l(x) = F(a_l(x - b_l))$ .

For a size-stable material, write  $\alpha_n = a_{l/n}a_l^{-1}$ ,  $\beta_n = b_l - \alpha_n b_{l/n}$ ,  $F_{l/n}(x) = F_l(\alpha_n x + \beta_n)$ , so that, by (2),

$$1 - F_l(x) = (1 - F_l(\alpha_n x + \beta_n))^n. \quad (3)$$

Thus,  $F_l$ , is min-stable [2], and hence, by Theorem 2,  $F$  can be taken to have one of the three minimum extremal types.

Thus strength distributions for materials satisfying (i) – (iv) are one of the three minimum extremal types. If, furthermore, the scale of measurement is such that the measured strength  $\xi_L$  is bounded from below,  $\xi_L \geq x_0$ , for some  $x_0 \in (-\infty, \infty)$ , then the only possibility is for Type III (or Weibull) distribution, with location parameter  $x_0$ , and general scale parameter, i.e.

$$F(x) = 1 - \exp\{- (a(x - x_0))^\alpha\}, x \geq x_0,$$

for some constant  $\alpha > 0$ . Often  $x_0 = 0$  is a natural choice, expressing the fact strength can never be negative. However, even in cases when the strength must be positive, one may prefer to use one of the other types, the double exponential,

$$F(x) = 1 - \exp\{-e^{a(x-b)}\}, -\infty < x < \infty,$$

since if the location parameter  $b$  is large enough, the probability of a value below the *a priori* lower bound is negligible.

## 2.2 Size effect on strength of paper strips

A strip of paper will burst when it is subject to a tension which exceeds the strength at its weakest point. Here we discuss in the mean strength of paper strips (of constant width) of length varying from 8 cm up to 10 cm.

The next table gives location and scale parameters and the mean and standard deviation of strength as functions of the tested length  $l$  (expressed in terms of  $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$ ). For completeness, all three types of distributions are included in the table, even though the Type 2 d.f. is not commonly used as strength distribution.

Type 1	(double exponential, $F(x) = 1 - \exp(-e^x)$ ) $F_l(x) = F(a_l(x - b_l)) = 1 - \exp\left(-e^{a(x-b+a^{-1}\log l)}\right)$ $a_l = a$ $b_l = b - a^{-1} \log l$ $m_l = b - a^{-1}(\gamma + \log l)$ $\sigma_l = a^{-1}\pi/\sqrt{6}$
Type 2	( $F(x) = 1 - \exp(-(-x)^{-\alpha}), x < 0$ ) $F_l(x) = F(a_l(x - b_l)) = 1 - \exp(-l(-a(x - x_0))^{-\alpha}), x < x_0$ $a_l = al^{-1/\alpha}$ $b_l = b = x_0$ $m_l = x_0 - l^{1/\alpha}a^{-1}\Gamma(1 - 1/\alpha)$ (if $\alpha > 1$ ) $\sigma_l = l^{1/\alpha}a^{-1} \{\Gamma(1 - 2/\alpha) - \Gamma^2(1 - 1/\alpha)\}^{1/2}$ (if $\alpha > 2$ )
Type 3	(Weibull distribution, $F(x) = 1 - \exp(-x^\alpha), x > 0$ ) $F_l(x) = F(a_l(x - b_l)) = 1 - \exp(-l(a(x - x_0))^\alpha), x > x_0$ $a_l = al^{1/\alpha}$ $b_l = b = x_0$ $m_l = x_0 + l^{-1/\alpha}a^{-1}\Gamma(1 + 1/\alpha)$ $\sigma_l = l^{-1/\alpha}a^{-1} \{\Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha)\}^{1/2}$ . [2].

Two qualities of paper were tested and for one of the qualities three series of experiments were carried out, but no decisive conclusion can be drawn from these data regarding the best fitting distribution [2]

In a stochastically inhomogeneous material the strength distribution for a small piece of the material varies with its locations. However, if the conditions (i), (iii), and (iv) are satisfied, one can still obtain one of the extreme value distributions under mild conditions on the inhomogeneity. One simple kind of inhomogeneity is obtained by measuring the size of the material not as its physical dimension but in terms of an integral of a positive local size function, as described below.

Let  $\lambda(x)$ ,  $x \in L$  be a non-negative, integrable function, and define, for  $L_i \subset L$ ,

$$l_i = \int_{L_i} \lambda(x) dx. \quad (4)$$

Let  $L_i, i = \overline{1, n}$  be disjoint parts of  $L$ ,  $\bigcup_{i=1}^n L_i = L$ , and let, as before,  $\xi_{L_1}, \dots, \xi_{L_n}$  be the strengths of separate pieces.

The material is called stochastically

(ii') inhomogeneous with size function  $\lambda$ , if the marginal distribution of the  $\xi_{L_1}, \dots, \xi_{L_n}$  depend only on  $l_1, \dots, l_n$  as defined by (4).

Suppose that a material satisfies (i), (ii'), (iii), (iv), and let  $F_l(x)$  be the d.f. of the strength of piece  $L$  with

$$l = \int_L \lambda(x) dx.$$

Then it is readily seen that (2) and (3) still hold, so that  $F_l(x)$  is one of the three extremal types for minima and it is min-stable. Using  $a, b$  as the parameters in  $F_l(x)$ , we have in the Weibull and double exponential case  $F_l(x) = 1 - \exp\{-(a(x-x_0))^\alpha\}$ ,  $x > x_0$   $F_l(x) = 1 - \exp\{-e^{a(x-b)}\}$ , respectively.

Starting with the local size function  $\lambda(x)$ , one can simply derive closed-form expressions for the location and scale parameters in the strength distribution for a piece  $L$  of size  $l = \int_L \lambda(x) dx$ , which is  $F^{(L)}(x) = F_l(x) = F(a_l(x-b_l))$ , with  $a_l$  and  $b_l$  given in the previous table. In order to obtain these expressions, define the functions  $a(x), b(x)$  as  $a(x) = a\lambda^{1/\alpha}(x)$  (Weibull),  $b(x) = b - a^{-1} \log \lambda(x)$  (double exponential) and  $A(L) = \left(\int_L a(x)^\alpha dx\right)^{1/\alpha}$ ,  $B(L) = -a^{-1} \log \int_L e^{-ab(x)} dx$ .

Then we can write the d.f. for minimum strength  $\xi_L$  of a piece  $L$  as

$$\begin{aligned} F^{(L)}(x) &= 1 - \exp\{-(A(L)(x-x_0))^\alpha\}, \\ F^L(x) &= 1 - \exp\{-e^{a(x-B(L))}\}, \end{aligned}$$

respectively. These formulae motivate the use of  $a(x)^{-1}$  and  $b(x)$  as "local" scale and location functions in standard extremal models.

In both cases the average strength is given by

$$E(\xi_L) = \begin{cases} x_0 + A(L)^{-1} \Gamma(1 + 1/\alpha), \\ -a^{-1} \gamma + B(L). \end{cases}$$

## References

- [1] R. A. Johnson, *Probability and statistics for engineers*, Miller & Freund's, sixth edition, 2000, 546 - 554.
- [2] M.R. Leadbetter, G. Lindgren, H. Rootzen, *Extremes and related properties of random sequences and processes*, Springer, New York , 1983, 272 - 277.
- [3] A. M. Proca, *Applications to reliability*, 18<sup>th</sup> Scientific Session on Mathematics and its Applications, Braşov, April 2004, 139 - 142.
- [4] A. M. Proca, *Extremal properties of random sequences*, Buletinul Universităţii Transilvania, 2005, 69 - 74.
- [5] A. M. Proca, *Application of extremal value theory to strength of materials*, Scientific Session on Mathematics and its Applications, Braşov, May 2006, 109-114.

## GENERAREA FRACTALILOR DE TIP “PLASMA” ȘI AFIȘAREA ACESTORA ÎNTR-UN MEDIU 3D

Adrian-Gelu RADU\*  
Anca HARABAGIU\*\*

**Abstract:** *Terrain Generator based on Plasma Fractals [ TGPF ] is an interactive application to generate and view random fractal planets and terrain with oceans, mountains, icecaps and rivers, then export them to POV-Ray format or Blender. Written in C++ using Qt and OpenGL. This create a unique terrain texture for a height map. It does this by blending a set of base textures according to the slope or height in the height map. We can limit certain textures to certain heights or slopes, for example we can use a rocky texture.*

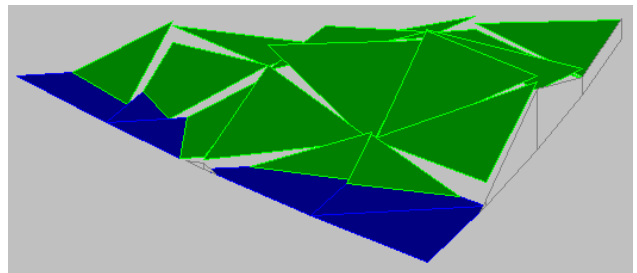
*As the ZornGL-Engine had it's own terrainrenderer, I decided to write about this tool that can automatically generate a single huge texture map for a terrain. Based on the height-values in a greyscale image (the heightmap) it generates a single texture with a given set of texture distributed depending on the height of the map at a certain point.*

*Over time the tool evolved and a lot of functionality was added, even upon user request as this tool seems to be widely used (even in some known projects). So the latest version has a nice new interface, can generate textures up to 4096×4096 pixels, renders (and if needed blurs) a lightmap depending on the sun-position and orientation and much more.*

**Key words:** *terrain texture, plasma fractals*

Modelarea reliefului, studiile de relief cu suprafețe înalte, și modelările prin metode numerice au devenit parte integrantă în hidrologie, tectonică, oceanografie, climatologie, evaluarea geohazardului.

Aplicațiile convenționale pentru modelări 3D ( 3D Studio MAX, Maya, Softimage, MultiGen, etc.) au suporturi sărace pentru modelarea reliefului. Deaceea, în practică se apelează la generatoare bazate pe conceptul de Fractali tip plasma.



### I. Fractali tip Plasmă

Fractalii tip plasma sunt probabil cei mai utilizați fractali. Spre deosebire de alți fractali, aceștia cuprind elemente întâmplătoare care sunt date de autosimilaritatea Browniană.

De exemplu, pentru a crea un fractal plasmă într-un plan rectangular, trebuie să se urmărească:

1. Alegerea unei valori întâmplătoare pentru colțurile dreptunghiului.
2. Calcularea valorii centrului prin luarea mediei colțurilor și adăugând un parametru de rugozitate preselectat.
3. Se calculează punctul de mijloc al suprafeței dreptunghice luând mediile a două valori vecine și adăugând numărul aleator multiplicat cu parametrul de rugozitate.
4. În fiecare dintre cele patru mici dreptunghiuri rezultate, se aplică pașii 2-4.

Fractalii plasmă urmăresc modelarea îndeaproape a naturii. Datorită acestui lucru, se pot utiliza în diferite aplicații. Astfel, folosind un atlas color standard și determinând înălțimile prin valorile punctelor se pot obține vederi tridimensionale foarte realiste. Aceste tipuri de priveliști fractal se utilizează curent în crearea de efecte speciale cinematografice (Star Trek, etc.). Utilizând alte culori se pot obține variante ale aceleiași imagini ce pot simula diferite situații.

Fig. 1



## II. Descrierea algoritmului Plasma-Fractals (Mid-Point Displacement algorithm)

Acest tip de program generează terenul utilizând o tehnică bazată pe subdivizare spațială. Aceasta are ca rezultat suprafețe care sunt similare, din punct de vedere al formei, suprafețelor terestre. Ideea care stă la baza acestei tehnici este destul de simplă. Să considerăm un pătrat în planul  $xOy$ . Urmând următorii trei pași:

- (1) împărțirea pătratului în alte patru pătrate de dimensiuni mai mici (un grid  $2 \times 2$ )
  - (2) perturbarea coordonatei  $Z$  după o valoare aleatoare pentru fiecare din cele 5 noi puncte
  - (3) repetarea procesului pentru fiecare pătrat nou generat
- definesc nucleul algoritmului fractalilor de acest tip.

Imaginea din fig. 2 clarifică modul în care, la un anumit pas, grila este împărțită. Grila inițială este definită de nodurile roșii. La prima iterație grila este segmentată, fiind inserate nodurile verzi. Dacă mai iterăm încă o dată grila va fi iarăși împărțită, apărând nodurile mov, ș.a.m.d. Se subînțelege că la fiecare iterație este executat, imediat după operația de segmentare (pasul 1) și operația de perturbare a punctelor pe coordonata  $Z$  după o valoare (numită *roughness*) care este împărțită în urma fiecărei iterații la parametrul *Roughness Factor*.

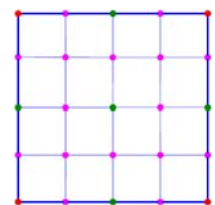


Fig. 2:

În figura 3 sunt exemplificați cei trei pași fundamentali, iar ultima figură reprezintă o grilă căreia i s-au aplicat 3 iterații. La 0 iterații avem o grilă de dimensiuni  $1 \times 1 = 1$ ; la 1 iterație  $2 \times 2 = 4$ ; la 2 iterații  $4 \times 4 = 16$ ; iar la 3 iterații  $8 \times 8 = 64$ . Se observă că grila crește brusc în dimensiuni pentru mai multe iterații. De aceea, în programul de față am restricționat intervalul pentru acest parametru, maximul fiind 10 (pentru grila inițială de dimensiuni  $1 \times 1$ ).

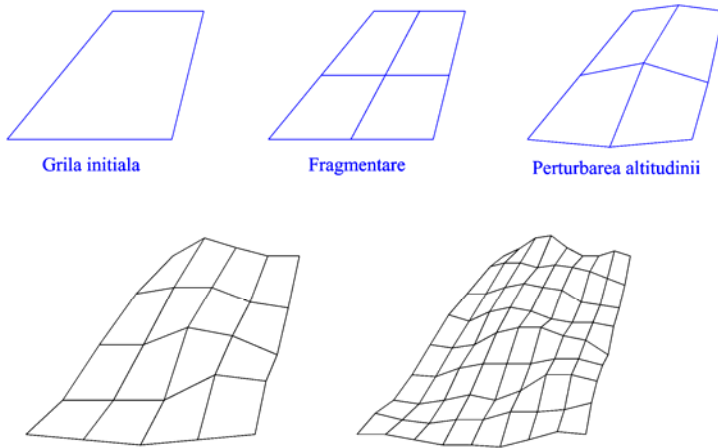


Fig. 3

dreaptă și de poziția față de aceasta (la stânga sau la dreapta).

### III. Terrain Generator based on Plasma Fractals [ TGPF ]

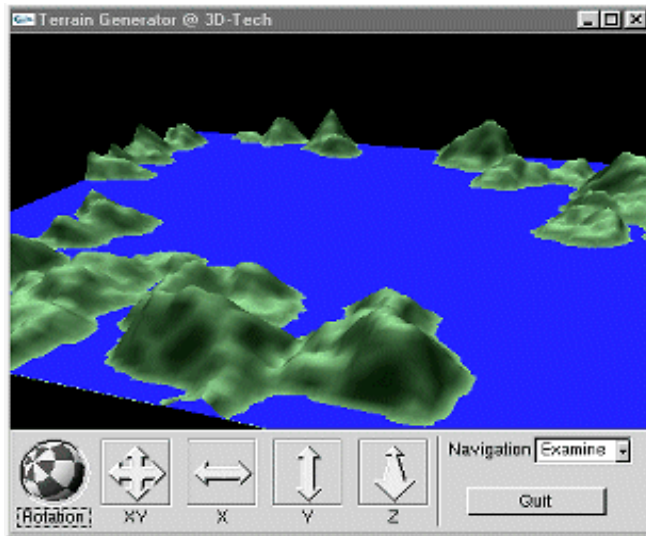


Fig. 4: TGPF

exportate în formate ca POV-Ray sau Blender.

#### Caracteristici:

- Terenul este generat în mod asemănător algoritmului Fractalilor de tip Plasmă
- Este permisă modificarea unei grile inițiale pentru a da un aspect general terenului
- Reprezentarea internă a terenului se face sub forma unei “matrici de pointeri dublu înlanțuită”
- Utilizatorul are control total asupra parametrilor de configurare
- Cele trei engine-uri 3D (ATG, AC, FR) permit modificarea grilei, ajustarea camerei și respectiv randarea finală a terenului
- Sunt implementate mai multe moduri de randare : Wireframe, Solid și Color Ramp, ultimul fiind disponibil numai în cadrul randării finale

Acest algoritm este unul din cele mai răspândite și mai utilizate pentru generarea de suprafețe de teren virtuale, datorită simplității implementării, precum și a rezultatelor deosebite. Se mai pot folosi și alte tipuri de algoritmi, dintre care menționez algoritmul Fault cu cele patru variații ale sale – dreapta, sinus, cosinus și cerc (desigur, mai pot fi descoperite și altele). Ideea de bază a acestui algoritm este că se alege o linie aleatoare, iar altitudinea punctelor este influențată de distanța față de

Terrain Tools reprezintă un kit software specializat pe modelări de hărți în relief și dezvoltări de câmpuri cartografice flexibile și ușor de folosit, incluzând funcții pentru a face releveuri, manipularea imaginii, modelarea digitală a terenului, divizări de amplasamente, desen, generări de vizualizări și rapoarte.

**Terrain Generator (TGPF)** (fig. 4) este scris în C# și C++ folosind Qt și OpenGL împreună cu .NET care îi asigură Windows Update. Această aplicație interactivă desenează și vizualizează planete și terenuri fractal cu oceane, munți, ghețari și râuri, care apoi pot fi



- Programul folosește posibilitățile OpenGL (Open Graphics Library) ale plăcii grafice

### Modul de funcționare

În rândurile următoare voi oferi o privire generală asupra modului de funcționare și implementării programului.

Pentru a putea genera terenul folosind algoritmul fractalilor este necesară crearea unei grile de puncte asupra căreia va fi aplicat ulterior algoritmul. Aspectul grilei poate fi modificat din mai multe puncte de vedere. În primul rând se poate ajusta numărul de linii și coloane ale acesteia apelând meniul : *Fractal Parameters / Detail & Aspect*. Va apărea o fereastră în care putem modifica numărul de linii și coloane ale grilei ce urmează a fi generată (prin modificarea parametrilor *Number of Rows*, *Number of Columns* se ajustează numărul de linii, respectiv coloane ale grilei). În figura 5 este desenată o grilă generată cu 3 linii și 4 coloane. Punctele roșii reprezintă "nodurile" grilei (dimensiunile minime sunt 1x1 – reprezentând un pătrat).

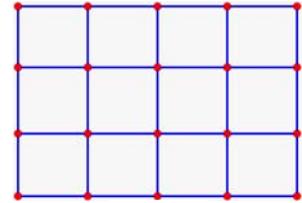


Fig. 5

În acest moment putem genera grila apăsând butonul *Generate New Terrain Grid*. Se observă că unele dintre butoanele care erau inactive inițial pot fi acum accesate. Apăsând butonul *Adjust Terrain Grid* este lansat engine-ul ATG care permite modificarea altitudinii diferitelor noduri ale grilei. Rezoluția se poate modifica apelând meniul *Rendering / Video Options* în care vom avea disponibile 3 rezoluții (640x480, 800x600 și 1024x768), precum și 2 adâncimi de culoare (16 biți și 32 biți). Pentru a modifica înălțimea anumitor puncte : se selectează punctele dorite (cu butonul stânga al mouse-ului, ținând eventual apăsată tastele *Ins/Del* pentru selectare/deselectare de puncte) și se modifică altitudinea ținând butonul al treilea al mouse-ului apăsat. De asemenea putem roti camera ținând apăsat butonul dreapta al mouse-ului. Pentru a executa zoom-in se folosește tasta A, și Z pentru zoom-out.

După ce suntem mulțumiți cu aspectul grilei, putem să ajustăm parametrii cu care va fi generat terenul. Aceștia sunt:

- *Seed Properties* : se accesează din meniul *Fractal Parameters / Seed Properties*. Este folosit pentru a inițializa modul de generare a valorilor aleatoare. Putem specifica un număr (Seed Number) sau putem spune calculatorului să-l inițializeze în funcție de ceasul intern al acestuia (bifând check-box-ul *Time Seed*). Aici avem două alternative: să inițializăm generatorul de valori aleatoare doar înaintea execuției algoritmului, sau înaintea fiecărei iterații a acestuia.
- *Initial Roughness Value* : se accesează din meniul *Fractal Parameters / Roughness*; aceasta este valoarea care influențează duritatea, asperitatea terenului generat (de fapt este amplitudinea maximă cu care poate fi modificată altitudinea unui nod).
- *Roughness Factor* : se accesează din meniul *Fractal Parameters / Roughness*; parametrul specifică valoarea la care este împărțită duritatea, procedura care se execută la fiecare iterație a algoritmului, din cauză că dimensiunea pătratelor se micșorează de 4 ori la fiecare iterație.
- *Number of Iterations* : se accesează din meniul *Fractal Parameters / Detail & Aspect*; indică numărul de iterații ( la fiecare iterație grila se fragmentează, devenind din ce în ce mai "fină").

Pentru a alege metoda de generare, acționăm butonul *Terrain Genesis* (fig. 6).

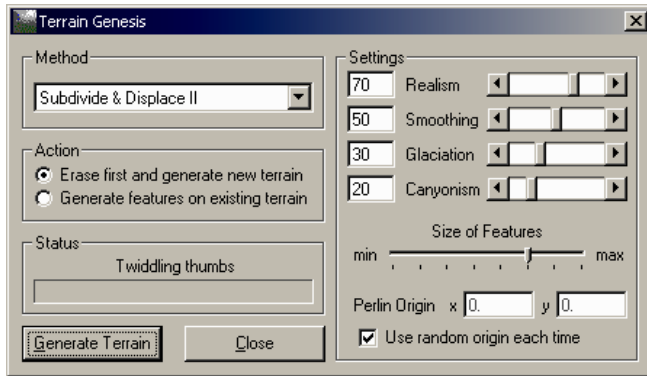


Fig. 6

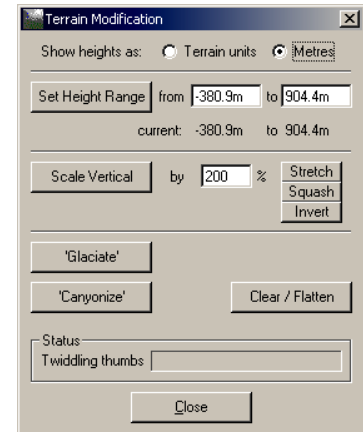


Fig. 7

În acest moment putem apăsa butonul *Generate Terrain*. Veți observa că în secțiunea *Processing* a ferestrei principale este afișat task-ul curent executat de calculator, precum și stadiul în care acesta se află.

După generarea terenului vor deveni disponibile următoarele butoane : *Terrain Modification* (fig.7), *Terrain Combination* (fig.8), *Adjust Camera*, *Smooth*, *Raise/Lower Terrain*, *Render*.

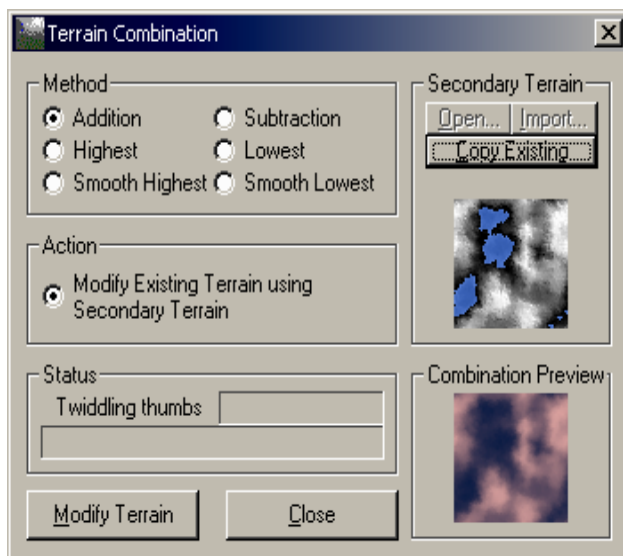


Fig. 7

- *Adjust Camera* : lansează engine-ul AC, care permite ajustarea unghiului și poziției camerei. Față de engine-ul ATG se mai pot folosi și tastele S și X pentru a modifica altitudinea camerei. Nu mai este posibilă modificarea grid-ului.
- *Smooth* : aplică un efect de smooth terenului, în cazul în care acesta este prea “aspru”.
- *Raise/Lower Terrain* : modifică altitudinea tuturor punctelor gridului relativ la poziția curentă a acestora.
- *RENDER* : randează imaginea la o calitate ridicată (utilizând engine-ul FR), iar față de engine-ul AC, are implementate și efecte speciale : reflexii, în cazul în care este randată

și apa, precum și efectul de ceață (*fog*).

În cazul realizării de peisaje, se apelează la meniul *Landscape* (fig.8) și *Landscape Settings*(fig.9).

Utilizând meniul *Rendering / Rendering Mode* putem configura engine-urile AC (quick rendering) și FR (final rendering). De asemenea putem randa terenul colorându-l după altitudine, cu ajutorul unei scări de culori editabile, care poate fi configurată din meniul *Height Scale / Color Ramp*; efectul de ceață poate fi configurat din meniul *Rendering / Fog Parameters* (cea mai realistă ceață se obține folosind modul *Linear*).

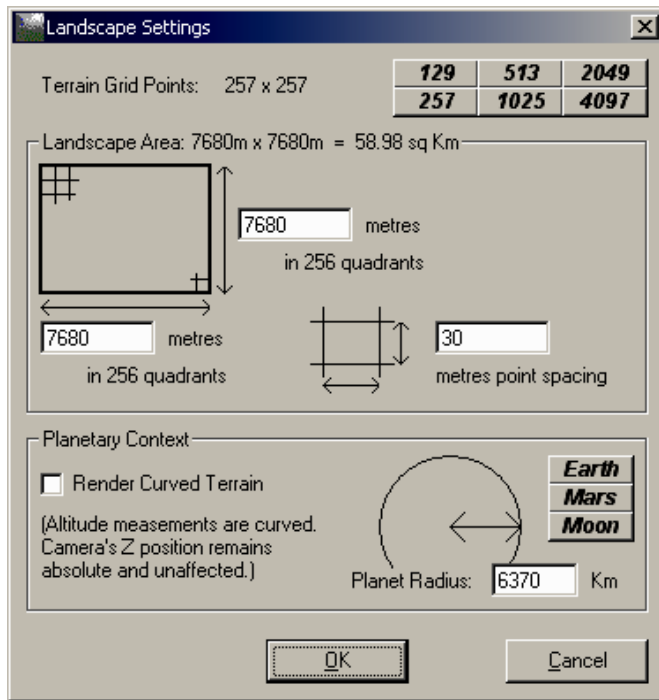


Fig. 9

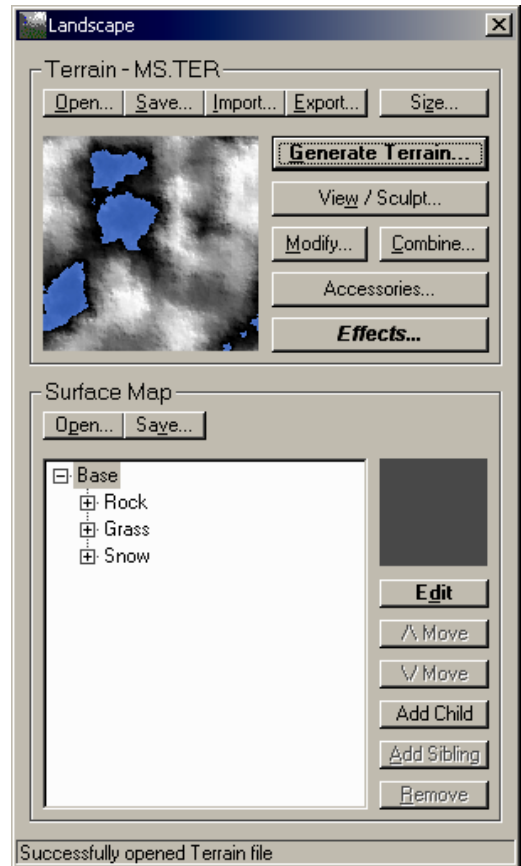


Fig. 8

În funcție de abilitățile estetice, îndemânare și experiență grafică, se pot obține imagini care pot avea un caracter realist profund (fig. 10, fig. 11, fig. 12)

Generarea modelului digital al terenului și simularea pe baza acestuia a unui model hidro-dinamic sau a cartografierii hărților de risc nu este tot ceea ce se poate obține prin TGPF. Însă, ne putem gândi la posibilitatea de a avea orașele țării modelate 3D sau la evaluarea riscurilor alunecărilor de teren, sau la proiectarea liniilor de înaltă tensiune sau a autostrăzilor pe baza modelului digital TGPF



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12

O altă aplicație de acest gen, dar mult mai simplă în utilizare, accesibilă unei categorii largi de utilizatori care doresc obținerea de simulări rapide de peisaje fără pretenții deosebite o constituie **TerrTexGen** (fig. 13 și fig.14)



Fig. 13

Fig. 14

Fișierele imagine obținute cu ajutorul generatoarelor de teren, așa cum am amintit anterior, pot fi exportate în formate ca POV-Ray sau Blender. Folosind aplicațiile POV-Ray sau Blender, prin modificarea unor parametri, se pot obține seturi de imagini care pot constitui cadre necesare realizării de simulări dinamice în filme de animație.

## Bibliografie

1. **Ackermann, F.**, 1999, *Airborne laser scanning- present status and future expectations*, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing nr.54, 1999.
2. **Radu, A.G., Târziu, H.** – *Anatomy of a Povray file for using Geomorph* . Conferința Internațională Nav-Mar-Edu 2007, Constanța 2007
3. **Radu, A.G., Harabagiu, A.** – *About the Apollonian Gasket or Curvilinear Sierpinsky Gasket*. Conferința Internațională Nav-Mar-Edu 2007, Constanța 2007



4. **Radu, A.G.** – *Modelare și simulare în 3D*. Universitatea Petrol și Gaze, Ploiești, 2006
5. <http://www.planetside.co.uk/terrigen/>
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/fractal/>
7. \*\*\***OEEPE-Workshop on Application of Digital Photogrammetric Workstations**, Lausane 4-6 Martie, 1996

---

\* **Adrian-Gelu Radu**, prof. inf.-fiz., Grup Școlar “Meserii și Servicii” Buzău, tel. 0722453007, e-mail: agerbit@yahoo.com

\*\* **Anca Harabagiu**, prof. drd. inf.-fiz., Inspectoratul Școlar Județean, Buzău, tel. 0721126577, e-mail: anca\_hara@yahoo.com

## RENDERIZAREA FRACTALILOR JULIA PRIN VIZUALIZAREA PROPRIETĂȚILOR 4D

Adrian-Gelu RADU\*  
Anca HARABAGIU\*\*

**Abstract:** *By using rules defined by quaternion algebra the Julia set can be extended to four dimensions. Techniques for visualizing the four dimensional Julia set as a three dimensional object has previously been explored, however those techniques usually ignores the fourth dimension. In this paper I describe my attempt to extend the already established technique of ray tracing Julia sets to fully incorporate its four dimensional properties. I also discuss an optimization algorithm that drastically increases the amount of details in images and shortens rendering time.*

*I have tried to describe the methods I use in detail in order to help people interested in fractals or computer graphics*

**Key words:** *Julia set, quaternion algebra*

În lumea în care trăim, sunt doar trei dimensiuni spațiale. Dar dacă acestea ar fi mai multe? Cum ar arăta lumea în 4 dimensiuni? Minte noastră nu este echipată să găsească răspunsuri la aceste întrebări. Mulți matematicieni și fizicieni obișnuiesc să gândească aceste aspecte în mod abstract și chiar să le vizualizeze.

O dată cu apariția geometriei fractalilor în 1980, matematicienii au prezentat câteva provocări prin grafică digitală. Lumea fractalilor creată de **B.Mandelbrot**, încerca să descrie familii de forme care erau descoperite prin studiul funcțiilor iterative pe PC. Un fractal poate fi definit ca un model geometric care se repetă la fiecare scară și nu poate fi reprezentat de geometria clasică.

Mandelbrot a investigat o mulțime de tipuri de fractali, fiecare creați prin randarea unor funcții sau prin crearea deterministă iterând funcții cu un număr infinit (în teorie).

În această lucrare voi aborda modul de vizualizare a “non random” fractalilor, cunoscuți ca **Quaternion Julia Set**.

### 1. Julia Set

Julia Set poate fi descris ca un set de numere care niciodată nu crește la infinit când se iterează funcția:

$$f(z) = z^2 + \mu \tag{1}$$

unde variabilele  $z$  și  $\mu$  sunt în mod uzual numere complexe, dar formula poate fi deasemenea aplicată quaternionilor. Alegând diferite valori pentru constanta  $\mu$ , pot fi generate diferite seturi.

Cel mai comun set Julia, cu numere complexe, poate fi atașat diagramelor bidimensionale impunând partea reală în lungul axei  $x$  și partea imaginară în lungul axei  $y$ . Forma ce apare este o imagine binecunoscută (fig.1) în special pentru tipul de fractali Mandelbrot.

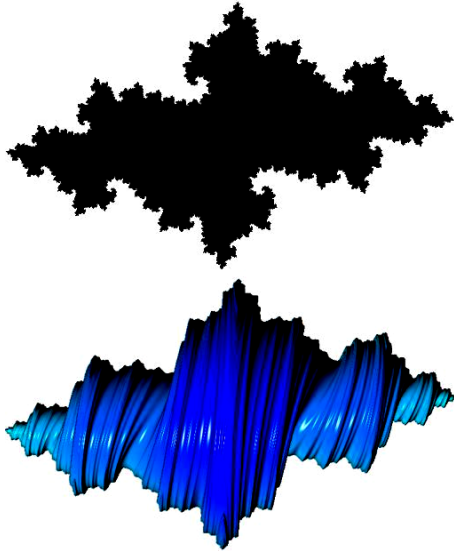


Fig. 1 – Standard 2D Julia care corespunde quaternionului Julia ( $\mu = -0,7 - 0,2i$ )

Utilizând quaternionii în loc de numere complexe, se poate obține un set de numere ce pot fi atașate în 4-dimensiuni. **A.Norton** a fost primul care a implementat aceasta, creind imagini prin reducerea unei dimensiuni, folosind astfel doar cele trei dimensiuni rămase. El a creat o metodă de a expune acest set prin calcularea numărului de puncte ale suprafeței setului și apoi expunându-le pe un monitor.

Adoptând metode de “ray-tracing” la renderizarea setului Julia, dezvoltatori ai metodei ca **Hast, Sandin, Kaufman** [4], prin tragerea razelor în set pentru crearea “camerei virtuale”, au reușit crearea mai rapidă a imaginilor decât prin metoda Norton.

Se poate încerca crearea unei camere virtuale în spațiul 4D astfel încât să poată fi mutată și rotită liber în orice direcție dintre cele patru, întrucât se speră să se captureze cât mai mult din setul Julia în 4D. Valoarea științifică a acestor imagini poate fi îndoielnică, dar acestea fascinează atenția. Oricum, dezvoltarea tehnicilor vizuale ajută cercetarea funcțiilor dinamice și iterative.

## 2. Quaternionii

Quaternionii au fost descriși pentru prima dată de **W.Hamilton** ca o extensie a numerelor complexe împerecheate câte două în perecheri câte patru. Aceștia au forma :

$$q = q_1 + q_2i + q_3j + q_4k \quad (2)$$

unde  $i, j, k$  sunt unități imaginare cu proprietățile speciale:

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1; \quad ij = -ji = k; \quad ki = -ik = j; \quad jk = -kj = i \quad (3)$$

Important de notat aici, faptul că multiplicarea quaternionilor nu este comutativă.

Aplicând acest set de reguli, formula Julia  $q^1 = q^2 + \mu$  poate fi calculată astfel :

$$q_1^1 = q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 - q_4^2 + \mu_1; \quad q_2^1 = 2q_1q_2 + \mu_2; \quad q_3^1 = 2q_1q_3 + \mu_3; \quad q_4^1 = 2q_1q_4 + \mu_4; \quad (4)$$

Imaginile renderizate ce vor fi discutate în continuare sunt derivate din funcția  $z_{n+1} = f(z) = z_n^2 + \mu$  unde  $z$  este variabila de intrare iar  $\mu$  o constantă. Rezultatul a  $n$  iterații este definit ca  $f^n(z)$  și nu poate fi confundat cu ridicarea rezultatului funcției  $f(z)$  la puterea  $n$ . Rezultatul valorii lui  $f^n(z)$  determină punctul inițial  $z_0$ , care este o particularitate a setului Julia:

$$J = \left\{ z : \lim_{n \rightarrow \infty} f^n(z) \neq \infty \right\} \quad (5)$$

Prin schimbarea diferitelor constante  $\mu$  se crează diferite seturi Julia.



### 3. Ray-tracing

Ray-tracingul este o metodă foarte realistă de renderizare a formelor geometrice. Efecte grafice ca umbre, reflexii și refracții pot fi ușor implementate. Cum tehnica este foarte lentă și aproape imposibil de a genera renderizări în timp real cu computerele actuale, de multe ori se renunță la o parte din rezoluție.

Având poziția camerei, se poate calcula proiecția virtuală în plan a punctelor intersectate de raze. În ray-tracingul normal cu forme Euclidiene, se poate rezolva o ecuație pentru fiecare rază și obiect. După rezolvarea ecuațiilor se determină punctele unde raza intră prin suprafața obiectului. La aceste puncte se pot calcula suprafețele normale care sunt folosite pentru iluminare și reflexii. Când se aplică ray-tracingul fractalilor Julia nu sunt metode finite care să determine exact punctele suprafață unde razele intersectează arbitrar setul. În timp ce se iterează de un număr finit de ori, se obține de fapt o suprafață aproximativă.

Găsirea punctului de intersecție prin scanarea spațiului 4D, testând fiecare punct de-a lungul razei reprezintă o caracteristică a setului Julia. Acest proces este mare consumator de timp-computer, deoarece fiecare punct se bazează pe un număr larg de funcții de iterație. Scanarea poate fi făcută la diferite rezoluții (*z-resolution*) cea mai ridicată rezoluție fiind a suprafeței finale, dar aceasta necesită un timp-computer apreciabil. Suprafețele setului Julia diferă foarte mult în funcție de constanta  $\mu$  și de adâncimea de iterare  $n$ .

### 4. Camera 4D

Pentru a fi posibilă randarea setului Julia pentru diferite unghiuri și poziții, trebuie definit modul de determinare a direcțiilor razelor. Soluția generală pentru aceasta este crearea unei camere virtuale. Aceasta este descrisă de doi vectori 4D, unul descriind punctul de origine și celălalt descriind punctul de sosire. Referirea la al patrulea element al vectorilor, este notată *elementul w*. Când razele create sunt îndreptate dinspre cameră, proiecția plană reprezintă imaginea produsă în fața camerei. Distanța de la cameră la planul de proiecție determină lărgimea câmpului de vedere.

Metodele folosite în mod normal în 3D-ray-tracing care conțin vectori 3D, pot fi aplicate direct când sunt folosiți vectori 4D. Încercând imaginarea a patru vectori toți perpendiculari unul pe celălalt nu este ușor, dar matematic este posibil:

$4Dcross : \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \times \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}^4$  unde  $q = 4Dcross(a, b, c)$  conduce la:

$$\begin{aligned} q_1 &= a_2(b_4c_3 - b_3c_4) + b_2(a_3c_4 - a_4c_3) + c_2(a_4b_3 - a_3b_4) \\ q_2 &= a_1(b_3c_4 - b_4c_3) + b_1(a_4c_3 - a_3c_4) + c_1(a_3b_4 - a_4b_3) \\ q_3 &= a_1(b_4c_2 - b_2c_4) + b_1(a_2c_4 - a_4c_2) + c_1(a_4b_2 - a_2b_4) \\ q_4 &= a_1(b_2c_3 - b_3c_2) + b_1(a_3c_2 - a_2c_3) + c_1(a_2b_3 - a_3b_2) \end{aligned} \quad (6)$$

Utilizând această funcție  $4Dcross$  este nevoie de mai mult de un vector, nu numai pe direcția camerei cât și ca "*up-vector*". Al treilea vector poate fi un vector care poate fi perpendicular pe planul imaginii, un "*limbo-vector*". Dacă acest limbo-vector este setat la  $(0,0,0,1)$  și elementul  $w$  în direcția camerei este zero, efectiv se coboară de la 4 dimensiuni și poate fi văzut același set 3D Julia ca Norton.

Schimbând altă limbo-direcție sau punct, camera în direcția  $w \neq 0$ , razele vor călători în 4 dimensiuni. O analogie poate fi dacă alegem a patra dimensiune timpul și setul Julia modificat în timp. Razele trimise de cameră în ray-tracingul normal sunt "raze reale", astfel încât pornesc din punctul cameră și extinzându-se la infinit în câteva direcții.

Medierea efectului de plan îndepărtat face ca acesta să fie difuz. Distanța trebuie aleasă astfel încât razele să se oprească în interiorul setului Julia, încât acestea să pară retezate. Cum în mod obișnuit razele nu pornesc imediat din cameră, se poate implementa un plan apropiat astfel încât să înceapă testarea cu un bit în fața camerei. Alegând planuri bune de apropiere și depărtate, putem fi siguri că punctele testate au șansa de a fi în setul Julia. O cale de a alege aceste planuri este ca la prima renderizare rezoluția imaginii setului să fie scăzută și înregistrând unde se opresc și unde continuă intersecțiile. Se pot seta planurile apropiate și îndepărtate la aceste valori, cu o eroare mică.

## 5. Umbrirea

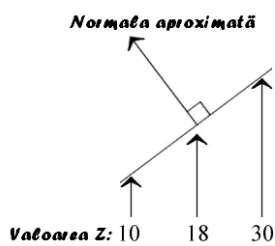


Fig. 2

Umbrirea este un proces extrem de important în redarea realistă și plăcut estetică a imaginilor. Când se umbrește o imagine, fiecare pixel este iluminat în funcție de normala sa la suprafață. Unghiul dintre direcția luminii și suprafața luminată determină strălucirea pixelilor:

$$b = \text{normal} \cdot \text{light}_{\text{direction}} \quad (7)$$

Culoarea suprafeței este apoi multiplicată cu *factorul de strălucire*  $b$ . Pentru a performa acest calcul, trebuie alese normala la suprafață pentru fiecare pixel și direcția luminii (fig.2). Acestea sunt metode mai realiste decât (7), de exemplu algoritmi unde

distanța de la sursa de lumină produce efecte de luminozitate.

## 6. Animația

Imaginile ray-tracing produse prin metodele amintite, atunci când setul Julia este animat prin atribuirea de diferite valori constantei  $\mu$  produc scene fascinante cu modificări și răsuciri dinamice. Mutând poziția camerei în timpul animării crează de asemenea imagini dinamice interesante. Dacă se mută camera în primele trei dimensiuni, se obține o imagine dinamică a setului Julia ce poate fi vizualizată din diferite unghiuri. Mutându-se poziția camerei și vectorii țintă în lungul axei  $w$ , se poate randa Julia la diferite 4D-unghiuri.

Cu ajutorul animării camerei se poate spera la captura unor proprietăți ce nu sunt încă cunoscute.

## 7. Post-stepping

Pentru a crește viteza de străbateră transversală a razei, s-a dezvoltat o metodă care este denumită "post-stepping". Algoritmul este foarte simplu dar poate fi efectiv complet, depinzând de câțiva parametri.

Raza transversală în mod obișnuit este dirijată dinspre ochi spre scenă în pași incrementați. Lungimea acestor pași depinde de rezoluția  $z$  aleasă.

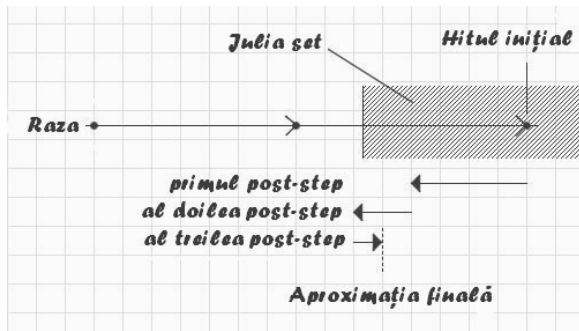


Fig. 3

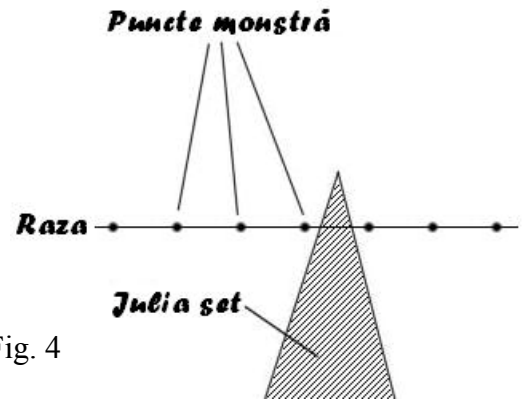


Fig. 4

Când raza atinge un punct ce aparține setului Julia (un hit) procesul post-step se declanșează. Procesul post-step este un proces interactiv care poate găsi cu multă acuratețe poziții pe o suprafață. În fiecare pas, se mută cu jumătate distanța de vizionare, fiecare punct avansează sau se retrage în funcție de parametrii sortați (fig. 3). Acesta poate porni ca o funcție inductivă. Distanța de salt în pasul  $n$  este definită ca:  $d_n = d_{n-1}/2$ .

Poziția  $p$  a suprafeței aproximative după  $n$  iterații:

$$P_n \begin{cases} p_{n-1} \in J : p_{n-1} - d_n \\ p_{n-1} \notin J : p_{n-1} + d_n \end{cases} \quad (8)$$

unde  $d$  și  $p$  sunt vectori 4D iar  $J$  este setul Julia.

Procesul post-step crește acuratețea suprafeței aproximative de puncte. Aceasta va conduce la obținerea de imagini netede și cu detalii, chiar la rezoluții  $z$  scăzute. Când se utilizează o iterație post-step, adâncimea lui  $n$  este comparabilă cu rezoluția  $z$ :

$$Resolution'_z = Resolution_z * 2^n \quad (9)$$

Când metoda este utilizată cu rezoluție  $z$  scăzută, pasul maxim poate duce la depășirea suprafeței, încât raza dispare. O rază cu pas înalt poate depăși ușor marginile și astfel pozițiile sunt rărite în set, ceace duce la margini zimțate și pierderi de arii ale suprafeței (fig. 4). Este imperativ să se aleagă corect rezoluția  $z$  pentru Julia specific ce urmează să fie renderizată.

## 8. Rezultate

Am renderizat un mare număr de imagini în scopul evaluării algoritmului post-step. Imaginile au fost renderizate cu un 3,2GHz Pentium 4 PC cu 512MB RAM sub Windows XP.

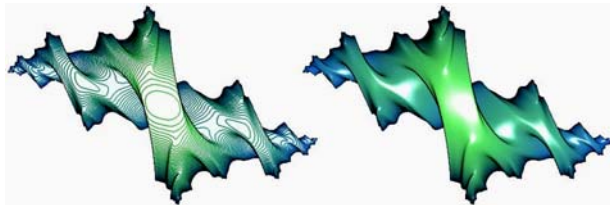


Fig. 5

dreapta fractalul este renderizat cu  $\mu = -0,803762 - 0,40615i$ ,  $n = 8$

Când se încearcă captura proprietăților 4D ale quaternionilor Julia, se renderizează

Așa cum se vede din fig. 5, procedura post-step crește detaliile în mod considerabil. Fiecare iterație a fost renderizată cu rezoluția  $z = 250$ .

Imaginea din stânga, fără post-step cu 10 pași are defecte cauzate de neacuratețea normalelor, ducând la pași largi ai razelor transversale. În imaginea din



Fig 6.

imagini pentru diferite puncte în spațiul 4D. În fig. 6 se poate vedea același set Julia cu diferite poziții  $w$  ale camerei și  $\mu = -0,7323 - 0,2179i$ . Imaginea din stânga are camera la  $(-2,1,5,0)$  în timp ce imaginea din dreapta are camera la  $(-2,1,5,8)$ .

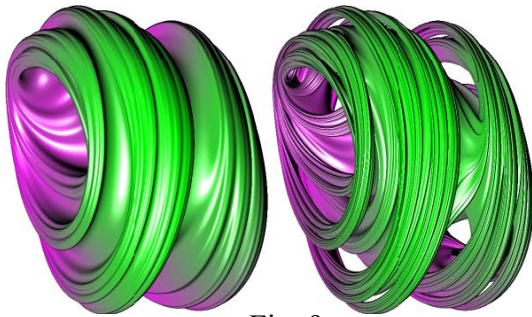


Fig. 9

În fig. 7 apar două imagini ale setului Julia renderizate cu diferite adâncimi de iterație. Cea din stânga s-a oprit la 8 iar cea din dreapta a mers până la 12 pași oferind mai multe detalii.  $\mu = 0,4 + 0,5i$

Figura 8 prezintă două imagini care arată cum o rezoluție  $z$  scăzută poate cauza rateuri ale razelor în setul Julia. În imaginea din stânga rezoluția  $z$  este 2000, pe când în cea din dreapta doar 35. Datorită post-stepping suprafețele în ambele figuri sunt netede.

$\mu = -0,8 + 0,4i$ .

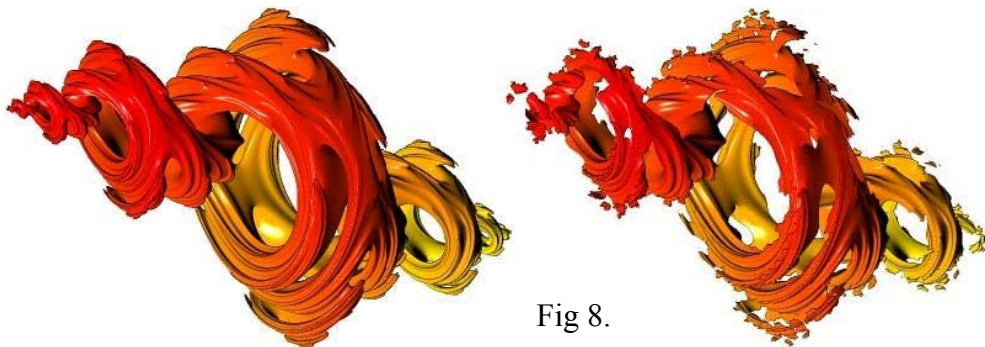


Fig 8.

Deasemenea, prezint un exemplu de cod pentru renderizare în POV-Ray a quaternionilor și interfața cu imaginea renderizată (fig. 9).

```
// Persistence Of
Vision raytracer
version 3.5
// -w320 -h320
// -w800 -h800
+a0.3
#include
"goldens.inc"
#include
"metals.inc"
#include
"finish.inc"
#declare VP = <-
2,1.5,1.5>;
#declare VU =
<0,1,0>;
#declare VD =
vnormalize(<0,0,0
> - VP);
#declare VR =
vcross(VU,VD);
#declare ConstC =
<-0.08,0.0,-
0.83,-0.025>;
#declare
SLICEDIST = 0.1;
camera
```

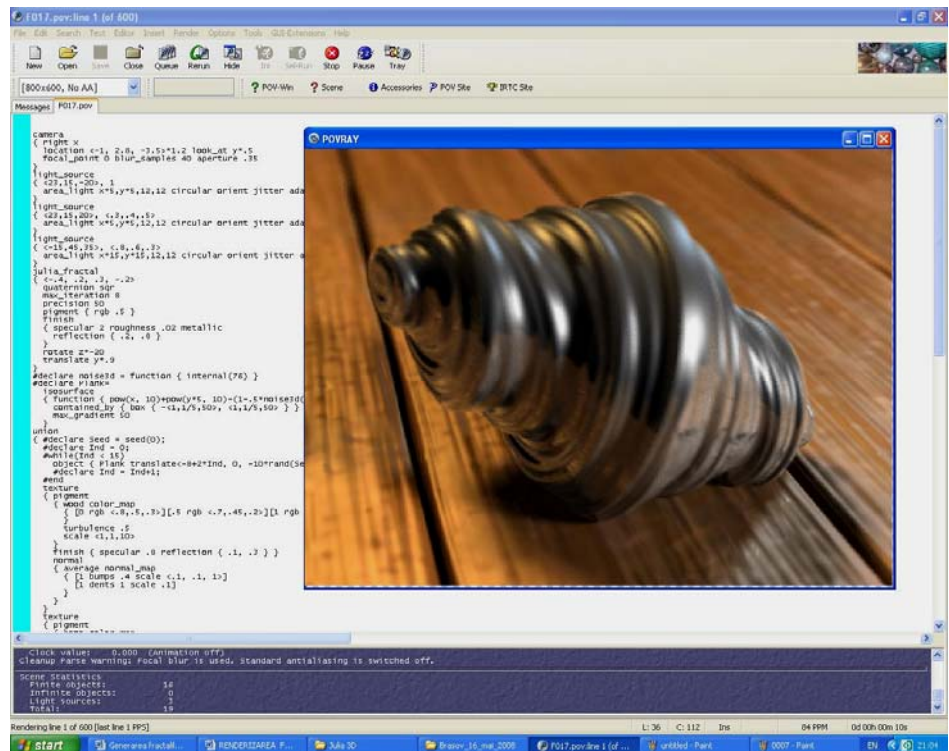


Fig. 9

```

{ right x
  location <-1, 2.8, -3.5>*1.2 look_at y*.5
  focal_point 0 blur_samples 40 aperture .35 }
light_source
{ <23,15,-20>, 1
  area_light x*5,y*5,12,12 circular orient jitter adaptive 1 }
light_source
{ <23,15,20>, <.3,.4,.5>
  area_light x*5,y*5,12,12 circular orient jitter adaptive 1 }
light_source
{ <-15,45,35>, <.8,.6,.3>
  area_light x*15,y*15,12,12 circular orient jitter adaptive 1 }
julia_fractal
{ <-.4, .2, .3, -.2>
  quaternion sqr
  max_iteration 8
  precision 50
  pigment { rgb .5 }
  finish
  { specular 2 roughness .02 metallic
    reflection { .2, .8 }}
  rotate z*-20
  translate y*.9 }
#declare noise3d = function { internal(76) }
#declare Plank=
  isosurface
  { function { pow(x, 10)+pow(y*5, 10)-(1-.5*noise3d(x*20,y*10,z)) }
    contained_by { box { -<1,1/5,50>, <1,1/5,50> } }
    max_gradient 50
  }
union
{ #declare Seed = seed(0);
  #declare Ind = 0;
  #while(Ind < 15)
    object { Plank translate<-8+2*Ind, 0, -10*rand(Seed)> }
    #declare Ind = Ind+1;
  #end
  texture
  { pigment
    { wood color_map
      { [0 rgb <.8,.5,.3>][.5 rgb <.7,.45,.2>][1 rgb <.65,.4,.2>]
      }
    turbulence .5
    scale <1,1,10>
  }
  finish { specular .8 reflection { .1, .3 } }
  normal
  { average normal_map
    { [1 bumps .4 scale <.1, .1, 1>]
      [1 dents 1 scale .1]}}
  }
  texture
  { pigment
    { bozo color_map
      { [0 rgb 0 transmit .5]
        [.5 rgbt 1]
      }
    scale 5
    warp { turbulence 2 }
    scale 1/5}}
  }
}

```



## Bibliografie

1. **Hart J.C., Sandin D.J., Kauffman L.H.** – *Ray Tracing Deterministic 3-D Fractals*, Computer Graphics, Vol 23, 1989.
2. **Ödegaard T., Wennergen J.** – *Raytracing 4D Fractals*, Institute of Computer Science, Sweden 2005
3. **Radu A.G., Harabagiu A.** – *About the Apollonian Gasket or Curvilinear Sierpinsky Gasket*. Conferința Internațională Nav-Mar-Edu 2007, Constanța 2007
4. **Radu A.G.** – *Modelare și simulare în 3D*. Universitatea Petrol și Gaze, Ploiești, 2006
5. \*\*\* [http://www.physcip.uni-stuttgart.de/phy11733/index\\_e.html](http://www.physcip.uni-stuttgart.de/phy11733/index_e.html)
6. \*\*\* <http://www.povray.org>

---

\* **Adrian-Gelu Radu**, prof. inf.-fiz., Grup Școlar “Meserii și Servicii” Buzău, tel. 0722453007, e-mail: [agerbit@yahoo.com](mailto:agerbit@yahoo.com)

\*\* **Anca Harabagiu**, prof. drd. inf.-fiz., Inspectoratul Școlar Județean, Buzău, tel. 0721126577, e-mail: [anca\\_hara@yahoo.com](mailto:anca_hara@yahoo.com)





## AN OPERATIONAL METHOD FOR SOLVING LINEAR DIFFERENCE EQUATIONS

Gheorghe RADU\*  
Gheorghe ANTON\*\*

### **Abstract:**

*In this paper it is proposed an operational method for solving difference equations. In the first part an operational representation of the linear difference equation of the first and second order is obtained, using lag operator  $L$  and, in the second part it is applied to the solving of linear first order vector difference equation.*

**Key words:** *Difference equation.*

**2000 Mathematics Subject Classification:** 39A05, 39A10.

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1. First-Order Difference Equation**

A linear difference equation can be defined as an equation that relates a variable  $y_t$  to its previous values linearly.

The simplest one is a first-order scalar linear difference equation such as

$$y_t = \lambda y_{t-1} + bx_t + a, \quad (1)$$

where  $x_t$  is an exogenous variable and  $a$  is a constant. This is a first-order difference equation, since only first lag of its own values  $y_{t-1}$  appears in the equation. Here, we are interested in finding a solution of  $y_t$  in terms of current, past or future values of exogenous variable  $x_t$  and (less important) a constant  $a$ .

Putting it differently, we want to characterize the string  $\{y_t\}$  in terms of  $\{x_t\}$ .

Using lag operator  $L$ , (see [3]) we can rewrite (1) as follows:

$$(1 - \lambda L)y_t = bx_t + a. \quad (2)$$

Dividing both sides by  $(1 - \lambda L)$ , we can obtain the particular solution for (1) as follows:

$$\hat{y}_t = \frac{bx_t}{1 - \lambda L} + \frac{a}{1 - \lambda}. \quad (3)$$

Note that since  $a$  is a constant,  $\frac{a}{1 - \lambda L} = \frac{a}{1 - \lambda}$  irrespective of the size of  $|\lambda|$ . In order to get the general solution, we need to add a term to (3). For this purpose, let's suppose that  $\tilde{y} = \hat{y} + \omega_t$  is also a solution to (2). Plugging  $\tilde{y}$  into (2), we get

$$(1 - \lambda L)\tilde{y}_t = (1 - \lambda L)\hat{y}_t + \omega_t - \lambda\omega_{t-1} = bx_t + a + \omega_t - \lambda\omega_{t-1}.$$

Therefore, as long as  $\omega_t = \lambda\omega_{t-1}$ ,  $\tilde{y}_t$  is also a solution. Note that  $\omega_t = \lambda\omega_{t-1} = \dots = \lambda^t \omega_0$ , for arbitrary initial value  $\omega_0 = c$ . Hence, the general solution is

$$y_t = \frac{bx_t}{1-\lambda L} + \frac{a}{1-\lambda} + \lambda^t c, \quad (4)$$

where  $c$  is an arbitrary constant.

Let's suppose that  $\{x_t\}$  is a bounded string and we are interested in finding the bounded solution  $\{y_t\}$ .

**a.** Then, when  $|\lambda| < 1$ , the bounded string  $\{y_t\}$  from (4) can be obtained by following backward representation with  $c = 0$ :

$$y_t = b(1 + \lambda L + (\lambda L)^2 + \dots)x_t + \frac{a}{1-\lambda} = b \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j x_{t-j} + \frac{a}{1-\lambda}. \quad (5)$$

**b.** If  $|\lambda| > 1$ , we need to use forward representation in order to get the bounded string  $\{y_t\}$  as follows:

$$y_t = \frac{-(\lambda L)^{-1}}{1-(\lambda L)^{-1}} bx_t + \frac{a}{1-\lambda} = -b \sum_{j=0}^{\infty} \lambda^j x_{t-j} + \frac{a}{1-\lambda}; \quad (6)$$

again, setting  $c = 0$ .

**c.** Note that if we don't set  $c$  to 0, the string  $\{y_t\}$  will diverge, that is, either

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_t| = \infty \text{ or } \lim_{t \rightarrow -\infty} |y_t| = \infty.$$

## 1.2. Second-Order Difference Equation

A second-order difference equation involves two lags of  $y_t$  terms in a linear difference equation. Let's consider following second-order difference equation

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + bx_t + a. \quad (7)$$

Using lag operator, we can rewrite (7) as follows:

$$(1 - a_1 L - a_2 L^2)y_t = bx_t + a$$

or  $(1 - \lambda_1 L)(1 - \lambda_2 L)y_t = bx_t + a$ ,

where  $\lambda_1 \lambda_2 = -a_1$  and  $\lambda_1 + \lambda_2 = a_2$ . Note that the characteristic roots from the characteristic equation,  $R(z) = 1 - a_1 z - a_2 z^2$ , are  $z_1 = 1/\lambda_1$  and  $z_2 = 1/\lambda_2$ . Assuming  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  and  $\lambda_i \neq 1$ ,  $\forall i$  it turns out that the general solution to (7) is

$$y_t = \frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} bx_t + \frac{1}{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)} a + c_1 \lambda_1^t + c_2 \lambda_2^t. \quad (8)$$

It can also be shown that if  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$  and  $\lambda_i \neq 1$ ,  $\forall i$ , the general solution would be

$$y_t = \frac{bx_t}{(1-\lambda L)^2} + \frac{a}{(1-\lambda L)^2} + c_1 \lambda^t + c_2 t \lambda^t. \quad (9)$$

Again, if we are interested in a bounded string of  $\{y_t\}$  mapped from a bounded string  $\{x_t\}$ , then we need to set both  $c$ 's to zero, and focus on a particular solution.

### a. Distinct Real Eigenvalues

If all eigenvalues are distinct as in (8), then following is valid

$$\frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left( \frac{\lambda_1}{1-\lambda_1 L} - \frac{\lambda_2}{1-\lambda_2 L} \right). \quad (10)$$

**a1.** If  $|\lambda_1| < 1$  and  $|\lambda_2| < 1$ , we can solve (10) backward so that

$$\frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left( \lambda_1 \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1 L)^j - \lambda_2 \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_2 L)^j \right) = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1^{j+1} - \lambda_2^{j+1}) L^j \quad (11)$$

The general solution to (7) is

$$y_t = \frac{b}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1^{j+1} - \lambda_2^{j+1}) L^j x_{t-j} + \frac{a}{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)} + c_1 \lambda_1^t + c_2 \lambda_2^t.$$

**a<sub>2</sub>.** If, without loss of generality,  $|\lambda_1| < 1$  and  $|\lambda_2| > 1$ , then

$$\begin{aligned} \frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} &= \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left( \frac{\lambda_1}{1-\lambda_1 L} + \frac{L^{-1}}{1-(\lambda_2 L)^{-1}} \right) \\ &= \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1 L)^j + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=1}^{\infty} (\lambda_2 L)^{-j}, \end{aligned} \quad (12)$$

and general solution to (7) is

$$y_t = \frac{b}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} \lambda_1^{j+1} x_{t-j} + \frac{b\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=1}^{\infty} (\lambda_2^{-j+1} x_{t+j} + \frac{a}{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)}) + c_1 \lambda_1^t + c_2 \lambda_2^t.$$

**a<sub>3</sub>.** Last, if  $|\lambda_1| > 1$  and  $|\lambda_2| > 1$ , then

$$\begin{aligned} \frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} &= \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left( \frac{-L^{-1}}{1-(\lambda_1 L)^{-1}} + \frac{L^{-1}}{1-(\lambda_2 L)^{-1}} \right) = \\ &= -\frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1^{-(j+1)} - \lambda_2^{-(j+1)}) L^{-(j+2)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Plugging these solutions to (8) for each case, we get the solutions for  $y_t$ :

$$y_t = -\frac{b}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1^{-(j+1)} - \lambda_2^{-(j+1)}) x_{t+j+2} + \frac{a}{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)} + c_1 \lambda_1^t + c_2 \lambda_2^t.$$

### b. Repeated Real Eigenvalues

**b<sub>1</sub>.** When  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$  and  $|\lambda| < 1$ , we can show that

$$\frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} = \frac{1}{(1-\lambda L)^2} = \sum_{j=0}^{\infty} (j+1)(\lambda L)^j \quad (14)$$

and general solution to (7) is

$$y_t = b \sum_{j=0}^{\infty} (j+1) \lambda^j x_{t-j} + \frac{a}{(1-\lambda L)^2} + c_1 \lambda^t + c_2 t \lambda^t.$$

**b<sub>2</sub>.** While if  $|\lambda| > 1$ ,

$$\frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} = \frac{1}{(1-\lambda L)^2} = \sum_{j=0}^{\infty} (j+1)(\lambda L)^{-(j+2)}. \quad (15)$$

Plugging these solutions to (9) for each case, we get the solutions for  $y_t$ :

$$y_t = b \sum_{j=0}^{\infty} (j+1) \lambda^{-(j+2)} x_{t+j+2} + \frac{a}{(1-\lambda L)^2} + c_1 \lambda^t + c_2 t \lambda^t.$$

### c. Complex Eigenvalues

It should be noted that if one eigenvalue turns out to be a complex number, then the other eigenvalue is the complex conjugate of it, that is,  $\lambda_1 = \alpha + \beta i$  and  $\lambda_2 = \alpha - \beta i$ , where  $\lambda_1 + \lambda_2 = 2\alpha = a_1$ ,  $\lambda_1 \lambda_2 = \alpha^2 + \beta^2 = -a_2$ , and  $|\lambda_i| = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ ,  $\forall i$ . Using useful polar representation,  $\lambda_1 = r e^{i\omega} = r(\cos \omega + i \sin \omega)$ ,  $\lambda_2 = r e^{-i\omega} = r(\cos \omega - i \sin \omega)$ .

c<sub>1</sub>. If  $|\lambda| < 1$ , from (11),

$$\frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1^{j+1} - \lambda_2^{j+1}) L^j = \frac{1}{\sin \omega} \sum_{j=0}^{\infty} r^j \sin(\omega(j+1)) L^j \quad (16)$$

and general solution to (7) is

$$y_t = \frac{b}{\sin \omega} \sum_{j=0}^{\infty} r^j \sin(\omega(j+1)) x_{t-j} + \frac{a}{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)} + c_1 \lambda_1^t + c_2 \lambda_2^t.$$

c<sub>2</sub>. If  $|\lambda| > 1$ , from (13),

$$\frac{1}{(1-\lambda_1 L)(1-\lambda_2 L)} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sum_{j=0}^{\infty} (\lambda_1^{j+1} - \lambda_2^{j+1}) L^j = \frac{1}{\sin \omega} \sum_{j=0}^{\infty} r^j \sin(\omega(j+1)) L^j. \quad (17)$$

Plugging these solutions to (8) for each case, we obtain the solutions for  $y_t$ .

$$y_t = -\frac{b}{\sin \omega} \sum_{j=0}^{\infty} r^{-(j+2)} \sin(\omega(j+1)) x_{t+j+2} + \frac{a}{(1-\lambda_1)(1-\lambda_2)} + c_1 \lambda_1^t + c_2 \lambda_2^t.$$

## 2. THE MAIN RESULT

### 2.1. Vector Difference Equation

Let's consider following first order vector difference equation

$$y_t = Fy_{t-1} + Bx_t + a, \quad \forall t, \quad (18)$$

where  $y_t$  is a  $k \times 1$  vector,  $F$  is a  $k \times k$  matrix,  $B$  is a  $k \times m$  matrix,  $x_t$  is a  $m \times 1$  vector and  $a$  is a  $k \times 1$  constant vector.

#### a. Diagonalizable F

If  $F$  is diagonalizable so as that  $F = T\Lambda T^{-1}$  exists where  $\Lambda$  is a  $k \times k$  diagonal matrix with the eigenvalues  $(\lambda_i, i = 1, \dots, k)$  on the diagonal, and  $T$  is a  $k \times k$  matrix whose columns are corresponding eigenvectors that are arbitrarily scaled. Then, premultiplying  $T^{-1}$  to (18), and redefining  $z_t = T^{-1}y_t$ , we get

$$z_t = Az_{t-1} + T^{-1}Bx_t + T^{-1}a. \quad (19)$$

Note that since  $\Lambda$  is diagonal, (19) can be equivalently described as following set of  $k$  scalar difference equations

$$z_{t,i} = \lambda_i z_{t-1,i} + (T^{-1}B)_i x_t + (T^{-1}a)_i, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (20)$$

where  $(T^{-1}B)_i$  and  $(T^{-1}a)_i$  are the  $i^{\text{th}}$  rows of  $T^{-1}B$  and  $T^{-1}a$ , respectively.

Let's suppose that there are  $l$  eigenvalues that are greater than unity in norm, and  $k - l$  eigenvalues that are less than unity. Arranging the eigenvalues in  $\Lambda$  from the smallest to the largest in norm, we can rewrite the system as following partitioned matrices:

$$y_t = \begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{pmatrix}, \quad B_t = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix}, \quad a_t = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix}, \quad \Lambda = \begin{pmatrix} \Lambda_1 & 0 \\ 0 & \Lambda_2 \end{pmatrix}, \quad T^{-1} = \begin{pmatrix} T^{11} & T^{12} \\ T^{21} & T^{22} \end{pmatrix}, \quad z_t = T^{-1}y_t = \begin{pmatrix} z_{1t} \\ z_{2t} \end{pmatrix},$$

where  $y_{1t}$ ,  $a_1$  and  $z_{1t}$  are  $(k - l) \times 1$  vectors,  $F_{11}$ ,  $T_{11}$ ,  $\Lambda_1$ ,  $T^{11}$  are  $(k - l) \times (k - l)$  matrices, and  $B_1$  is  $(k - l) \times m$ . Then, the first  $(k - l)$  equations can be written as

$$z_{1t} = \Lambda_1 z_{1,t-1} + (T^{11}B_1 + T^{12}B_2)x_t + (T^{11}a_1 + T^{12}a_2) \quad (21)$$

and the remaining  $l$  equations are

$$z_{2t} = \Lambda_2 z_{2,t-1} + (T^{21}B_1 + T^{22}B_2)x_t + (T^{21}a_1 + T^{22}a_2). \quad (22)$$

Since first set of the equations in (21) has the roots less than the unity in norm, we can solve it backward, whereas equations in (22) can be solved forward yielding following particular solutions:

$$z_{1t} = \sum_{j=0}^{\infty} \Lambda_1^j (T^{11} B_1 + T^{12} B_2) x_{t-j} + (I - \Lambda_1)^{-1} (T^{11} a_1 + T^{12} a_2), \quad (23)$$

$$z_{2t} = -\sum_{j=0}^{\infty} \Lambda_2^{-(j+1)} (T^{21} B_1 + T^{22} B_2) x_{t+1+j} - (I - \Lambda_2^{-1})^{-1} \Lambda_2^{-1} (T^{21} a_1 + T^{22} a_2). \quad (24)$$

For general solutions, we need to add  $c_i \lambda_i^t$ ,  $i=1,2,\dots,k$ , for each equation, where  $c_i$ 's are any constants. However, since we are interested only in bounded strings, we will ignore these terms by setting  $c_i = 0, \forall i$ . Once we obtain solutions by (23) and (24), the solutions for the original variables in  $y_t$  in (18) can be recovered by  $y_t = Tz_t$ . That is

$$\begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} z_{1,t} + T_{12} z_{2,t} \\ T_{21} z_{1,t} + T_{22} z_{2,t} \end{pmatrix}. \quad (25)$$

In general, all variables in  $y_t$  would have both forward and backward looking components, since  $z_{1,t}$  has backward looking solutions, while  $z_{2,t}$  has forward looking solutions.

### b. Undiagonalizable F

Any undiagonalizable matrix turns out to have repeated eigenvalues although not all matrix that have repeated eigenvalues are not diagonalizable. The identity matrix or any multiple of it is a counter example. Even when  $F$  in (18) is not diagonalizable, the Jordan decomposition still can apply so that  $F = MJM^{-1}$  exists, where  $M$  is a  $(k \times k)$  matrix and  $J$  is the matrix that has following form.

$$J = \begin{pmatrix} J_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & J_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & J_s \end{pmatrix}, \quad (26)$$

where  $s < k$  is the number of distinct eigenvalues and  $J_i$  is a  $(n_i \times n_i)$  matrix with following form where  $n_i$  is the number of times that the eigenvalue  $\lambda_i$  is repeated

$$J_i = \begin{pmatrix} \lambda_i & 1 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_i & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_i \end{pmatrix}, \quad (27)$$

where  $i = 1, 2, \dots, s$ . Redefining  $z_t = M^{-1}y_t$  we can rewrite (18) as follows

$$z_t = Jz_{t-1} + M^{-1}Bx_t + M^{-1}a. \quad (28)$$

The system of equations in (28) can be easily solved recursively in following ways. Let's suppose  $n_1 = 3, n_2 = 5, \dots, n_s = k - \sum_{i=1}^{s-1} n_i$ . Note that  $z_{3t}$ , the last row variable in  $J_1$ , satisfies

$$z_{3t} = \lambda_1 z_{3t-1} + (M^{-1}B)_3 x_t + (M^{-1}a)_3,$$

where  $(M^{-1}B)_3$  and  $(M^{-1}a)_3$  are the third rows of  $M^{-1}B$  and  $M^{-1}a$ , respectively. With  $z_{3t}$  at hand,  $z_{2t}$  can be solved by

$$z_{2t} = \lambda_1 z_{2t-1} + z_{3t} + (M^{-1}B)_2 x_t + (M^{-1}a)_2.$$

Of course,  $z_{1t}$  satisfies

$$z_{1t} = \lambda_1 z_{1t-1} + z_{2t} + (M^{-1}B)_1 x_t + (M^{-1}a)_1.$$

Same procedure can be done for all other variables in  $J_2$  to  $J_s$  rows. Finally, once we solve for all variables by this way, the original series can be restored by

$$y_t = Mz_t . \quad (29)$$

## 2.2. $p^{\text{th}}$ - order Scalar Difference Equation

Let's consider following  $p^{\text{th}}$  order scalar difference equation

$$y_t = a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_p y_{t-p} + b x_t + a, \quad \forall t. \quad (30)$$

Such a scalar difference equation can be represented by a similar vector difference equation as in (18),

$$y_t = F y_{t-1} + b x_t + a, \quad \forall t, \quad (31)$$

where  $x_t$  is a scalar, and

$$\begin{aligned} y_t &= \begin{pmatrix} y_t \\ y_{t-1} \\ \vdots \\ y_{t-p+1} \end{pmatrix}; \quad F = \begin{pmatrix} [a_1 & a_2 & \dots & a_p] \\ \mathbf{I}_{(p-1)(p-1)} & \vdots & \mathbf{0}_{(p-1)(p-1)} \end{pmatrix}; \\ y_{t-1} &= \begin{pmatrix} y_{t-1} \\ y_{t-2} \\ \vdots \\ y_{t-p} \end{pmatrix}; \quad b = \begin{pmatrix} b \\ \mathbf{0}_{(p-1) \times 1} \\ 0 \end{pmatrix}; \quad a = \begin{pmatrix} a \\ \mathbf{0}_{(p-1) \times 1} \\ 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (32)$$

In order to solve this system of equations by methods described before, we need to obtain the eigenvalues of the matrix  $F$ . Note that the eigenvalues are the solutions from  $|F - \lambda I_p| = 0_{(p \times p)}$ .

It is easy to show that the eigenvalues  $\lambda$ 's of  $F$  satisfy the following characteristic equation

$$\lambda^p - a_1 \lambda^{p-1} - a_2 \lambda^{p-2} - \dots - a_{p-1} \lambda - a_p = 0. \quad (33)$$

We can solve following equivalent  $p^{\text{th}}$  order polynomial equation

$$1 - a_1 z - a_2 z^2 - \dots - a_p z^p = 0, \quad (34)$$

where the solutions to (34)  $z$ 's are the inverses of  $\lambda$ 's. Once we obtain the eigenvalues, it is straightforward but tedious to solve the system by aforementioned methods.

## 3. REFERENCES

- [1] Gh. Anton and Gh. Radu, *Ecuatii ordinare cu diferente si aplicatii*, Editura Albastra, Cluj-Napoca, pag.36-75, 1998
- [2] Gh. Anton, *On Operational Method for the Solving of Difference equations*, Sesiunea Stiintifica anuala „Mathematics And Its Applications” dedicata Centenarului Grigore C. Moisil, Universitatea Transilvania, Brasov, 12 – 13 Mai 2006
- [3] Gh. Anton, Gh. Radu, T. Socaciu, *Ecuatii cu diferente si scheme de calcul*, Editura Albastra, Cluj-Napoca, 2008
- [4] Gh. Radu, Gh. Anton, *Asupra unor ecuatii cu diferente de ordinul doi*, Proceedings of International Conference on Naval and Marine Education „Romanian Naval Academy's 130th Anniversary”, Section V: Mathematics and Computer Science, pp. 31-38, Constanța, November 14-16, 2002
- [5] Gh. Radu, Gh. Anton, *On Operational Method for the Solving of Difference Equations*, International Multidisciplinary Scientific Symposium “UNIVERSITARIA SIMPRO”, Petroșani, 13-14 octombrie 2006, vol. “Matematică-Informatică și Fizică”, pp. 7-10, 2006

\*Gheorghe Radu, lecturer, “Henri Coanda” Air Force Academy, 500183 Brasov, #160, Mihai Viteazul Street, phone: +40 723 604084, e-mail: [gh.radu@gmail.com](mailto:gh.radu@gmail.com)

\*\* Gheorghe Anton, teacher, Trades and Services High School, Buzau, 14 bis, Bazalt Street, [g10.anton@gmail.com](mailto:g10.anton@gmail.com)

## CONCEPTE DE BAZĂ PRIVIND SISTEMELE DE BAZE DE DATE

Ioan-Gheorghe RAȚIU\*

**Abstract:** *The database systems are an essential component of the daily life in our modern society. Daily, most of the people have various activities that imply interacting with databases: depositing or withdrawing cash amounts to/from bank, ticket reservation, digital library searching, buying different products, etc. A database is a collection of data created and maintained using the computer, care allows inputting, deleting, editing and quiring data operations. The most important software component in a database system is DBMS - Database Management System.*

**Key words:** *application, architecture, database, hierarchical, user*

**2000 Mathematics Subject Classification (MSC2000):** *68P15 Database theory*

### I. INTRODUCERE

Sistemele de baze de date sunt o componentă esențială a vieții de zi cu zi în societatea modernă. În cursul unei zile, majoritatea persoanelor desfășoară activități care implică interacțiunea cu o bază de date: depunerea sau extragerea unor sume de bani din bancă, rezervarea biletelor de tren sau avion, căutarea unei referințe într-o bibliotecă computerizată, cumpărarea unor produse etc.

Bazele de date pot avea dimensiuni (număr de înregistrări) extrem de variate, de la câteva zeci de înregistrări (de exemplu, baza de date pentru o agendă cu numere de telefon) sau pot ajunge la zeci de milioane de înregistrări (de exemplu, baza de date pentru plata taxelor și a impozitelor).

Utilizatorii unei baze de date au posibilitatea să efectueze mai multe categorii de operații asupra datelor memorate:

- introducerea de noi date (*insert*);
- ștergerea unora din datele existente (*delete*);
- actualizarea datelor memorate (*update*);
- interogarea bazei de date (*query*) pentru a regăsi anumite informații, selectate după un criteriu ales.

În sensul cel mai larg, o *bază de date (database)* este o colecție de date corelate din punct de vedere logic, care reflectă un anumit aspect al lumii reale și este destinată unui



anumit grup de utilizatori. În acest sens, bazele de date pot fi create și menținute manual (de exemplu, fișele de evidență a cărților dintr-o bibliotecă, așa cum erau folosite cu ani în urmă) sau computerizat, așa cum este majoritatea bazelor de date folosite astăzi.

**O bază de date (database)** este o colecție de date creată și menținută computerizat, care permite operații de introducere, ștergere, actualizare și interogare a datelor.

Simple colecții de fișe (documente pe hârtie) sau fișiere de date, care conțin înregistrări de date, dar nu permit operații de interogare, nu sunt considerate baze de date.

## II. COMPONENTELE UNUI SISTEM DE BAZE DE DATE

Un sistem de baze de date (Database System) este un sistem computerizat de menținere a evidenței unei anumite activități, folosind baze de date. Componentele unui sistem de baze de date sunt: hardware, software, utilizatori, date persistente.

**Hardware.** Sistemele de baze de date sunt instalate, de regulă, pe calculatoare de uz general, de la calculatoare PC standard, până la stații multiprocesor puternice. Performanțele generale de operare ale calculatorului (numărul și viteza procesoarelor, dimensiunea și viteza de operare a memoriei principale etc.) influențează în mod corespunzător performanțele sistemului de baze de date. Ceea ce interesează în mod deosebit în utilizarea unui calculator pentru un sistem de baze de date, este volumul (capacitatea) memoriei secundare, utilizată pentru memorarea colecției de date persistente ale bazei de date.

**Software.** Între baza de date (colecția de date memorate fizic în fișiere pe hard-discuri) și utilizatorii sistemului există un nivel software, numit Sistem de Gestiune a Bazei de Date (SGBD) - (Database Management System -DBMS) - (fig. 1.1).

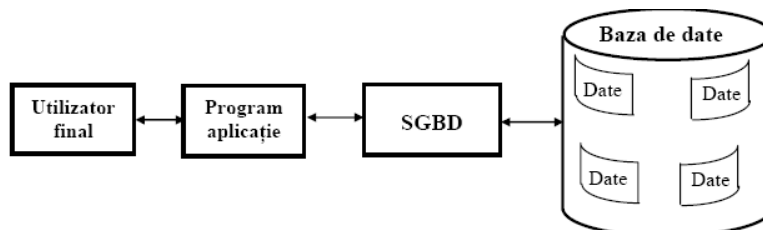


Fig. 1.1. Componente ale unui sistem de baze de date.

**Sistemul de gestiune a bazei de date - SGBD - (Database Management System - DBMS)** recepționează cererile utilizatorilor de acces la baza de date (pentru operații de introducere, ștergere, modificare sau interogare), le interpretează, execută operațiile corespunzătoare și returnează rezultatul către utilizatori.

Sistemul SGBD oferă utilizatorilor o viziune (vedere - view) a bazei de date la un nivel înalt și îi eliberează de necesitatea de a cunoaște organizarea particulară a sistemului (driverule de disc, structura înregistrărilor de date etc.). Mai mult, sistemul de gestiune asigură protecția datelor față de accese neautorizate sau defecte de funcționare, asigurând integritatea bazei de date. Pe lângă SGBD, care este cea mai importantă componentă software a unui sistem de baze de date, există și alte componente: sistemul de operare, care asigură controlul execuției programelor, biblioteci și instrumente software (*toolset-uri*) pentru proiectarea, dezvoltarea sau exploatarea sistemelor de baze de date și a aplicațiilor de baze de date.

**O aplicație de baze de date (Database Application)** este un program care oferă o anumită utilizare unei baze de date. Exemplu, programul care permite monitorizarea activității angajaților unei firme (încadrare, calificare, salarizare etc.), folosind informațiile despre angajați memorate într-o bază de date, reprezintă o aplicație de baze de date.

**Utilizatorii** unui sistem de baze de date se pot împărți în câteva categorii: programatorii de aplicații, utilizatorii finali și administratorul bazei de date.

*Programatorii de aplicații* scriu (dezvoltă) aplicații de baze de date, folosind limbaje de programare de nivel înalt (Cobol, PL/1, Fortran, C, C++, Java, Basic) și biblioteci care permit încorporarea operațiilor de acces la baza de date. Aplicațiile rezultate pot fi cu execuție independentă (batch-processing) sau pot fi aplicații interactive (on-line) folosite de utilizatorii finali ai sistemului pentru a accesa (într-un mod mai eficient și mai sigur) baza de date.

*Utilizatorii finali* accesează baza de date prin intermediul unui program de aplicație care le conferă drepturi limitate de acces la date pentru anumite operații de prelucrare, sunt persoane cu pregătire tehnică minimală, care efectuează un volum mare de operații asupra bazei de date și care trebuie să cunoască doar posibilitățile programului pe care îl utilizează.

*Administratorul bazei de date (Database Administrator)* este o persoană (sau un grup de persoane) cu înaltă calificare tehnică care are ca sarcină menținerea funcționalității bazei de date prin stabilirea drepturilor de acces ale diferitelor categorii de utilizatori, prin efectuarea operațiilor periodice de salvare a datelor (backup), prin monitorizarea performanțelor sistemului și refacerea datelor atunci când este necesar.

**Datele memorate** într-o bază de date sunt *date persistente*, adică date care rămân memorate pe suport magnetic, independent de execuția programelor de aplicații. Datele persistente ale unei baze de date se introduc, se șterg sau se actualizează folosind date de intrare (provenite de la tastatură, din citirea unor fișiere de date sau din recepționarea unor mesaje). Datele de intrare sunt, în general, date nepersistente; ele sunt generate de utilizatori și sunt memorate (devenind date persistente), numai după ce au fost validate (acceptate), de către SGBD. Datele de ieșire ale unui sistem de baze de date sunt, de asemenea, date nepersistente; ele provin din operații de interogare a bazei de date și sunt puse la dispoziția utilizatorului (sub formă de afișări, rapoarte tipărite etc). Orice SGBD suportă două categorii de limbaje conceptuale: limbaje de descriere a datelor și limbaje de manipulare a datelor.

**Limbajele de descriere a datelor** - LDD - (*Data Description Languages - DDL*) permit definirea conceptuală a datelor, fără referire la modul de memorare fizică a acestora.

**Limbajele de manipulare a datelor** - LMD - (*Data Manipulation Languages - DML*) permit specificarea operațiilor de introducere, actualizare, ștergere și interogare a datelor.

### III. ARHITECTURA INTERNĂ A SISTEMELOR DE BAZE DE DATE

Arhitectura internă a unui sistem de baze de date propusă prin standardul ANSI/X3/SPARC (1975) conține trei niveluri funcționale: nivelul extern, nivelul conceptual și nivelul intern (fig. 1.2). Nivelul extern este o colecție de scheme externe, care sunt vederi ale diferitelor grupuri de utilizatori, existând câte o vedere individuală a datelor pentru fiecare grup; nivelul conceptual conține schema conceptuală (logică) a bazei de date, iar nivelul intern conține schema internă (fizică) a bazei de date.

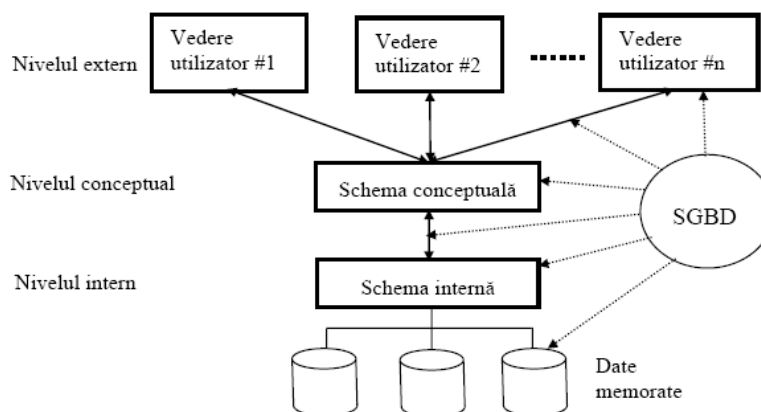


Fig. 1.2. Arhitectura internă a unui sistem de baze de date.

**O schemă externă** (*vedere utilizator*), (*external schema, user's view*), conține o subschemă conceptuală a bazei de date, mai precis, descrierea datelor care sunt folosite de acel grup de utilizatori.

**Schema conceptuală a bazei de date** (*conceptual schema*), corespunde unei reprezentări unice (pentru toți utilizatorii) și abstracte a datelor, descriind ce date sunt stocate în baza de date și care sunt asocierile dintre acestea.

**Schema internă (fizică) a bazei de date** (*internal schema*), specifică modul de reprezentare a datelor pe suportul fizic.

Toate aceste reprezentări ale datelor sunt gestionate de către SGBD care asigură, de asemenea și cele două corespondențe (*mappings*): între schemele externe și schema conceptuală și între schema conceptuală și schema internă.

### 3.1. Avantajele sistemelor de baze de date

Față de vechile metode de înregistrare a datelor privind diferite activități pe fișe (documente scrise) sau chiar în fișiere pe disc, sistemele de baze de date oferă avantaje considerabile, ceea ce explică utilizarea extinsă a acestora:

- **Compactitate ridicată:** volumul ocupat de sistemele de baze de date este mult mai redus decât volumul ocupat de documente scrise sau de fișierele necorelate.
- **Viteză mare** de regăsire și actualizare a informațiilor.
- **Redundanță scăzută** a datelor memorate, care se obține prin *partajarea datelor* între mai mulți utilizatori și aplicații. În stocarea pe fișe sau în fișiere a datelor, fiecare aplicație conținea propriile seturi de date, iar sistemele de baze de date, mai multe aplicații pot folosi date comune, memorate o singură dată.
- **Posibilitatea de introducere a standardelor** privind modul de stocare a datelor, ceea ce permite interschimbul informațiilor între diferite organizații.
- **Menținerea integrității datelor** prin politica de securitate (drepturi de acces diferențiate în funcție de rolul utilizatorilor), prin gestionarea tranzacțiilor și prin refacerea datelor în caz de funcționare defectuoasă a diferitelor componente hardware sau software.
- **Independența datelor** față de suportul hardware utilizat. Sistemele de gestiune a bazelor de date oferă o vedere (*view*) externă a datelor, care nu se modifică atunci când se schimbă suportul de memorare fizic, ceea ce asigură imunitatea structurii bazei de date și a aplicațiilor la modificări ale sistemului hardware utilizat.

### 3.2. Clasificarea sistemelor de baze de date

**Clasificarea după modelul de date.** Majoritatea sistemelor de baze de date actuale sunt realizate în modelul de date relațional sau în modelul de date obiect. Dezvoltarea acestora a condus la o nouă categorie de baze de date, numite *obiect-relaționale*, care combină caracteristicile modelului relațional cu cele ale modelului obiect.

**Clasificarea după numărul de utilizatori.** Majoritatea sistemelor de baze de date sunt sisteme *multiutilizator*, adică permit accesul concurrent (în același timp) a mai multor utilizatori la aceeași bază de date. Un număr redus de sisteme de baze de date sunt de tip *monoutilizator*, adică suportă accesul la un moment dat, doar al unui singur utilizator.

**Clasificarea după numărul de stații pe care este stocată baza de date.** Există două categorii de sisteme de baze de date: centralizate și distribuite.

Un sistem de baze de date centralizat (*Centralized Database System*), este un sistem de baze de date în care datele și sistemul de gestiune sunt stocate pe o singură stație (calculator). Un sistem centralizat poate suporta unul sau mai mulți utilizatori, dar, în orice situație, datele și sistemul de gestiune rezidă în întregime pe o singură stație.

Un sistem de baze de date distribuite (*Distributed Database System*) poate avea atât datele, cât și sistemul de gestiune, distribuite în mai multe stații interconectate printr-o rețea de comunicație.

Sistemele de baze de date pot fi reprezentate din punct de vedere al funcționării lor printr-o arhitectură de tip *client-server*. Într-un sistem centralizat (fig. 1.3) există un singur *server*, care este chiar sistemul SGBD, care răspunde cererilor unui singur *client* (în sistemele mono-utilizator, fig. 1.3, a) sau mai multor *clienți* (în sistemele multi-utilizator, fig. 1.3, b), care accesează baza de date respectivă. *Clienții* sunt programe de aplicații oferite de furnizorul sistemului de gestiune sau dezvoltate de programatori. Aplicațiile client pot fi executate pe stații diferite, conectate printr-o rețea de comunicație cu stația pe care rulează serverul. Această arhitectură permite o prelucrare distribuită a datelor, mai mult chiar, o configurare a sistemului adaptată cerințelor de calcul particulare. Astfel, serverul bazei de date poate fi un sistem puternic, echipat corespunzător (cu volum mare de memorie secundară), în timp ce fiecare client este o stație personală, cu putere de calcul adecvată aplicației executate.

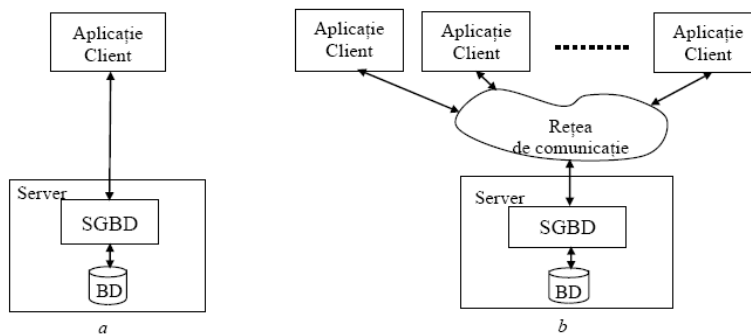


Fig. 1.3. Sisteme de baze de date centralizate: a- monoutilizator; b- multiutilizator.

Sistemele de baze de date distribuite pot fi reprezentate într-un mod asemănător din perspectiva structurării client-server (fig. 1.4).

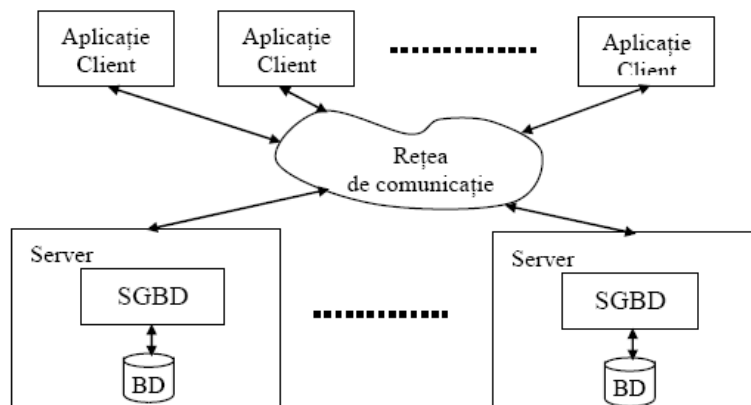


Fig. 1.4. Sistem de baze de date distribuit.

O bază de date distribuită este o colecție de date care aparțin din punct de vedere logic aceluiași sistem, dar care pot să fie din punct de vedere fizic, memorate în mai multe stații de calcul (locații - *sites*) conectate printr-o rețea de comunicație. Sistemul software care

gestionează o astfel de bază de date se numește Sistem de Gestire a Bazei de Date Distribuie - SGBDD - (*Distributed Database Management System - DDBMS*). Aplicațiile client rulează pe alte stații din rețea și solicită servicii de la sistemul de gestiune distribuit.

Există numeroase avantaje ale sistemelor de baze de date distribuite: creșterea capacității de stocare și prelucrare a datelor, creșterea disponibilității și a partajării datelor etc.

Cea mai importantă cerință pe care trebuie să o îndeplinească sistemele de gestiune a bazelor de date distribuite este de a asigura administrarea transparentă a datelor. Transparența se referă la capacitatea unui sistem distribuit de a ascunde detaliile de implementare, astfel încât utilizatorii să poată accesa datele pe baza unui model de nivel înalt, fără a fi necesară cunoașterea exactă a modului de amplasare, replicare sau comunicare a datelor.

#### IV. PRINCIPALELE MODELE DE BAZE DE DATE

*Un model* este o abstractizare a unui sistem, care captează cele mai importante trăsături caracteristice ale sistemului (concepte), relevante din punct de vedere al scopului pentru care se definește modelul respectiv. Tehnica de identificare a trăsăturilor caracteristice esențiale ale unui sistem se numește *abstractizare*.

*Un model de date* stabilește regulile de organizare și interpretare a unei colecții de date. În proiectarea bazelor de date se folosesc, de regulă, mai multe modele de date, care se pot clasifica în două categorii: *modele conceptuale de nivel înalt* și *modele specializate*.

*Un model conceptual de nivel înalt al datelor* conține o descriere concisă a colecțiilor de date care modelează activitatea dorită (numită *schemă conceptuală de nivel înalt*), fără să detalieze modul de reprezentare sau de prelucrare a datelor.

*Modelele specializate de date* (modelul ierarhic, modelul rețea, modelul relațional etc.) impun structuri speciale de reprezentare a mulțimilor de entități și a asocierilor dintre acestea, structuri pe baza cărora sunt dezvoltate sistemele de gestiune a bazelor de date. Într-un astfel de model de date, o bază de date este reprezentată printr-o schemă conceptuală (logică). Trecerea de la modelul conceptual de nivel înalt la un model de date specific reprezintă etapa de *proiectare logică a bazei de date* care asigură corespondența dintre schema conceptuală de nivel înalt a bazei de date și schema conceptuală specifică modelului de date respectiv.

Cel mai utilizat model conceptual de nivel înalt este modelul Entitate-Asociere (E-A) care reprezintă schema conceptuală de nivel înalt a bazei de date prin mulțimi de entități și asocieri dintre acestea. Dezvoltarea acestui model, astfel încât să permită extinderea tipurilor de entități, este cunoscută sub numele de model Entitate-Asociere Extins (E-AE).

##### 4.1. Modelul Entitate-Asociere

*Modelul Entitate-Asociere (Entity-Relationship Model), introdus în 1976 de P.S. Chen (Chen76), este un model conceptual de nivel înalt al unei baze de date, care definește mulțimile de entități și asocierile dintre ele, dar nu impune nici un mod specific de structurare și prelucrare (gestiune) a datelor.*

Elementele esențiale ale modelului Entitate-Asociere folosite în proiectarea bazelor de date sunt *entitățile (entities)* și *asocierile* dintre acestea (*relationships*).

**O entitate (entity)**, „*orice poate fi identificat în mod distinctiv*”; o entitate se referă la un aspect al realității obiective care poate fi deosebit de restul universului și poate reprezenta un obiect fizic, o activitate, un concept etc. Orice entitate este descrisă prin *atributele* sale.

**Un atribut (attribute)**, este o proprietate care descrie un anumit aspect al unei entități. Atributele prin care este descrisă o entitate se aleg pe baza criteriului *relevanței*

relativ la domeniul de interes pentru care se definește modelul respectiv, astfel încât să asigure diferențierea acelei entități față de restul universului.

Toate entitățile similare, care pot fi descrise prin aceleași atribute, aparțin unui același tip de entitate (*entity type*), iar colecția tuturor entităților de același tip dintr-o bază de date constituie o mulțime de entități (*entities set*). În general, în modelul E-A se folosește aceeași denumire atât pentru un tip de entitate cât și pentru mulțimea entităților de acel tip.

Prin analogie cu modelul obiect, se poate spune că un tip de entitate corespunde unei clase, o entitate este o instanță a unui tip de entitate și corespunde unui obiect, iar mulțimea entităților de un tip dat corespunde mulțimii obiectelor (instanțelor) unei clase.

**O asociere** (*relationship*) este o corespondență între entități din două sau mai multe mulțimi de entități.

Gradul unei asocieri este dat de numărul de mulțimi de entități asociate. Asocierile pot fi binare (de gradul 2, între 2 mulțimi de entități) sau multiple (între  $k$  mulțimi de entități,  $k > 2$ ).

Asocierile binare sunt, la rândul lor, de trei categorii, după numărul elementelor din fiecare dintre cele două mulțimi puse în corespondență de asocierea respectivă (fig. 1.5). Fiind date două mulțimi de entități,  $E_1$  și  $E_2$ , se definesc următoarele categorii de asocieri binare:

- **Asocierea „unul-la-unul”** (*one-to-one*) este asocierea prin care unui element (entitate), din mulțimea  $E_1$  îi corespunde un singur element din mulțimea  $E_2$  și reciproc; se notează cu 1:1.

- **Asocierea „unul-la-multe”** (*one-to-many*) este asocierea prin care unui element din mulțimea  $E_1$  îi corespund unul sau mai multe elemente din mulțimea  $E_2$ , dar unui element din  $E_2$  îi corespunde un singur element în mulțimea  $E_1$ ; se notează cu 1:N.

- **Asocierea „multe-la-multe”** (*many-to-many*) este asocierea prin care unui element din mulțimea  $E_1$  îi corespund unul sau mai multe elemente din mulțimea  $E_2$  și reciproc; se notează cu M:N. Cardinalitatea (multiplicitatea) unei asocieri față de o mulțime de entități (*cardinality, multiplicity*), este numărul maxim de elemente din acea mulțime care pot fi asociate cu un element din altă mulțime a asocierii.

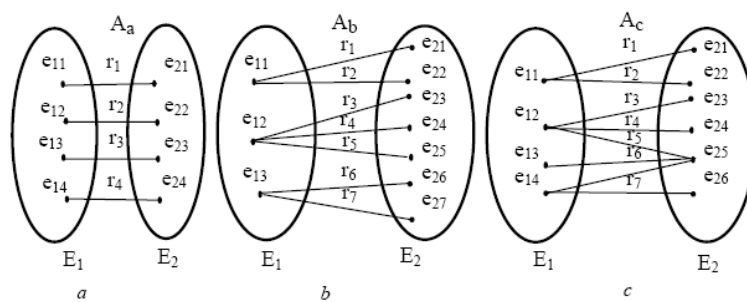


Fig. 1.5. Categoriile de asocieri între două mulțimi de entități: *a* - asociere 1:1; *b* - asociere 1:N; *c* - asociere M:N.

De exemplu, asocierea 1:N dintre mulțimile  $E_1$  și  $E_2$  prezintă multiplicitatea 1 față de mulțimea  $E_1$  și multiplicitatea  $N$  (se înțelege o valoare oarecare  $N > 1$ ) față de mulțimea  $E_2$ . Raportul dintre valorile cardinalităților unei asocieri binare față de cele două mulțimi de entități se numește raport de cardinalitate (*cardinality ratio*). Se poate observa că cele trei categorii de asocieri descrise mai sus diferă între ele prin raportul de cardinalitate.

Asocierile multiple ( $k$ -are,  $k > 2$ ) prezintă câte un raport de cardinalitate pentru fiecare pereche de mulțimi de entități pe care le asociază. O asociere între două sau mai multe mulțimi de entități este, în același timp, o asociere între tipurile de entități corespunzătoare.



**Diagrama Entitate-Asociere** (*Entity-Relationship Diagram*), reprezintă modelul Entitate-Asociere prin mulțimile de entități și asocierile dintre acestea.

Există numeroase variante de notații pentru redarea diagramei E-A. Una dintre cele mai folosite notații reprezintă un tip de entitate (precum și mulțimea de entități de acel tip) printr-un dreptunghi, iar atributele tipului de entitate prin elipse conectate printr-o linie continuă la acesta (fig. 1.6).

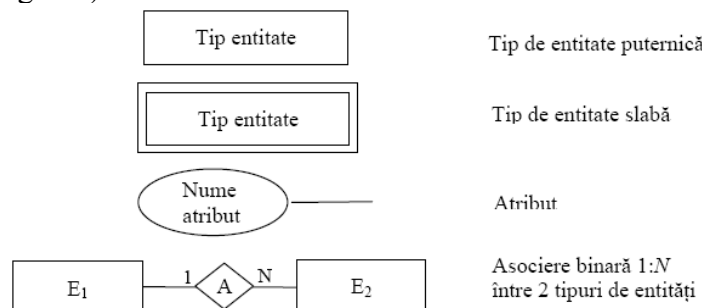


Fig. 1.6. Notațiile diagramei Entitate-Asociere (E-A).

Pentru entitățile puternice se utilizează un dreptunghi încadrat cu o linie simplă, iar pentru entitățile slabe se utilizează un dreptunghi încadrat cu linie dublă.

O asociere (tip de asociere) dintre două sau mai multe tipuri de entități se reprezintă printr-un romb conectat prin link-uri (linii continue, formate din unul sau mai multe segmente) la tipurile de entități asociate. O asociere poate să aibă sau nu un nume; dacă are un nume, acesta poate fi înscris în rombul respectiv sau în vecinătatea acestuia. Categoria asocierii se notează prin înscrierea multiplicității pe fiecare link care conduce la un tip de entitate. Este posibil ca o asociere să prezinte ea însăși atribute și aceste atribute se reprezintă prin elipse conectate la asocieria respectivă.

## 4.2. Modelul Entitate-Asociere Extins

*Modelul Entitate-Asociere Extins (Enhanced Entity-Relationship Model) permite definirea de subtipuri ale unui tip de entități, care moștenesc atribute de la tipul de entitate pe care îl extind (care, în acest context, se numește supertip) și au în plus atribute specifice semnificației lor. Modelul E-A extins se reprezintă printr-o diagramă E-A extinsă. Ierarhiile de tipuri se pot crea prin specializare sau generalizare.*

**Specializarea** (*specialization*), este un proces de abstractizare a datelor prin care, pornind de la un tip de entitate dat, se definesc unul sau mai multe subtipuri, diferențiate între ele în funcție de rolul specific pe care îl au în modelul de date.

**Generalizarea** (*generalization*), este procesul de abstractizare invers specializării, prin care se crează un supertip de entitate pornind de la mai multe tipuri de entități.

Pentru definirea unei generalizări, se identifică atributele comune ale mai multor tipuri de entități, aceste atribute vor caracteriza supertipul de entitate, iar atributele care diferă de acestea rămân specifice fiecărui tip. Rezultatul obținut prin generalizare este ca și în cazul specializării, o ierarhie de tipuri de entități, ceea ce diferă este modul în care se definesc nivelurile ierarhiei.

**Moștenirea atributelor.** Proprietatea principală a ierarhiilor de tipuri de entități create prin specializare sau generalizare este *moștenirea atributelor*: atributele tipurilor de entități de nivel ridicat (supertipuri) sunt moștenite de tipurile de entități de nivel scăzut (subtipuri).

Moștenirea dintre un subtip de entități și supertipul acestuia se reprezintă în diagrama E-A extinsă printr-o legătură (*link*) între subtip și supertipul de entitate corespunzător pe care este plasat un semicerc orientat către subtip (fig. 1.9).



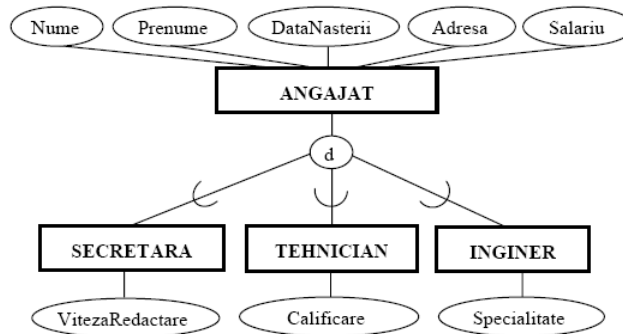


Fig.1.9. Diagrama E-A extinsă cu ierarhie de tipuri de entități.

Este evidentă asemănarea dintre ierarhiile de tipuri de entități din modelul E-A extins și ierarhiile de clase din modelul obiect-orientat, dar modelul *E-A* extins este un model de date mult mai general (de nivel înalt), care poate fi transpus în diferite modele de date specializate, inclusiv modelul obiect-orientat.

### 4.3. Modelul de date ierarhic

În modelul ierarhic (*Hierarchical Model*) o bază de date se reprezintă printr-o structură ierarhică de înregistrări de date (*records*) conectate prin legături (*links*).

Modelul de date ierarhic a fost primul model folosit pentru dezvoltarea bazelor de date. Cea mai cunoscută realizare de SGBD ierarhic este sistemul IMS (*Information Management System*) dezvoltat de firma IBM în cadrul programului de cercetări Apollo, în perioada anilor 1960.

O înregistrare de date în modelul ierarhic este o instanță a unui *tip de înregistrare* (*record type*) și constă dintr-o colecție de câmpuri (*fields*), fiecare câmp conținând valoarea unui atribut. Un tip de înregistrare corespunde unui tip de entitate, iar o înregistrare corespunde unei entități din modelul E-A.

Un *tip de legătură* în modelul ierarhic este un tip de asociere cu raportul de cardinalitate 1:N (de tip părinte-fiu) între două tipuri de înregistrări. Tipul de înregistrare din partea cu multiplicitatea 1 a asocierii este numit tip de înregistrare *părinte*, iar tipul din partea cu multiplicitatea N a asocierii este numit tip de înregistrare *fiu*.

Schema conceptuală a unei baze de date în modelul ierarhic se reprezintă printr-un număr oarecare de scheme ierarhice (fig. 1.10). O schemă ierarhică este un arbore direcționat, reprezentat pe mai multe niveluri, în care nodurile sunt tipurile de înregistrări, iar arcele sunt tipurile de legături. Fiecare nod (cu excepția nodului rădăcină), are o singură legătură către un nod de pe un nivel superior (nodul părinte) și fiecare nod (cu excepția nodurilor frunză) are una sau mai multe legături către noduri de pe nivelul imediat inferior (noduri fii).

Se poate stabili o corespondență între o schemă conceptuală ierarhică și o diagramă E-A: tipurile de înregistrări corespund tipurilor de entități, iar tipurile de legături corespund tipurilor de asocieri. (fig. 1.10, *a* și *b*).

În modelul ierarhic nu sunt admise decât legături de tipul părinte-fiu, care corespund asocierilor 1:1 și asocierilor 1:N din modelul E-A. Asocierile M:N din modelul E-A nu se pot reprezenta în mod direct în modelul ierarhic, ci numai prin multiplicarea înregistrărilor de tip fiu, atunci când sunt referite de mai multe înregistrări de tip părinte. Acest lucru conduce la o mare redundanță a datelor. Corespunzător schemei ierarhice a unei baze de date se pot reprezenta mai mulți arbori de instanțiere a datelor, care sunt, de asemenea, arbori direcționați

(fig. 1.10, c). Fiecare arbore de instanțiere conține ierarhii pe mai multe niveluri de înregistrări între care există legături de tipul părinte-fiu.

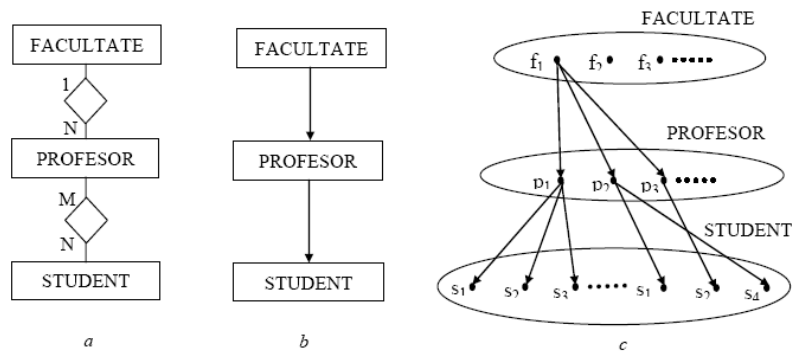


Fig. 1.10. Bază de date ierarhică: a - diagrama E-A; b - schema conceptuală a bazei de date ierarhice; c - arbori de instanțiere a datelor.

Avantajele modelului ierarhic sunt simplitatea și eficiența de calcul, dar în momentul de față, pentru realizarea bazelor de date sunt preferate modele de date mai puternice (modelul relațional, modelul obiect-orientat).

## BIBLIOGRAFIE

1. Date, C.J., *"An Introduction to Database Systems"*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1995.
2. Dolliner, R., *"Baze de Date și Gestiunea Tranzacțiilor"*, Ed. Albastră, Cluj-Napoca, 1997.
3. David, N., Rațiu, I.G., *Concurrency in Database Systems*, Revista Academiei Forțelor Terestre Nr.4/2007, Editura Academiei Forțelor Terestre, Sibiu, ISSN 1582-6384.
4. David, N., Rațiu, I.G., *Some Aspects of Database Design*, Buletinul Științific al Academiei Forțelor Terestre Nr.2/2007, Editura Academiei Forțelor Terestre, Sibiu, ISSN 1224-5178.
5. Mezey, Gy., *Clustering in Logical Data Base Design*, in: Computer-aided decision making, 1-4. Oct.1985. Prague, pag. 27.
6. Rațiu, I.G., *Baze de date*, Editura Universității "Transilvania", Brașov, 2008, ISBN 978-973-598-207-2.
7. Rațiu, I.G., *Baze de date, Îndrumar de laborator, Exerciții*, Editura Universității "Transilvania", Brașov, 2008, ISBN 978-973-598-207-3.
8. Rațiu, I.G., *Despre Baze de Date Access (Microsoft Office Access 2003)*, Revista "Meridian Ingineresc", Nr. 4/2007, Editura UTM, Chișinău, Republica Moldova, ISSN 1683-853X.
9. Rațiu, I.G., David, N., *Working with Databases in Java*, Buletinul Științific al Academiei Forțelor Terestre Nr.2/2007, Editura Academiei Forțelor Terestre, Sibiu, ISSN 1224-5178.
10. Rațiu, I.G., *Despre Aplicația Oracle*, Revista "Meridian Ingineresc", Nr. 1/2008, Editura UTM, Chișinău, Republica Moldova, ISSN 1683-853X.
11. Rațiu, I.G., David, N., *Open Systems Architecture, The knowledge based organization*, The 13<sup>th</sup> International Conference, Computer Science, Modelling and Simulation, E-learning Technologies and Solutions for the Engineering Domain, Conference Proceedings 11, The 22<sup>nd</sup>-25<sup>th</sup> of November 2007, Land Forces Academy Publishing House, ISSN 1843-6722.
12. \*\*\* *Sistemul de gestiune a bazelor de date Oracle*, <http://www.oracle.com>
13. \*\*\* *Sistemul de gestiune SQL Server*, <http://www.microsoft.com/sql>
14. \*\*\* *Sistemul de gestiune MySQL*, <http://www.mysql.com>

\* Ioan-Gheorghe Rațiu, lector universitar, dr. ing., Universitatea "George Barițiu", Brașov, Str. Lunii Nr.6, tel. 0740-080-463, e-mail: [ratiu\\_2000@yahoo.com](mailto:ratiu_2000@yahoo.com)

# K Nearest Neighbor pentru predicția seriilor de timp

Adela Sasu\*

**Abstract.** This paper contains a description of K-NN (K Nearest Neighbor) based method - that can be used for univariate time series prediction. The given method is inspired by machine learning techniques. Experimental results and comparisons with the predicted values obtained by ARIMA show a good behavior of this approach.

**Key words:** ARIMA, K Nearest Neighbor, Prediction.

**2000 MSC :** 91B70, 91B84, 60G25.

## 1 Introducere

În acest articol voi prezenta o altă metodă de predicție pentru serii de timp bazată pe metoda celor mai apropiați  $k$  vecini, cunoscută în literatura de specialitate ca metoda  $k$ -nearest neighbor ( $k$ -NN). Este o metodă simplă din punct de vedere conceptual, dar care și-a dovedit utilitatea în rezolvarea problemelor de clasificare și de regresie. Deși concepută pentru clasificare, ea poate fi extinsă pentru efectuarea de predicții de serii de timp. Astfel de variații sunt descrise de exemplu în [2], [3], [8], etc.

## 2 Descrierea metodei K Nearest Neighbor

$k$ -NN este o metodă neparametrică de clasificare bazată pe măsurarea similarității unui punct față de o mulțime de puncte a căror clasă se cunoaște.  $k$ -NN este un tip de învățare bazată pe exemple. Ea nu construiește efectiv un model ci clasificarea unui nou punct se face pe baza punctelor din vecinătatea acestuia.

Formal, problema se enunță astfel: dându-se o mulțime de clase (etichete, categorii, etc.),  $\mathcal{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$  și o mulțime de perechi de forma

$$S = \{(\mathbf{x}_1, y_1), (\mathbf{x}_2, y_2), \dots, (\mathbf{x}_n, y_n)\},$$

$y_i \in \mathcal{C}$ ,  $i = \{1, 2, \dots, n\}$ , numită mulțime de instruire și  $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \in \mathbb{R}^p$ ; se pune problema determinării clasei  $y \in \mathcal{C}$  corespunzătoare unui nou punct  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ . Clasificarea lui  $\mathbf{x}$  se face pe baza a  $k \in \mathbb{N}^*$  vecini, cei mai apropiați de  $\mathbf{x}$ , unde  $k$  reprezintă un parametru al algoritmului.

Determinarea celui mai apropiat vecin  $\mathbf{x}_i$  al vectorului  $\mathbf{x}$  se face pe baza unei funcții distanță. În practică cele mai utilizate sunt distanța Euclidiană și distanța  $L_1$ , definite

---

\*Universitatea Transilvania Brașov, Catedra de Analiză Matematică și Probabilități, asasu@unitbv.ro

ca în (1) și (2):

$$d_E(\mathbf{x}, \mathbf{x}_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_j)^2} \quad (1)$$

și respectiv

$$d_{L_1}(\mathbf{x}, \mathbf{x}_i) = \sum_{j=1}^p |x_{ij} - x_j|. \quad (2)$$

Algoritmul de clasificare este următorul:

Pas 1 : Calculează  $d(\mathbf{x}_i, \mathbf{x})$ , pentru  $i = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

Pas 2 : Din mulțimea distanțelor se aleg cele mai mici  $k$  distanțe. Fie

$$\{\mathbf{x}_{o(1)}, \mathbf{x}_{o(2)}, \dots, \mathbf{x}_{o(k)}\} \subset \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p\}$$

mulțimea celor mai apropiați  $k$  vecini ai vectorului  $x$ .

Pas 3 : Determină valoarea care apare cel mai des în lista  $y_{o(1)}, y_{o(2)}, \dots, y_{o(k)}$ . Această clasă va fi asociată vectorului  $\mathbf{x}$ .

### Observația 1.

1. *Observăm că se folosește o strategie de votare, luând în considerare cei mai apropiați  $k$  vecini; apropierea este văzută ca o măsură a similarității între vecin și punctul curent  $\mathbf{x}$ .*
2. *Valoarea  $k$  este aceeași pentru orice vector  $x$  ce urmează a fi clasificat, dar depinde de la o problemă la alta;*
3. *În caz de vot egal (lista  $y_{o(1)}, y_{o(2)}, \dots, y_{o(k)}$  conține două elemente cu frecvență egală maximă) se poate apela la o politică de alegere a unei clase.*

Alegerea lui  $k$  depinde de date. În general valorile mari pentru  $k$  reduc efectul de zgomot în cadrul clasificării. O valoare potrivită pentru  $k$  se alege în practică prin diferite metode euristice, specifice învățării automate. Acuratețea algoritmului  $k$ -NN poate fi negativ afectată de dimensiunea mare a vectorului  $p$ , sau de zgomot (perechi  $(\mathbf{x}_i, y_i)$  greșite sau nereprezentative).

Pentru  $k = 1$  în [1] se demonstrează un rezultat remarcabil asupra mediei probabilității de eroare pentru cazul  $n \rightarrow \infty$ . Demonstrația se bazează pe modelarea clasei asociate vectorului ce trebuie clasificat  $\mathbf{x}$  ca fiind o variabilă aleatoare cu distribuția de probabilitate:

$$\begin{pmatrix} C_1 & \dots & C_m \\ P(C_1|x) & \dots & P(C_m|x) \end{pmatrix}$$

Media necondiționată a probabilității de eroare este:

$$P_n(e) = \int_{\mathbb{R}^n} P_n(e|\mathbf{x})p(\mathbf{x})d\mathbf{x}, \quad (3)$$

unde  $P(e|\mathbf{x})$  reprezintă probabilitatea de eroare în clasificarea lui  $\mathbf{x}$  pentru o mulțime de instruire de  $n$  perechi, iar  $p(\mathbf{x})$  este densitatea de probabilitate.

Dacă notăm cu  $P^*$  valoarea minimă posibilă pentru  $P_n(e)$ , atunci în [1] se arată că:

$$P^* \leq P = \lim_{n \rightarrow \infty} P_n(e) \leq P^* \left( 2 - \frac{m}{m-1} P^* \right). \quad (4)$$

Proprietăți similare sunt enunțate pentru  $k > 1$ .

$k$ -NN poate fi folosit pentru regresie, în cazul în care vectorilor  $x_i$  le sunt asociate valori reale. Valoarea asociată vectorului  $\mathbf{x}$  se calculează ca medie a valorilor asociate celor mai apropiați  $k$  vecini:

$$y = \sum_{i=1}^k \frac{y_{o(i)}}{k}. \quad (5)$$

Predicția are acuratețe mai mare dacă se folosește ponderarea valorilor vecinilor astfel încât formula (5) devine:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^k w_{o(i)} y_{o(i)}}{\sum_{i=1}^k w_{o(i)}} \quad (6)$$

unde  $w_{o(i)}$  este o funcție nedescrescătoare în raport cu distanța dintre  $\mathbf{x}$  și  $\mathbf{x}_{o(i)}$ . Ponderarea arată că vecinii cu apropiere mare de vectorul  $\mathbf{x}$  au un impact mai mare în calcularea valorii de ieșire asociate lui  $\mathbf{x}$ .

În practică s-au dovedit eficiente folosirea ponderilor invers proporționale cu distanța la vecini:

$$w_{o(i)} = \frac{1}{d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_{o(i)})}, \quad i \in \{1, 2, \dots, k\}. \quad (7)$$

Pentru  $d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_{o(1)}) = \dots = d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_{o(k)}) = constant$  formula (6) devine (5).

Pentru folosirea lui  $k$ -NN într-o problemă de predicție pe serii de timp univariate, trebuie să avem în vedere următoarele:

1. definirea strategiei de căutare a vecinilor cei mai apropiați;
2. construirea valorilor prezise pentru seria de timp.

### 3 Rezultate experimentale

Această secțiune conține niște studii de caz pe serii de timp monovariabile care provin din situații reale și reprezintă evoluția unor procese din domeniul economic. Un rol important în stabilirea modelului final al seriei de timp analizate îl are măsura de acuratețe MAPE definită prin ecuația (8).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{|Y_t|} \cdot 100, \quad (Y_t \neq 0), \quad (8)$$

unde  $Y_t$  este valoarea actuală,  $\hat{Y}_t$  valoarea prognozată, și  $n$  numărul de previziuni;

Cu cât valoarea lui MAPE este mai mică cu atât modelul găsit se potrivește mai bine pe seria de timp analizată.

O parte din aceste studii de caz au fost dezvoltate, prezentate și publicate de autoare cu prilejul unor conferințe naționale și internaționale ([4], [5], [6], [7]).

Seria	ARIMA MAPE	$k$ -NN MAPE
Șomaj	8.60	6.28
Vânzare_NSA	1.65	1.58
Vânzare_SA	1.32	0.66
Construcție	5.02	4.10
Educație	0.62	0.46
Export	8.16	6.99
Gaz	19.22	10.9

Tabela 1: Rezultatele obținute cu ARIMA, respectiv cu  $k$ -NN

Datele seriilor de timp analizate au fost luate de pe site-urile [www.economagic.com](http://www.economagic.com) și <http://research.stlouisfed.org/fred2/series> și fac parte din domeniul economic.

Din experimentele realizate și prezentate în tabela 1 putem extrage următoarea concluzie: de fiecare dată,  $k$ -NN duce la valori MAPE mai bune decât modelarea prin ARIMA. Aceste valori ale lui MAPE sunt cu 4 – 50% mai mici decât valorile lui MAPE pentru ARIMA.

## Bibliografie

- [1] Duda, O., R., Hart, E., P., Stork, G., D., Pattern Clasification, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA, 654p., 2001
- [2] Oswald, R.K., Scherer, W.T., Smith, B.L., Traffic Flow Forecasting Using Approximate Nearest Neighbor Nonparametric Regression, A Research Project Report No. UVACTS-15-13-7 For the National ITS Implementation Research Center, December 2001
- [3] Plummer, E.A., Time Series Forecasting with Feed-Forward Neural Networks guidelines and limitations, Master Thesis, 2000
- [4] Sasu, A., An Application of ARIMA Models, Bulletin of the Transilvania University of Brasov 11(46), Series B1. Transilvania Univ. Press-Brasov, 61-68, ISSN 1223-964X, 2005
- [5] Sasu, A., Trends in Economic Time Series, 7-th European Conference E-COMM-LINE 2006, București, C7-60-06, ISBN 973-88046-0-4, ISBN 978-973-88046-0-9, 2006
- [6] Sasu, A., Time series forecasting methods, Sesiunea de comunicări științifice cu participare internațională, Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă", Brașov-România, ISBN 978-973-8415-45-4, 2007
- [7] Sasu, A., Time Series Forecasting using Arima Models, 8-th European Conference E-COMM-LINE 2007, 20-22 Sept., București, ISBN-10: 973-88046-6-3, ISBN-13: 978-973-88046-6-1, 67e,4 pg., 2007
- [8] Yakowitz, S., Nearest-neighbor methods for time-series analysis. Journal of Time Series Analysis, Vol. 8, No. 2, 235-247, 1987

## METODE DE CALCUL A FUNCȚIEI DE INTERCORELAȚIE BIDIMENSIONALĂ

Petru SCURTU \*

*Cazul bidimensional al funcției de intercorelație, determinat de natura informației, implică un studiu asupra metodei de calcul a acestei funcții din punct de vedere al timpului solicitat de corelatorul numeric.*

### 1. Introducere

Definim un semnal ca fiind o mărime fizică purtătoare de informație, reprezentată matematic de o funcție. Variabilele independente ale acestei reprezentări pot fi continue sau discrete. Considerăm cazul bidimensional al informației (ex. imaginea tv).

O imagine reprezintă o distribuție continuă de luminanță într-un spațiu euclidian tridimensional  $E^3$  (domeniul distribuției optice). Prin detecție, distribuția tridimensională este transformată prin proiecție într-o distribuție bidimensională. În urma înregistrării distribuției de luminanță (printr-o metodă oarecare), se obține un semnal imagine. Luminanța este o funcție unidimensională, pozitivă, continuă în planul imaginii. Având în vedere suportul fizic al înregistrării, imaginea devine un semnal discret. Domeniul căruia îi aparține acest semnal este numit domeniul distribuției electrice, iar luminanța (în acest domeniu) va fi asociată unei mărimi  $B$  numită luminozitate.

Matematic, transformarea de mai sus poate fi exprimată sub forma [B4]:

$$b_e(x, y) = T\{h(x, y) \otimes s(x, y)\} + v(x, y)$$

$$\text{unde } b_e \in B_e = [B_{\min}, B_{\max}]; s \in L = [0, +\infty) \quad (1)$$

$$\text{și } T\{\cdot\} : L \rightarrow B_e \subset B$$

În relația de mai sus  $b_e(\cdot)$  este semnalul imagine în domeniul distribuției electrice,  $s(\cdot)$  descrie distribuția continuă de intensitate luminoasă pe suprafața obiectului în domeniul distribuției optice,  $h(\cdot)$  funcția pondere a filtrului (mediul de propagare în domeniul distribuției optice), iar  $v(\cdot)$  reprezintă zgomotul de observare în domeniul distribuției electrice, unde  $x, y \in Z$ . Operatorul neliniar  $T\{\cdot\}$  realizează trecerea din domeniul distribuției optice în domeniul distribuției electrice, iar operația  $\otimes$  reprezintă convoluția bidimensională.

Facem următoarele ipoteze de lucru:

- 1-Mediul de propagare nu produce perturbații asupra distribuției de luminanță în domeniul distribuției optice.
- 2- Elementele receptorului optic sunt ideale.
- 3- Transformarea  $T\{\cdot\}$  este liniară.
- 4- Detectorul nu introduce zgomote și este limitat spațial.



5- Cuantificarea și prelucrarea numerică nu introduc erori.

În ipotezele 1÷5, imaginea ideală este un semnal

$$W_u \triangleq \{u \in b_e[K] / B_{\min}(r) \leq u(r) \leq B_{\max}(r), \forall r \in K\} \quad (2)$$

unde  $K$  este un suport plan, iar  $r$  o variabilă vectorială pe acest suport.  $B_{\min}$  și  $B_{\max}$  reprezintă valorile minime, respectiv, maxime ale luminozității semnalului înregistrate pe suportul  $K$ . Acesta respectă următoarele constrângeri:

- semnalul este nenegativ, oriunde pe suportul  $K$ ,  $B_{\min} \geq 0$ ;
- mărginirea valorii sumei pe suport

$$\sum_{r \in K} W_u(r) = W_0 < +\infty \quad (3)$$

Cele două constrângeri sunt impuse de utilizarea intensității luminoase nenegative. Intervalul  $G = B_{\max} - B_{\min}$  este cunoscut sub denumirea de gamă dinamică. Potrivit constrângerii 2, fie suportul de dimensiune  $N \times M$ . El va fi eșantionat cu pasul  $l_0$ , uniform pe ambele axe. Fie  $N, M$  numere naturale, astfel încât  $N \times l_0 \leq N$  și  $M \times l_0 \leq M$ . Semnalul imagine numeric este descris de funcția

$$u: D_u \rightarrow G, \quad (i, j) \rightarrow u(i, j), \quad i = \overline{1 \dots N}, j = \overline{1 \dots M} \quad (4)$$

iar  $N \times M$  este domeniul 2-conex, ce constituie suportul ei.

## 2. Metode de calcul a funcției de intercorelație bidimensională

O cale de comparare a două semnale se bazează pe decalarea unui semnal față de celălalt și măsurarea similarității dintre ele funcție de această întârziere. Matematic, în cazul a două secvențe numerice această operație este descrisă de:

$$\phi_{xy}[i, j] = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} x[n, m] y[n+i, m+j] \quad (5)$$

și poartă numele de funcție de intercorelație bidimensională<sup>1</sup>. În situația în care,  $x \equiv y$ , se obține funcția de autocorelație. Dar semnalele  $x$  și  $y$  iau valori diferite de zero pe suportul finit  $L \times M$ ,  $-L \leq i < L$  și  $-M \leq j < M$ . Pentru simplitatea scrierii, fie  $N = \max\{L, M\}$ . Proiecția semnalelor pe noul suport se va obține prin completarea cu valori nule. Astfel, dimensiunea va fi  $(-N, -N) \leq (i, j) < (N, N)$ , iar relația devine:

$$\phi_{xy}[i, j] = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} x[n, m] y[n+i, m+j] \quad (6)$$

Domeniul de valori al funcției  $\phi_{xy}[i, j]$  este  $2N \times 2N$ . Calculul direct presupune efectuarea a  $N$  multiplicări și  $N-1$  adunări de  $N$  ori și  $N-1$  adunări. Operația se repetă de  $4N^2$  ori, corespunzător tuturor perechilor  $(i, j)$  de pe suportul funcției, iar timpul de calcul total va fi:

$$t_{cd} = 4N^2 [N^2 t_m + (N-1)^2 t_a] = 4N^4 t_m + [2N(N-1)]^2 t_a \quad (7)$$

unde  $t_m$  și  $t_a$  corespund timpului în care este efectuată o multiplicare, respectiv o adunare. Se cunoaște și o cale indirectă de calcul.

Expresia transformatei Fourier bidimensionale directe a semnalului  $u[i, j]$  calculată după un algoritm rapid este dată de [B1]:

$$U[k, l] = \sum_{n=0}^{S-1} \sum_{m=0}^{S-1} u[n, m] w^{kn} w^{lm} \quad (8)$$

<sup>1</sup> Marcarea cu paranteze drepte  $\Leftrightarrow$  semnal eșantionat și cuantificat.

$$\text{unde } w = e^{-j\frac{2\pi}{2^r}} \text{ pentru } r = \log_2 N \quad (9)$$

iar  $k, l$  sunt frecvențe spațiale. Expresia transformatei inverse este:

$$u[n, m] = \frac{1}{S^2} \sum_{k=0}^{S-1} \sum_{l=0}^{S-1} U[k, l] w^{-kn} w^{-lm} \quad (10)$$

Aplicând transformata Fourier bidimensională directă asupra relației, schimbând ordinea de sumare, grupând termenii și apoi prin intermediul unei schimbări de variabilă, se poate pune în evidență relația:

$$\Phi_{xy}[k, l] = X^*[k, l] Y[k, l] \quad (11)$$

Ca urmare, funcția de intercorelație va avea expresia:

$$\phi_{xy}[i, j] = \frac{1}{4N^2} \sum_{k=0}^{2N-1} \sum_{l=0}^{2N-1} X^*[k, l] Y[k, l] w^{-ki} w^{-lj} \quad (12)$$

Calculul transformatei Fourier bidimensionale directe a unui semnal  $M \times M$  presupune calculul a  $M$  transformate Fourier rapide (FFT<sup>2</sup>) (în timpul  $t_{FFT}$  în cazul algoritmului monodimensional), adică:

$$t_{TFBD} = 2M t_{FFT} \quad (13)$$

Multiplicarea punctuală a două matrici complexe de dimensiune  $M \times M$  presupune un consum de timp de

$$t_{pm} = 4M^2 t_m + 2M^2 t_a \quad (14)$$

Considerând durata de execuție a împărțirii egală cu cea a înmulțirii, timpul de calcul al transformatei Fourier bidimensionale inverse va conține și termenul corespunzător normării. Astfel, pentru semnalul definit pe  $2N \times 2N$ , calculul prin metoda indirectă se realizează în:

$$\begin{aligned} t_{ci} &= 2t_{TFBD} + t_{pm} + t_{TFBI} = \\ &= 8Nt_{FFT} + 16N^2 t_m + 8N^2 t_a + 4Nt_{FFT} + 4t_m = \\ &= 12Nt_{FFT} + 4(4N^2 + 1)t_m + 8N^2 t_a \end{aligned} \quad (15)$$

Luând în considerare timpul necesar executării transformatei Fourier rapide a unei secvențe de lungime  $2N$ , și anume  $N(\log_2 N - 1)t_m$  și  $[N(\log_2 N - 1) - 1]t_a$ , se obține:

$$t_{ci} = (24N^2 \log_2 N + 16N^2 + 4)t_m + (24N^2 \log_2 N - 16N^2)t_a \quad (16)$$

Metoda directă se dovedește prohibitivă din punct de vedere al costului, fiind practicabilă numai până la dimensiuni de cel mult  $64 \times 64$ .

Volumul de calcul este ridicat în cazul în care unul din semnale este un detaliu mic din celălalt, întrucât zona valorilor nule obținute prin proiecția pe suportul  $2N$  este foarte întinsă.

Presupunem în continuare că semnalul  $x$  are  $\alpha$  eșantioane nenule, începând de la eșantionul  $d_\alpha$ , astfel încât  $\alpha + d_\alpha < N$ . În același mod, semnalul  $y$  are  $\beta$  eșantioane nenule,  $\beta \ll \alpha$ . Funcția  $\phi_{xy}[.]$  va avea  $2(\alpha + \beta - 1) \times 2(\alpha + \beta - 1)$  eșantioane nenule, începând de la eșantionul  $(d_\alpha + d_\beta)$ . Prin limitarea suportului, semnalele  $x$  și  $y$  au devenit periodice spațial: suportul finit acționează ca o fereastră bidimensională aplicată semnalului imagine infinit. Dacă  $(\alpha + \beta - 1) \leq N$ , nu vor apare intervale de interferență.  $\phi_{xy}[.]$  poate fi obținută în întregime sau parțial extrăgând perioada  $N \times N$  pornind din punctul  $(d_\alpha, d_\beta)$ .

Fie  $\alpha = N$  și  $d_\alpha = 0$ . Evident,  $(\alpha + \beta - 1) = L \geq N$ . Rezultatul neafectat de erori se va regăsi în intervalele  $2N - L$ , începând din punctul  $(L - N, L - N)$ . Dacă  $d_\beta = L - N$  ( $d_\beta + \beta \ll N$ ) rezultatul este corect pe întreaga perioadă  $2N$ . Împărțim suportului  $N$  în  $K$  intervale de lungime  $P$ , ultimul fiind  $P_r < P$  astfel încât  $N = KP + P_r$ . Produsul de intercorelație determinat pentru primul

<sup>2</sup> FFT - transformata Fourier rapidă (lb. engl.)

interval se calculează fără eroare într-un interval  $P+\beta-1$ , memorându-se  $P$  valori începând de la  $d_\beta = \beta$ . Următoarele eşantioane în domeniul de frecvență se obțin calculând produsul de intercorelație pentru al doilea interval de lungime  $P$ , memorându-se valorile obținute în continuarea celor anterioare începând cu  $\beta+1$ . Operațiunea se repetă pentru toate intervalele  $P$ . Semnalul corespunzător lui  $P_r$  se completează cu zerouri până la obținerea unei secvențe de  $P$  eşantioane. După aceeași metodologie, din acest produs se memorează numai primele  $\beta+P_r$  valori. Se observă că ele corespund ultimei porțiuni a produselor parțiale și nu sunt afectate de erorile datorate interferenței. Se repetă calculul și pentru cealaltă dimensiune.

Conform acestui algoritm se evită completarea cu un număr mare de zerouri a celui de-al doilea semnal până la dimensiunea primului, apoi a ambelor până la valoarea corespunzătoare celui mai mic număr putere a lui 2 mai mare decât  $N$ .

Pentru compararea costurilor de calcul, se consideră primul semnal de durată  $256 \times 256$ , iar al doilea  $16 \times 16$ . Numărul de zone de calcul este de  $16 \times 16$ . Rezultatele sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabel -1

Metoda	Număr zone	Dimensiune zone	Număr operații
Directă	1	$512 \times 512$	$2,75 \times 10^{11}$
Indirectă	1	$512 \times 512$	$6,08 \times 10^9$
Salvare suprapusă	256	$16 \times 16$	$6,7 \times 10^7$ m. directă $7,3 \times 10^6$ m. indirectă

Relațiile (8) și (10) pot fi exprimate în forma matricială:

$$\mathbf{X} = \mathbf{W}_x \mathbf{W}^H \quad (17)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{W}^{-1} \mathbf{X} (\mathbf{W}^{-1})^H$$

unde indicele  $^H$  exprimă hermitianul matricii, iar  $\mathbf{W}$  este

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 & w^0 & \dots & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & \dots & w^{N-1} \\ w^0 & w^2 & w^4 & \dots & w^{2(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w^0 & w^{N-1} & w^{2(N-1)} & \dots & w^{(N-1)^2} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Semnalele  $x[.]$  și  $y[.]$  se proiectează pe un suport  $2N \times 2N$  prin completarea cu zerouri. Calculul (5) prin metoda indirectă, scrisă sub formă matricială este:

$$\Phi_{XY} = \mathbf{X}^* \mathbf{Y}$$

$$\varphi_{xy} = \mathbf{W}^{-1} \Phi_{XY} (\mathbf{W}^{-1})^H = \mathbf{W}^{-1} (\mathbf{X}^* \mathbf{Y}) (\mathbf{W}^{-1})^H = \quad (19)$$

$$= \mathbf{W}^{-1} \left[ (\mathbf{W}_x \mathbf{W}^H)^* (\mathbf{W}_y \mathbf{W}^H) \right] (\mathbf{W}^{-1})^H$$

Imaginea este o funcție reală cu valori strict pozitive și se poate realiza o creștere a vitezei de calcul a funcției de intercorelație pentru metoda indirectă (pe baza linearității transformatei Fourier).

Fiecare rând de ordin impar se scrie ca parte imaginară a rândului anterior (primul este 0), calculându-se apoi FFT pentru fiecare semnal obținut. Rezultatul este disponibil după un timp de  $Nt_{FFT}$ .

Se construiește matricea spectrului spațial al liniilor utilizând relații similare celor prezentate în [B2]:

$$\begin{cases} \operatorname{Re}[X_l[k, p]] = \{\operatorname{Re}[X[k, p]] + \operatorname{Re}[X[2N - k, p]]\}/2 \\ \operatorname{Im}[X_l[k, p]] = \{\operatorname{Im}[X[k, p]] - \operatorname{Im}[X[2N - k, p]]\}/2 \\ \operatorname{Re}[X_{l+1}[k, p]] = \{\operatorname{Im}[X[k, p]] + \operatorname{Im}[X[2N - k, p]]\}/2 \\ \operatorname{Im}[X_{l+1}[k, p]] = -\{\operatorname{Re}[X[k, p]] - \operatorname{Re}[X[2N - k, p]]\}/2 \end{cases} \quad (20)$$

$$l = 2p, p = 0, \dots, N-1$$

unde  $p$  este indicele de ordine al transformatei (perechii de linii par-impair). În continuare, această matrice va fi transpusă și se vor calcula transformatele monodimensionale pentru fiecare linie. Rezultatul conține numai numere complexe, nefiind aplicabilă o nouă reducere de calcul după transpunere. Al doilea semnal este transformat într-un mod similar. Timpul consumat până la această etapă corespunde valorii de  $2(Nt_{FFT} + 2Nt_{FFT})$ . Se execută multiplicarea punct cu punct a celor două semnale în domeniul de frecvență spațială, operație ce presupune costul dat de (7), după care se revine în domeniul spațial prin aplicarea unei transformate Fourier bidimensionale inverse calculată după un algoritm rapid. În final, costul total de calcul va fi:

$$\begin{aligned} t_{ci} &= 2(Nt_{FFT} + 2Nt_{FFT}) + t_{pm} + t_{TFBI} = \\ &= 6Nt_{FFT} + 16N^2t_m^c + 8N^2t_a^c + 4Nt_{FFT} + 4t_m^c = \\ &= 10Nt_{FFT} + 4(4N^2 + 1)t_m^c + 8N^2t_a^c \end{aligned} \quad (21)$$

Indicele  $c$  are semnificația operației cu numere complexe. Exprimând în termenii operațiilor cu numere reale,

$$\begin{aligned} t_{ci} &= 10N[2N \log_2 N t_m + 2N(\log_2 N - 1)t_a] + \\ &+ 4(4N^2 + 1)t_m + 8N^2t_a = \\ &= [20N^2 \log_2 N + 16N^2 + 4]t_m + [20N^2 \log_2 N - 12N^2]t_a \end{aligned} \quad (22)$$

Potrivit valorilor din tabelul 1, timpul de calcul prin metoda directă este adus la o valoare comparabilă cu cea realizată prin metoda indirectă.

### 3. Concluzii

În principal, funcția de intercorelație bidimensională poate fi calculată prin două metode: directă și indirectă. Metoda directă aduce avantajul obținerii unui rezultat real, strict pozitiv. Calculul prin intermediul metodei indirecte implică introducerea în circuit a unor surse de zgomot, dar necesită un timp mult mai scurt de calcul al intercorelației. Un aport semnificativ în reducerea timpului de calcul se obține pe calea fragmentării suportului. Aplicând metoda directă se obține un cost mai mic față de calculul prin metoda indirectă pe un suport eventual completat cu zerouri pentru utilizarea algoritmului de calcul rapid.

#### Bibliografie

- [1]. Kunt M., Traitement numeriques des signaux, vol. XX, Presses polytechnique romandes, Lausanne, 1989.
- [2]. Gold B., Rader C.M., Digital Signal Processing, Lincoln Laboratory Publications, McGraw Hill, New York, 1990.
- [3]. Rusu A., Considerații asupra unei metode de prelucrare a imaginii, utilizabilă în sistemele de dirijare a rachetelor, Revista Tehnică Militară, nr.2, 1996.
- [4]. Vlaicu A., Prelucrarea digitală a imaginilor, Ed. Albastră, Cluj-Napoca, 1997.
- [5]. Wright H., Crandall C., Miller P., Active filters enable color imaging, Laser Focus World, A Pennwell Publication, Vol. 32, No.5, may 1996.

\* ing. Scurtu Petru ,Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă"

## COMPLEXITATEA UNOR ALGORITMI IN REZOLVAREA PROBLEMEI GENERALIZATE A TURNURILOR DIN HANOI

Tiberiu SOCACIU\*  
Ioan MAXIM\*\*

*Abstract: We give 3 different algorithms which evaluate in 3 different mode numbers of minimal moves. We offer a first recurrence for  $p()$  based on optimality principle of Bellman. We remind that algorithm A1 based on this recurrence has an  $EXP(SQRT)$  complexity. On a new recurrence, we build a new algorithm A2 that have a 3rd order polynomial complexity. Finally, based on a conjecture, we build an algorithm A3 that have a 3rd order polynomial complexity. A1 algorithms can be parallelized on computer cluster based on message-passing like interface. A3 algorithm are asymptotic better because A3 are linear (intermediars not asymptotic).*

*Key-Words: Bellman principle, serial and parallel algorithms, Backtracking algorithm, complexity of algorithm, Hanoi's problem.*

*2000 Mathematics Subject Classification: 68W40, 05A17, 65K05.*

### I. Generalizarea Problemei Turnurilor din Hanoi

Problema clasica a turnurilor din Hanoi poate fi extinsa de la un intermediar la doi sau mai multi. O extensie cu doi intermediari poate fi gasita in [5], iar o generalizare cu formularea unei recurenteia fost enuntata in [6]. Notam cu  $p(m,n)$  numarul minim de mutari pentru  $n$  discuri si  $m$  intermediare.

#### **Teorema:**

a)  $p(1, N) = 2^N - 1$ ;

b)  $p(2, N) = \lfloor N - A \times (A + 3) / 2 \rfloor$ , where  $A = \text{FLOOR}(\lfloor 1 + \sqrt{1 + 8 \times N} \rfloor / 2)$ .

#### **Demonstratie:**

a) evident;

b) vezi [5].

## II. Primul algoritm (recurenta bazata pe principiul lui Bellman)

Folosind principiul lui Bellman, vom pentru  $p()$  dubla recurenta (vezi [5], [6]):

$$(R1) \quad p(m, 0) = 0$$

$$(R2) \quad p(0, n) = \infty \text{ for } n > 0, \text{ and } 0 \text{ for } n = 0$$

$$(R3) \quad p(m, n + 1) = \min \{1 + 2 \times \sum (1 \leq k \leq n \wedge Y[1] + \dots + Y[k] = n \mid p(m + 1 - k, Y[k]))\}$$

Pentru a evalua valorile lui  $p()$  cu

$$(m, n) \in [0 .. \text{Maxm}] \times [0 .. \text{Maxn}]$$

putem folosi algoritmul urmator bazat pe recurenta (R):

Algorithm A1

```

For m = 0 to Maxm do
  For n = 0 to Maxn do
    If n = 0 then
      P[m,n] := 0
    Elsif m = 0 then
      P[m,n] := infinite
    Else
      P[m,n] := PART (n-1)
    End If
  End For
End For
End Algorithm

```

unde PART() este o functie care genereaza toate partiile unui intreg folosind algoritmi de tipul Backtracking (vezi [8]) si estimeaza minimul din (R3). Este o buna idee paralelizarea lui PART folosind ideile din [7], [9], [10].

**Teorema.** Complexitatea timpului de executie a algoritmului A1 este  $\Omega(\text{Maxm} \times (e^{\sqrt{\text{Maxn}}}) / \text{Maxn})$ .

**Demonstratie:** vezi [2].

## III. Al doilea algoritm (alta recurenta bazata pe principiul lui Bellman)

Ca o alternativa la recurenta (R) pentru rezolvarea problemei generalizate a turnurilor din Hanoi, folosind acelasi principiu al optimalitatii, in [4] am dat recurenta:

$$(S1) \quad p(m, 0) = 0$$

$$(S2) \quad p(0, n) = \infty \text{ for } n > 0, \text{ and } 0 \text{ for } n = 0$$

$$(S3) \quad p(m, n + 1) = \min \{1 + 2 * p(m, k) + p(m - 1, n - k) \mid k = 0, n\}$$

Aceasta formula pare mult mai atractiva deoarece complexitatea unui algoritm de programare dinamica bazat pe aceasta idee este mai de complexitat mai scazuta decat cele bazate pe vechea recurenta (vezi [3]).

Pentru a evalua valorile lui  $p()$  cu

$$(m,n) \in [0 .. \text{Maxm}] \times [0..\text{Maxn}]$$

putem folosi urmatorul algorithm (vezi [1]):

```

Algorithm A2
For m = 0 to Maxm do
  For n = 0 to Maxn do
    If n = 0 then
      P[m,n] := 0
    Elsif m = 0 then
      P[m,n] := infinite
    Else
      X := infinite
      For k := 0 to n-1 do
        Y := 1 + 2 * p[m,k] +
            p[m-1,n-k-1]
        If Y < X then
          X := Y
        End If
      End For
      P[m,n] := X
    End If
  End For
End For
End Algorithm

```

**Teorema:** Complexitatea timpului de executie a lui A2 este  $\Theta(\text{Maxn}^2 \times \text{Maxm})$ .

**Demonstratie:** vezi [2]

#### IV. Al treilea algoritm (bazat pe o conjectura)

**Teorema:** Daca notam

- a)  $A(i, j) = (i+j-2)! / ((i-1)! (j-1)!)$
- b)  $s(m,n)$  acel numar pentru care

$$A(s(m, n), n) \leq m < A(s(m, n) + 1, n)$$

atunci:

- a)  $s(m,n)$  este bine definit
- b)  $A(m,n-1) + A(m-1, n) = A(m,n)$

**Demonstratie:** vezi [6].



Bazat pe teorema de mai sus, urmatoorii algoritmi construiesc matricea A si calculeaza valoarea lui S:

```

Algorithm INITA;
For m:=1 to maxm+1 do
  a[1,m]:=1
End For
For n:=2 to maxn do
  a[n,1]:=1
  For m:=2 to maxm+1 do
    a[n,m]:=a[n-1,m]+a[n,m-1]
  End For
End For
End Algorithm

```

```

Algorithm S(m,n)
k:=1
While a[k,n]<=m do
  k:=k+1
End While
Return k-1
End Algorithm

```

**Teorema:** Complexitatea din punct de vedere al timpului de executie a lui INITA este  $\Theta(\text{Maxn} \times \text{Maxm})$ , iar a lui S este  $O(m)$ .

**Demonstratie:** vezi [2]

**Conjectura (Socaciu):**

$$p(m, n) = \sum (1 \leq k \leq s(m+1, n)-1, A(m, k) 2^{k-1} + (n - A(m, s(m+1, n) + 1)) 2^k)$$

Bazat pe conjectura de mai sus, algoritmul A3 este (vezi [6]):

```

Algorithm A3;
Call INITA
For n:=1 to maxn do
  For m:=1 to maxm do
    s:=0;
    p:=1;
    ss:=s(n,m+1);
    For k:=1 to ss do
      s:=s+p*a[k,m];
      p:=p*2
    End For;
    p[n,m]:=s+p*
      (n-a[ss,m+1]);
  End For
End For
End Algorithm

```

**Teorema:** Complexitatea din punct de vedere al timpului de executie a lui A3 este  $O(\text{Maxn} \times \text{Maxm}^2)$ .

**Demonstratie:** vezi [2]

## V. Concluzie

Cei 3 algoritmi propusi au complexitati diferite conform teoremelor demonstrate in [2]. Urmatorul tabel prezinta o situatie centralizatoare cu cei 3 algoritmi si complexitatile lor:

Algoritmul propus	Tipul algoritmului	Notatia Landau utilizata la specificarea complexitatii	Complexitatea timpului de executie asimptotic
A1	Serial	$\Omega$	$\text{Maxm} \times e^{(\text{Sqrt}[\text{Maxn}])} / \text{Maxn}$
A2	Serial	$\Theta$	$\text{Maxn}^2 \times \text{Maxm}$
A3	Serial	O	$\text{Maxm}^2 \times \text{Maxn}$

## Bibliografie

- [1] Tiberiu Socaciu, A Conjecture of Generalized Hanoi's Problem, in New Challenges in the Field of Military Sciences, Proceedings IV: Informatics, Communication and Applied Mathematics, Budapest, Hungary, 13-14 november 2007, pp. 103-106 (ISBN 978-963-87706-2-2).
- [2] Tiberiu Socaciu, Some Algorithms for Generalized Hanoi's Problem, submitted to WSEAS Transactions on Computers.
- [3] Tiberiu Socaciu, A Conjecture of Generalized Hanoi's Problem, at New Challenges in the Field of Military Sciences 2007, International Conference, 13 - 14 November 2007, Budapest, Hungary.
- [4] Tiberiu Socaciu, Ioan Maxim, Antoanela Naaji, Claudiu Persa, Conjectures about Generalized Hanoi's Problem, Conferința Națională de Matematică și Informatică, CNMI 2007, Bacău, 16-17 noiembrie 2007
- [5] Tiberiu Socaciu, O extindere a problemei Turnurilor din Hanoi, in Gazeta de Informatica, nr. 11-12/1994, pp. 19-27. (An extension of Hanoi's Problem)
- [6] Tiberiu Socaciu, Problema Generalizata a Turnurilor din Hanoi, in GInfo, nr. 17/3, pp. 26-29. (Generalized Hanoi's Problem)
- [7] Tiberiu Socaciu, Ioan Maxim, Antoanela Naaji, Claudiu Persa, On Proving a Conjecture of Generalized Hanoi's Problem with Parallel Architectures, in The Knowledge Based Organization Conference Proceedings 11, Sibiu, 22-25 november 2007, pp. 133-136 (ISSN 1843-6722).
- [8] Tiberiu Socaciu, Invatati Backtracking. Exemple in Pascal si C, Editura InfoData Cluj 2006, ISBN 973-87774-1-0, 160 pagini (Learning Backtracking. Examples in Pascal and C).

- [9] Tiberiu Socaciu, Paralelism si Concurenta in Algoritmul Backtracking Recursiv, in GInfo, nr. 17/4, pp. 10-12. (Parallelism and Concurrency in Reccurent Backtracking Algorithm)
- [10] Tiberiu Socaciu, Ioan Maxim, Propose a Protocol for Parallel Processing in Backtracking Algorithm, paper submitted to 7th International Conference - COMMUNICATIONS 2008.

---

\* Tiberiu Socaciu, lector universitar, Universitatea Stefan cel Mare Suceava, FSEAP, socaciu@seap.usv.ro

\*\* Ioan Maxim, lector universitar dr, Universitatea Stefan cel Mare Suceava, DPPD, maximioan@yahoo.com

## CREATING YOUR E-LEARNING 2.0 STRATEGY UNDER THE WEB 2.0 DEVELOPMENT

Alexandru STEFAN\*

### ABSTRACT

*e-Learning continues to grow at a tremendous rate. E-learning strategists predict that by the year 2008, more than half of all training may be online.*

*E-learning companies are springing up everywhere. It seems as though you can't pick up a business or training magazine without seeing articles about the benefits or the problems that are a result of e-learning. The field is growing at an amazing rate and its standards have yet to be developed or even agreed upon. So how in the world does a training department go about implementing an e-learning program in an organization? One way is to develop a strategy for creating e-learning courses that can serve as a guide or road map as you are working your way through the chaos. It is essential to link e-learning goals to business goals to ensure the ultimate success of the entire e-learning program.*

### Introduction

The increasing availability of the Internet and computer technologies we are now able to change what and how we deliver training and instruction to learners separated by time or space. Thus eLearning has begun to evolve.

One of the most important questions to ask when considering eLearning is "What does eLearning change?"; in Horton's book he suggests that most importantly it removes barriers of time and space, changes the economics of delivering training, and also changes how we can deliver training.

The field of eLearning is growing at an amazing rate and its standards have yet to be developed or even agreed upon.

So, how does a training department go about implementing an eLearning program in an organization?

One way is to develop a strategy for creating eLearning courses that can serve as a guide or road map as you are working your way through the chaos.

To create your e-learning strategy, you need to:

- . Link eLearning goals with business goals
- . Ensure support from top management

- Work with your IT Department to develop an understanding of your baseline technologies
- Work with your IT Department to establish standards for working together
- Create a plan to help your training department handle the change
- Determine eLearning specifications
- Determine how you will measure the results
- Prepare a rollout plan

## LINK E-LEARNING GOALS WITH BUSINESS GOALS

Training professionals who want to be seen as providing value to an organization must create programs that are tied to business problems and opportunities, and these links must be understood and supported by management. By linking the e-learning strategy to business strategy, you strengthen the training department's position in the organization and the perception of the value of the training that is provided. It is essential to link e-learning goals to business goals to ensure the ultimate success of the entire e-learning program.

In order to link the e-learning goals with business goals, you must first look at your business goals. It is probable that your organization is dealing with one or more of these pressures:

- Global employees
- Global competition
- Speed to market with new products
- An effort to implement cost savings
- The exponential rate of change in technology
- Demand for exemplary customer service
- Demand for high quality goods and services

Create an explicit development path for eLearning ( figure 1)

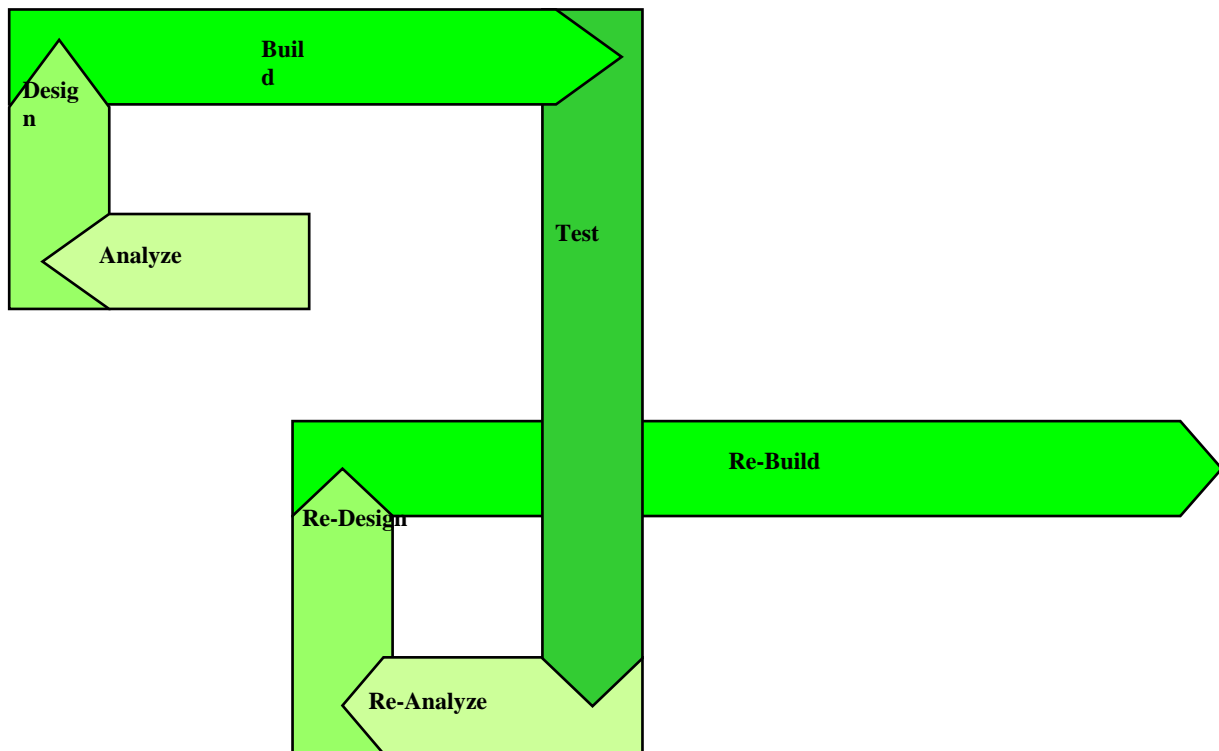


Figure 1: Development path for eLearning under WEB 2.0

## **ENSURE SUPPORT FROM TOP MANAGEMENT**

E-learning programs require significant resources for development and support and the cooperation of several departments within the organization. If the support from top management isn't there, it needs to be developed. Aligning your eLearning strategy with business goals can be an important first step in gaining support from top management.

## **WORK WITH YOUR IT DEPARTMENT TO ESTABLISH STANDARDS FOR WORKING TOGETHER**

It is critical to include your IT department early in the development of an eLearning strategy. Often IT is not included until the actual implementation and this can lead to the failure of the e-learning program. You will need to partner with IT because your e-learning initiative may require:

- . Software installation
- . Server space
- . Customization
- . Application development
- . Maintenance
- . Ongoing support
- . Legacy system interface
- . Help Desk Services

The implementation of an e-learning program will require collaboration between the training department and the IT department.

## **CREATE A PLAN TO HELP YOUR TRAINING DEPARTMENT HANDLE THE CHANGE**

When delivering eLearning courses, the locus of control shifts from the instructor to the learners. Training departments that are converting from instructor-led courses to interactive online courses will face the following issues:

- . Level of effort. If the online course is truly a student-centered learning event, rather than a form of teaching media, it will take more time on the part of the trainer.
- . Role shift. The trainers will need to become comfortable making the shift from being the expert or the "sage on the stage" to facilitating the learning process or being the "guide on the side." Instead of relying on lectures, trainers will need to provide examples, demonstrations, and written materials.
- . New WEB 2.0 techniques and social networking methods. A powerful instructional method is the WEB 2.0 asynchronous discussion. Asynchronous discussions between teachers and learners take place intermittently, not simultaneously, through links to HTML content or email, news, or discussion groups.
- . Evaluation tools. While many online courses include standard tests, these tests do not show if a participant has integrated the concepts and skills and is using this new knowledge on the job. If you require special projects to show this level of learning or enhanced performance, your trainers will need to provide facilitator support during the project, and assessment and feedback when the project is complete.

## **MARKETING / STRATEGIC SOLUTIONS GOALS UNDER**

**WEB 2.0 DEVELOPMENT**

		NO	DO YOU HAVE IT?	YES			
DO YOU WANT IT?	YES	<p><b>ACHIEVE</b></p> <p><u>eLearning training packages</u> with three levels of tuition:</p> <p style="padding-left: 40px;">No support</p> <p style="padding-left: 40px;">Tutoring: tuition+10%</p> <p style="padding-left: 40px;">Tutoring &amp; Labs + 20%</p> <p><u>Monthly/ 6 month/annually fee</u> to access training programs ( networking, management, web design )</p> <p><u>Develop</u> short term discounts for training packages: sale events</p> <p><u>Customize web base training package</u> for corporate;</p> <p style="padding-left: 40px;">Design new e-learning courses</p> <p style="padding-left: 40px;">Custom Online Course Authoring</p> <p style="padding-left: 40px;">Customized student page</p> <p><u>Create marketing plans for each tool</u> that clarified target customers and the specific, quantifiable value proposition for the e-Commerce tool;</p> <p style="padding-left: 40px;">Business version for our online training site</p> <p style="padding-left: 40px;">Attract revenue by adds</p> <p style="padding-left: 40px;">Use online marketing tools</p> <p style="padding-left: 40px;">Scientific Magazine</p> <p><u>Advertise customize courses</u> to local governments agencies or financial organization WEB 2.0 Base Training Solution Provider</p>		<p><b>PRESERVE</b></p> <p><u>Creativity, experience and enthusiasm</u> of the current staff</p> <p>Opportunities to inform and involved customers in course selection</p> <p><u>Improving</u> online response time and effectiveness</p> <p>Positive image of the organization</p> <p>Diversification of services: online business activities</p> <p>Flexibility to respond to different needs</p> <p>Updating course tuition with regarding the market</p> <p><u>Define target customers</u></p> <p><u>Develop international market by localizing the business</u></p> <p>International projects and affiliation under international universities</p>		YES	DO YOU WANT IT?
	NO	<p><b>AVOID</b></p> <p>Being seen as only courses provider</p> <p>Stagnation in opening new course</p> <p>Poor public perception and misperceptions</p> <p>Instability of operation</p> <p>Unproductive</p>		<p><b>ELIMINATE</b></p> <p>Lower operating costs</p> <p>Barriers to progress</p> <p>The barriers to degree programs</p>		NO	
		NO	DO YOU HAVE IT?	YES			



## **Bibliography**

1. The DNA of eLearning, excerpt from Beyond eLearning, Internet Time Group, [www.internetttime.com](http://www.internetttime.com)
2. Pam Pervenanze, LearnSource- Connecting Companies with Quality Learning Solutions and Pinneast, CeleXx's Performance Media Group
3. Building a Business Case for eLearning, [www.geolearning.com](http://www.geolearning.com)
4. ITPS-Online Solution, <http://online.bloomfield.edu>, USA
5. Aligning eLearning with Business Goals & Measuring Results, Spring 2008, MBA Program, Poly University

---

\* Alexandru STEFAN\*, PhD Bloomfield College, USA ,mail: [alexstefan@gmail.com](mailto:alexstefan@gmail.com)

## IMPLEMENTAREA ÎN MATLAB A ALGORITMULUI METODEI RADIALE REGRESIVE PENTRU TEORIA DE CURGERE $J_2$ PENTRU CAZUL ECRUISĂRII IZOTROPE NELINIARE

Nadia Elena STOICUȚA\*

***Abstract:** In this paper, is present radial return algorithm, for  $J_2$  -flow theory, the generalized case for the elastoplastic material. This algorithm is implementation in fin of this paper in Matlab, for the case of nonlinear ishotropic hardening.*

### 1. Introducere

În cadrul lucrării se notează prin  $V$  spațiul vectorial tridimensional, vectorul de deplasare este  $u: \Omega \times \square \rightarrow V$ , tensorul micilor deformații  $\varepsilon: \Omega \times \square \rightarrow Sim$  și tensorul tensiunii  $\sigma: \Omega \times \square \rightarrow Sim$  sunt date pentru o particulă materială  $x \in \Omega$  la momentul  $t \in I$  unde  $I$  este un interval inclus în  $\mathbb{R}_+$ . Istoria deformației în punctul  $x \in \Omega$  este  $\varepsilon(x, \tau)$  cu  $\tau \in (-\infty, t]$ .

În cele ce urmează adoptăm legea de curgere în spațiul tensiunilor generalizate prin variabilele  $\{\sigma(x, \tau), q(x, \tau)\}$ .

Răspunsul elastic al tensiunii este formulat cu ajutorul unei funcții de energie liberă, care în condițiile date este definită astfel  $\psi: \Omega \times Sim \times \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ .

Datorită faptului că în cele mai multe aplicații materialul este omogen, ceea ce înseamnă că funcțiile de material nu depind de particula materială, în cazul considerat funcția de energie liberă are următoarea formă:

$$\psi(\varepsilon^e, -\xi) = W(\varepsilon^e) + P(\xi) \quad (1)$$

unde  $W$  reprezintă funcția de energie elastică și este dată de relația  $W(\varepsilon^e) = \frac{1}{2} \varepsilon^e \cdot C \varepsilon^e$ , iar  $P$

este funcția de potențial și are forma  $P(\xi) = \frac{1}{2} \xi \cdot H \xi$ .

În timp ce tensorul elastic  $C$  este simetric și pozitiv definit, matricea modulului plastic  $H$  este presupusă a fi constantă având următoarea formă  $H = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & H \end{bmatrix}$ , unde  $K$  reprezintă modulul de ecrusare izotropă, și  $H$  reprezintă modulul de ecrusare cinematică.

Forțele generalizate asociate variabilelor de ecrusare sunt definite astfel  $q = -\frac{\partial \psi(\varepsilon^e, -\xi)}{\partial \xi}$  și  $\sigma = \frac{\partial \psi(\varepsilon^e, -\xi)}{\partial \varepsilon^e}$ . În aceste condiții introducând variabila de ecrusare  $\xi = (\xi, \bar{\xi})$  din cele de mai sus obținem că variabila de ecrusare izotropă  $q$  și tensiunea anterioară  $\bar{q}$  sunt:

$$\begin{cases} q = -\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \xi} (\xi \cdot K \xi + \bar{\xi} \cdot H \bar{\xi}) = -K \xi \\ \bar{q} = -\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \bar{\xi}} (\xi \cdot K \xi + \bar{\xi} \cdot H \bar{\xi}) = -H \bar{\xi} \end{cases} \quad (2)$$

În aceste condiții variabilele de ecrusare și tensorul tensiunii vor fi:

$$\begin{cases} q = -K \xi \\ \bar{q} = -H \bar{\xi} \\ \sigma = C(\varepsilon - \varepsilon^p) \end{cases} \quad (3)$$

## 2. Metoda radială regresivă

Notăm pentru teoria de curgere  $J_2$  variabilele interne plastice  $E^p = (\varepsilon^p, \bar{\xi}, \xi)$ , cu tensiunea generalizată conjugată  $\Sigma = (s, \bar{q}, q)$ , unde  $tr \varepsilon^p = 0$ , deci  $\varepsilon^p = e^p$ , unde  $e^p = dev(\varepsilon^p)$  și  $s = dev(\sigma)$ . Introducem tensiunea relativă  $\beta = s - \bar{q}$ , unde  $\bar{q} = -\frac{2}{3} H \bar{\xi}$  și  $q = -K(\xi)$ , cu  $H > 0$  modulul de ecrusare cinematică.

În aceste fel condiția de plasticitate von Mises este:

$$f(\beta, \xi) = \|\beta\| - \sqrt{\frac{2}{3}} K(\xi) \text{ cu } n = \frac{\beta}{\|\beta\|} \quad (4)$$

unde  $K(\xi)$  depinde de tipul ecrusării liniare sau neliniare.

În cele ce urmează ținând cont de relația

$$\sum_{j=1}^s \frac{1}{j} D^j (e_{n+1}^p, \bar{\xi}_{n+1}, \xi_{n+1}) = \Delta t \left( \frac{\partial f_1}{\partial s_{n+1}}, \frac{\partial f_1}{\partial \bar{q}_{n+1}}, \frac{\partial f_1}{\partial q_{n+1}} \right) \quad (5)$$

în cazul ecrusării neliniare expresiile (3) devin:

$$\begin{cases} s_{n+1} = 2\mu(e_{n+1} - e_{n+1}^p) \\ \bar{q}_{n+1} = -\frac{2}{3} H \bar{\xi}_{n+1} \\ q_{n+1} = -K'(\xi_{n+1}) \end{cases} \quad (6)$$

Pe de altă parte relația (5) ținând cont că  $\frac{\partial f}{\partial s} = \lambda n$ ,  $\frac{\partial f}{\partial \bar{q}} = -\lambda n$ ,  $\frac{\partial f}{\partial q} = \lambda \sqrt{\frac{2}{3}}$  poate fi scrisă sub următoarea formă:

$$\begin{cases} s_{n+1} = s_{n+1}^T - 2\mu\Delta\lambda n_{n+1} \\ \bar{q}_{n+1} = \bar{q}_{n+1}^{-T} + \frac{2}{3}H\Delta\lambda n_{n+1} \\ \xi_{n+1} = \xi_{n+1}^T + \sqrt{\frac{2}{3}}\Delta\lambda \end{cases} \quad (7)$$

unde:

$$\begin{cases} s_{n+1}^T = 2\mu[e_{n+1} - e_n^p + \frac{1}{3}(s-1)(e_n^p - e_{n-1}^p)] \\ \bar{q}_{n+1}^{-T} = -\frac{2}{3}H[\bar{\xi}_n + \frac{1}{3}(s-1)(\bar{\xi}_n - \bar{\xi}_{n-1})] \\ \xi_{n+1}^T = \xi_n + \frac{1}{3}(s-1)(\xi_n - \xi_{n-1}) \end{cases}, \quad s=1,2 \quad (8)$$

Multiplicatorul  $\Delta\lambda$  din cadrul relațiilor de mai sus se determină în urma rezolvării ecuației neliniare:

$$g(\Delta\lambda) = \|\beta_{n+1}^T\| - (2\mu + \frac{2}{3}H)\Delta\lambda - \sqrt{\frac{2}{3}}[\sigma_Y + K'(\xi_{n+1}^T + \sqrt{\frac{2}{3}}\Delta\lambda)] = 0 \quad (9)$$

prin metoda Newton, unde funcția  $g(\Delta\lambda)$  este presupusă a fi o funcție convexă.

În aceste condiții algoritmul metodei radial regresive poate fi sintetizat astfel:

1. Calculăm urma tensiunii elastice pentru  $e_{n+1} = dev(\varepsilon_{n+1})$ :

$$\begin{cases} \bar{q}_{n+1}^{-T} = \bar{q}_{n+1}^{-T} + \frac{2}{3}H\Delta\lambda n_{n+1} \\ s_{n+1} = s_{n+1}^T - 2\mu\Delta\lambda n_{n+1} \\ e_{n+1}^p = e_{n+1} - \frac{1}{2\mu}s_{n+1} \\ \xi_{n+1} = \xi_{n+1}^T + \sqrt{\frac{2}{3}}\Delta\lambda \end{cases} \quad (10)$$

2. Verificăm condiția de plasticitate:

$$f^T(\beta_{n+1}, \xi_{n+1}) = \|\beta_{n+1}^T\| - \left[ \sigma_Y + \sqrt{\frac{2}{3}}K'(\xi_{n+1}^T) \right] \quad (11)$$

cu  $\beta_{n+1}^T = s_{n+1}^T - \bar{q}_{n+1}^{-T}$ .

Dacă  $f_{n+1}^T \geq 0$  atunci se trece la următoarea etapă:

3. Luăm  $n_{n+1} = \frac{\beta_{n+1}^T}{\|\beta_{n+1}^T\|}$  și îl vom calcula pe  $\Delta\lambda$  pe baza metodei Newton.
4. Calculăm din nou pe baza noilor rezultate următoarele:

$$\begin{cases} \bar{q}_{n+1} = \bar{q}_{n+1}^T + \frac{2}{3} H \Delta \lambda n_{n+1} \\ s_{n+1} = s_{n+1}^T - 2\mu \Delta \lambda n_{n+1} \\ e_{n+1}^p = e_{n+1} - \frac{1}{2\mu} s_{n+1} \\ \xi_{n+1} = \xi_{n+1}^T + \sqrt{\frac{2}{3}} \Delta \lambda \end{cases} \quad (12)$$

### 3. Implementarea în Matlab a algoritmului metodei radial regresive

În cadrul acestui paragraf vom implementa metoda radială regresivă în Matlab, pentru cazul ecruisării izotrope neliniare într-un singur pas. În acest caz modulul de ecruisare cinematică este  $H = 0$ , prin urmare și  $\bar{q} = 0$ .

În urma particulării metodei radial regresive pentru cazul ecruisării mixte, pentru ecruisarea izotropă obținem:

$$\begin{cases} s_{n+1} = s_{n+1}^T - 2\mu \Delta \lambda n_{n+1} \\ \xi_{n+1} = \xi_{n+1}^T + \sqrt{\frac{2}{3}} \Delta \lambda \end{cases} \quad (13)$$

unde

$$\begin{cases} s_{n+1}^T = 2\mu(e_{n+1} - e_n^p) \\ \xi_{n+1}^T = \xi_n \end{cases} \quad (14)$$

Criteriul von Mises pentru ecruisare izotropă este:

$$f(s, \xi) = \|s\| - \sqrt{\frac{2}{3}} K(\xi) \quad (15)$$

unde  $\|s\| = \sqrt{s \cdot s} = \sqrt{s_{11}^2 + s_{22}^2 + s_{33}^2 + 2(s_{12}^2 + s_{13}^2 + s_{23}^2)}$  și  $K(\xi)$  pentru cazul ecruisării izotrope neliniare este  $K(\xi) = \sigma_y - \frac{K}{A}(e^{-A\xi} - 1)$  în care  $K$  și  $A$  sunt parametrii materialului.

În aceste condiții algoritmul metodei radial regresive în Matlab, pentru cazul ecruisării neliniare este:

```
E=55160; XNU=0.3; YIELD=90; HARD=10000; A=1; LOP(1)=1; LOP(2)=2; LOP(3)=2; LOP(4)=2;
LOP(5)=2; LOP(6)=2; APPLYF(1)=0.02; APPLYF(2)=0; APPLYF(3)=0; APPLYF(4)=0; APPLYF(5)=0;
APPLYF(6)=0; NINC=11; TOL_GLOBAL = 0.0000001; TOL_NEWTON = 0.0001;
% Metoda Radial Return
C44=E/(2*(1+XNU)); BULK=E/(3*(1-2*XNU)); SQ2=sqrt(2); SQ3=sqrt(3);
EPS11=0; EPS22=0; EPS33=0; EPS23=0; EPS13=0; EPS12=0; E11P=0; E22P=0; E33P=0; E23P=0; E13P=0;
E12P=0; INC=0; EPQ=0; APPLY(1)=0; APPLY(2)=0; APPLY(3)=0; APPLY(4)=0; APPLY(5)=0;
APPLY(6)=0;
while INC<NINC
INC=INC+1;
for I=1:6
APPLY(I)=APPLY(I)+APPLYF(I)/NINC;
end
IGLOB = 0; CONVERGED=0;
while CONVERGED==0
IGLOB = IGLOB + 1;
C(1, 1) = E*(1-XNU)/(1-XNU-2*XNU^2); C(1, 2) = E*XNU/(1-XNU-2*XNU^2);
C(1, 3) = C(1, 2); C(2, 1) = C(1, 2); C(2, 2) = C(1, 1); C(2, 3) = C(1, 2);
C(3, 1) = C(1, 2); C(3, 2) = C(1, 2); C(3, 3) = C(1, 1);
for I=1:3
```

```

if LOP(I)==2 %daca LOP(I) este egal cu 2
for J=1:3
  if J~=I %daca J este diferit de I
  CN(I,J)=-C(I,J)/C(I,I);
  end
  CN(I,I)=1/C(I,I);
  end
for K=1:3
  if K~=I %daca K este diferit de I
  for J=1:3
  if J==I
  CN(K,J)=C(K,J)/C(I,I);
  else
  CN(K,J)=C(K,J)-C(K,I)*C(I,J)/C(I,I);
  end
  end
  end
  end
for II=1:3
for JJ=1:3
C(II,JJ)=CN(II,JJ);
end
end
end
end
  APPLY_E = APPLY;
  if LOP(1)==1
  APPLY_E(1)=APPLY(1)-E11P;
  end
  if LOP(2)==1
  APPLY_E(2)=APPLY(2)-E22P;
  end
  if LOP(3)==1
  APPLY_E(3)=APPLY(3)-E33P;
  end
  for I=1:3
  UN(I) = 0;
  for J=1:3
  UN(I)=UN(I)+C(I,J)*APPLY_E(J);
  end
  end
  if LOP(1)==1
  EPS11=APPLY(1); SIG11=UN(1);
  else
  EPS11=UN(1)+E11P; SIG11=APPLY(1);
  end
  if LOP(2)==1
  EPS22=APPLY(2); SIG22=UN(2);
  else
  EPS22=UN(2)+E22P; SIG22=APPLY(2);
  end
  if LOP(3)==1
  EPS33=APPLY(3); SIG33=UN(3);
  else
  EPS33=UN(3)+E33P; SIG33=APPLY(3)
  end
  if LOP(4)==1
  EPS23=APPLY(4); SIG23=2*C44*APPLY_E(4);
  else
  EPS23=APPLY_E(4)/(2*C44)+E23P; SIG23=APPLY(4);

```

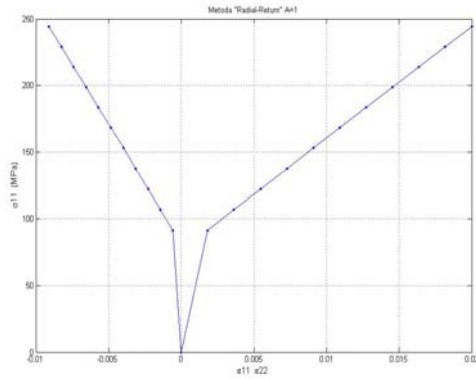
```

end
if LOP(5)==1
EPS13=APPLY(5); SIG13=2*C44*APPLY_E(5);
else
EPS13=APPLY_E(5)/(2*C44)+E13P; SIG13=APPLY(5);
end
if LOP(6)==1
EPS12=APPLY(6); SIG12=2*C44*APPLY_E(6);
else
EPS12=APPLY_E(6)/(2*C44)+ E12P; SIG12=APPLY(6);
end
SEFF_LOAD=sqrt(((SIG11-SIG22)^2+(SIG22-SIG33)^2+(SIG11-SIG33)^2+
+6*(SIG23^2+SIG13^2+SIG12^2))/sqrt(2));
EPSMEAN=(EPS11 + EPS22 + EPS33)/3;ED11 = EPS11 - EPSMEAN; ED22 = EPS22 - EPSMEAN; ED33
= EPS33 - EPSMEAN; ED23 = EPS23; ED13 = EPS13; ED12 = EPS12;PRESS = BULK*EPSMEAN*3; ST11
= 2*C44*(ED11 - E11P); ST22 = 2*C44*(ED22 - E22P); ST33 = 2*C44*(ED33 - E33P); ST23 =
2*C44*(ED23 - E23P); ST13 = 2*C44*(ED13 - E13P); ST12 = 2*C44*(ED12 - E12P);
XNORM=sqrt(ST11^2+ST22^2+ST33^2 + 2*(ST23)^2 + 2*(ST13)^2 + 2*(ST12)^2);
if (XNORM*SQ3/SQ2)<YIELD
SIG11C = ST11 + PRESS; SIG22C = ST22 + PRESS; SIG33C = ST33 + PRESS; SIG23C = ST23; SIG13C
= ST13; SIG12C = ST12;
end
XN11 = ST11/XNORM; XN22 = ST22/XNORM; XN33 = ST33/XNORM; XN23 = ST23/XNORM; XN13 =
ST13/XNORM; XN12 = ST12/XNORM; INEWT=0; GAMMADT=0; EPQ1 =0; XKAPPA=YIELD;
DXKAPPA = HARD; G = -(SQ2/SQ3)*XKAPPA + XNORM;
while abs(G)>TOL_NEWTON
EPQ1 = EPQ + (SQ2/SQ3)*GAMMADT; XKAPPA = YIELD - (HARD/A)*(exp(-A*EPQ1) - 1);
DXKAPPA=HARD*exp(-A*EPQ1);G=-(SQ2/SQ3)*XKAPPA-2*GAMMADT*DXKAPPA/3+ XNORM
- 2*C44*GAMMADT;
DG = -2*DXKAPPA/3- 2*C44; GAMMADT = GAMMADT - G/DG; INEWT = INEWT + 1;
end
EPQ = EPQ + (SQ2/SQ3)*GAMMADT; E11P = E11P + GAMMADT*XN11;E22P = E22P +
GAMMADT*XN22; E33P = E33P + GAMMADT*XN33; E23P = E23P + GAMMADT*XN23; E13P = E13P
+ GAMMADT*XN13; E12P = E12P + GAMMADT*XN12;XKAPPA = YIELD - (HARD/A)*(exp(-A*EPQ) -
1);
SEFF=2*C44*(SQ3/SQ2)*sqrt((ED11-E11P)^2+(ED22-E22P)^2+(ED33-E33P)^2+2*(ED23-E23P)^2+
+2*(ED13-E13P)^2+2*(ED12-E12P)^2);
CONVERGED =1;
if abs((SEFF - XKAPPA)/SEFF)>TOL_GLOBAL
CONVERGED =0;
end
if abs((SEFF_LOAD - XKAPPA)/SEFF_LOAD)>TOL_GLOBAL
CONVERGED =0;
end
end
end
S11=(SQ2/SQ3)*XKAPPA*XN11;S22=(SQ2/SQ3)*XKAPPA*XN22;S33=SQ2/SQ3)*XKAPPA*XN33;
SIG23=(SQ2/SQ3)*XKAPPA*XN23; SIG13 =(SQ2/SQ3)*XKAPPA*XN13;
SIG12= (SQ2/SQ3)*XKAPPA*XN12; SIG11=S11+PRESS;SIG22 =S22+PRESS; SIG33=S33+PRESS;
SIG11C = 2*C44*(ED11 - E11P) + PRESS; SIG22C = 2*C44*(ED22 - E22P) + PRESS;
SIG33C = 2*C44*(ED33 - E33P) + PRESS; SIG23C = 2*C44*(ED23 - E23P); SIG13C = 2*C44*(ED13 -
E13P); SIG12C = 2*C44*(ED12 - E12P); SIG11a(INC)=SIG11; EPS11a(INC)=EPS11;
EPS22a(INC)=EPS22;
End

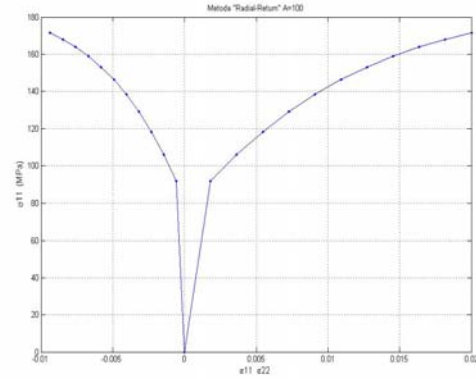
```

În urma rulării programului de mai sus pentru  $E = 55.16 [GPa]$ ;  $\nu = 0.3$ ;  
 $\sigma_y = 90 [MPa]$  și  $K = 10 [GPa]$  obținem următorul grafic:



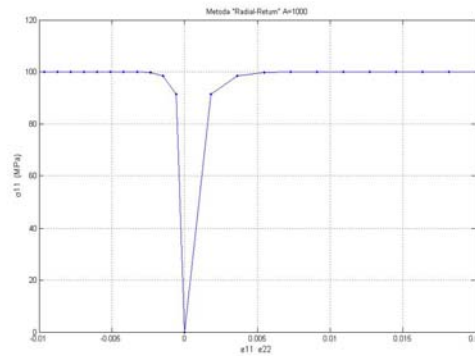


**Graficul tensiunii  $\sigma_{11}$  în funcție de deformațiile  $\varepsilon_{11}$  și  $\varepsilon_{22}$  pentru  $A = 1$**



**Graficul tensiunii  $\sigma_{11}$  în funcție de deformațiile  $\varepsilon_{11}$  și  $\varepsilon_{22}$  pentru**

$A = 100$



**Graficul tensiunii  $\sigma_{11}$  în funcție de deformațiile**

**$\varepsilon_{11}$  și  $\varepsilon_{22}$  pentru  $A = 1000$**

Soluțiile prezentate mai sus sau obținut în unsprezece iterații ale metodei.

#### 4. Bibliografie

1. O. Agratini—Analiză numerică și teoria numerelor, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1980.
2. E. Cazimirovici — Teoria deformării plastice, Editura Didactică și pedagogică, București, 1981
3. S. Cleja —Țigoiu, V. Țigoiu—Termodinamică și Reologie, partea I, Ed. Univ. din Bucuresti, 1998;
4. M. Ghinea, V. Firețeanu — Matlab. Calcul numeric. Grafică. Aplicații. Ed. Teora, București, 2004
5. W. Olsyak, P. Perzyna, A. Sawczuk — Teoria plasticității, Traducere din limba poloneză de prof. N. Cristescu, Editura Tehnică, București, 1970
6. I. Paraschiv-Munteanu, S. Cleja-Țigoiu, E. Soos — Plasticitate cu aplicații în geomecanică, Ed. Univ. București, 2004
7. I. Siclovan — Metode numerice, Editura Focus, Petroșani, 2003

8. J.C. Simo – Numerical analysis and simulation of plasticity, In P.G. Ciarlet and J.L. Lions, Eds. Handbook of Numerical Analysis, volume VI, Elsevier, Amsterdam, 1998;
9. P. P. Teodorescu, V. Ilie – Teoria elasticității și introducerea în mecanica solidelor deformabile, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1976
10. W. Soboyejo – Mechanical Properties of Engineered Materials, New York, 2002

---

\* Asist. Univ. Drd. Stoicuța Nadia Elena, Universitatea din Petroșani

## **TESTING OF NETWORK'S SECURITY DEVICES**

Miroslav Štolpa\*

The article treats methods of testing network's devices specially firewalls at University of defense. For right project of architecture any network is important to know its extreme values such as bandwidth, datatransmission with assessed security policy, number of successful transactions etc. For these types of analyses we use methods of stress-tests. Results of analysis help us to set optimal values for project of whole network and make maximal assurance about security of projected network.

The question is: Why test network security equipment? Critical threats to network security emerge with alarming frequency. With today's increased threat levels, the need for realistic assessment of security device and systems is greater than ever. As viruses worm, Distributed Denial of Service (DDoS) attacks, and other threats become ever-more sophisticated than before. There is a possibility how we can ensure that security infrastructure will protect the network from malicious attacks. By testing network security infrastructure, including next-generation firewalls, deep-packet inspection products, IDS/IPS devices, IPsec VPN concentrators and SSL accelerators, it can be verified capacity and performance before deployment or make major purchasing decisions.

Another question can be: Why is realistic testing so important to ensure security? Legacy testing products aren't capable of realistically emulating user behavior or the characteristics of the network traffic and equipment in definite operating environment. Each infrastructure is unique, making it possible for generalized testing to assess the security of definite network. To ensure that security infrastructure is solid, the testing solution needs to evaluate overall performance, supply a high degree user and network realism, and the deliver the ability to test with both normal and malicious traffic. In addition to providing comprehensive testing, it should also be easy to set up and use.

For testing network's devices we used a product of Spirent Company. Testing product from Spirent has two parts. The first is Avalanche and the second is Reflector. Avalanche and Reflector offer a comprehensive solution for stress-testing security such as firewalls, intrusion detection systems and SSL accelerators. Avalanche is capable of simulating an almost unlimited number of users, while Reflector emulates the behavior of large Web, application, and data server environments. By using Avalanche to accurately simulated Web traffic and Reflector to simulate different server-side behaviors, makes it possible to quickly and easily test to capacity any security equipment, what is connected between the two systems. This

proactive testing approach ensures that network devices will excel under real-world conditions when they are installed in private network.

There are three possible methods for realism-testing of firewalls with using Spitent's Avalanche/Reflector platforms. These methods enable to reflect the reality of a private network by adding more parameters to firewall tests and include additional devices in series with the firewall. This evaluates a firewall in a context similar to a private network, which reduces deployment risk.

The set of tests are:

- “Firewall Basic” – characterizes operating limits of the testing framework.
- “Firewall Load” – measures how well a firewall maintains availability under load. Determine firewall operating limits during multiple IP protocol-based traffic and Distributed Denial of Service (DDoS) attacks.
- “Firewall Stress” – measures the operating limits of a firewall. Determine a firewall operating limits for parameters such as connections per second and open connections.

In my project of testing a firewall for Secure Computing Company ([www.securecomputing.com](http://www.securecomputing.com)), I decided to use three different methods for stress-testing of firewalls. There were determined three tests:

- The test of validation of maximum new TCP connection per second. There was searched to find the maximum TCP Connection Rate of the firewall and there was observed the degradation of its performance. It was possible to evaluate the performance degradation by increasing the object size requested the client.

The object size defines the number of bytes contained in body, excluding any bytes associated with the HTTP header. The performance is evaluated by downloading the following web page body size from 512B to 100KB.

The simulated client uses HTTP/1.1 without keep alive. Each client opens one TCP connection sending one HTTP request and then closes the TCP connection. Using this configuration, the simulated client doesn't try to keep any TCP connection opened after every each HTTP transaction. The TCP connection will just be closed. This means that any concurrent TCP connections are not coming from the client side.

The server uses HTTP/1.1 without keep alive, and the server will close any TCP connection after one HTTP request. Using this configuration, the server doesn't try to keep alive any TCP connection opened after each HTTP transaction. The TCP connection will just be closed. This means that any concurrent TCP connections are not coming from the server side.

Performance level ranking insures quality of service on Layer 4 (OSI). There is possible to check the maximum TCP connection rate but also the quality of service on Layer 7.

- The test of validation of maximum concurrent TCP connections. There was searched the maximum concurrent TCP connections of firewall and there was observed the degradation of its performance. It was possible to evaluate the performance degradation by increasing the object size requested by the client.

The simulated clients use HTTP/1.1. The clients open one TCP connection sending ten HTTP requests and then close the TCP connection. Thirty second think time between each HTTP transaction per simulated client is used in order to keep the TCP connection opened.

The server uses HTTP/1.1, and the server will close any TCP connection after ten HTTP request.

Performance level ranking insures quality of service on Layer 4. There is possible to check the maximum concurrent TCP connections but also the quality of service on Layer 7.

- The test of validation of maximum new HTTP transactions per second. There was searched to find the maximum new HTTP Transactions Rate of the firewall and there was observed the degradation of its performance. It was possible to evaluate the performance degradation by increasing the object size requested the client.

The simulated clients use HTTP/1.1. The clients open one TCP connection sending ten HTTP requests and then close TCP connection.

The server uses HTTP/1.1, and the server will close any TCP connection after ten HTTP request.

Performance level ranking insures quality of service on Layer 4. There is possible to check the maximum HTTP transaction rate but also the quality of service on Layer 7.

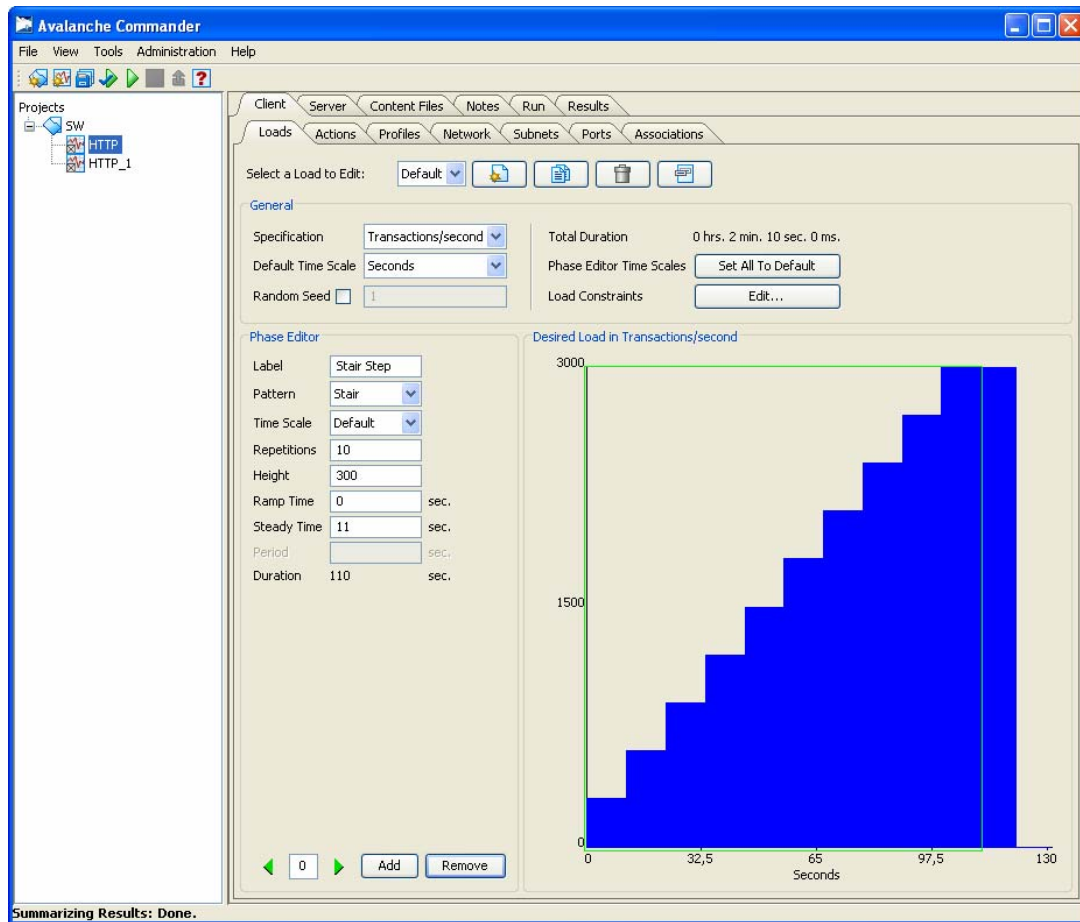
Breaking points of these tests were defined as follow:

- Number of concurrent TCP connections, what exceeds quantification of number of connections. In this case, data delivery to the client is taking to much time, so TCP connections are kept opened, and concurrent TCP connections are increasing.
- Current response time for HTTP transactions exceeds the quantification time. In this case, data delivery to the client is taking to much time, explaining the higher response time.

### **The Result of the stress-test**

For the presentation of stress-testing effects I itemize results, which test the level of maximum rate of HTTP requirements with minimum rate of TCP connection in dependence on applied policy of the firewall. Criteria were defined for the protocol HTTP/1.1. Every client was determined to realize maximum of two TCP connections, where in each connection he sent ten HTTP requirements of GET type and then the connection was closed. It avoids of concurrent connection among clients.

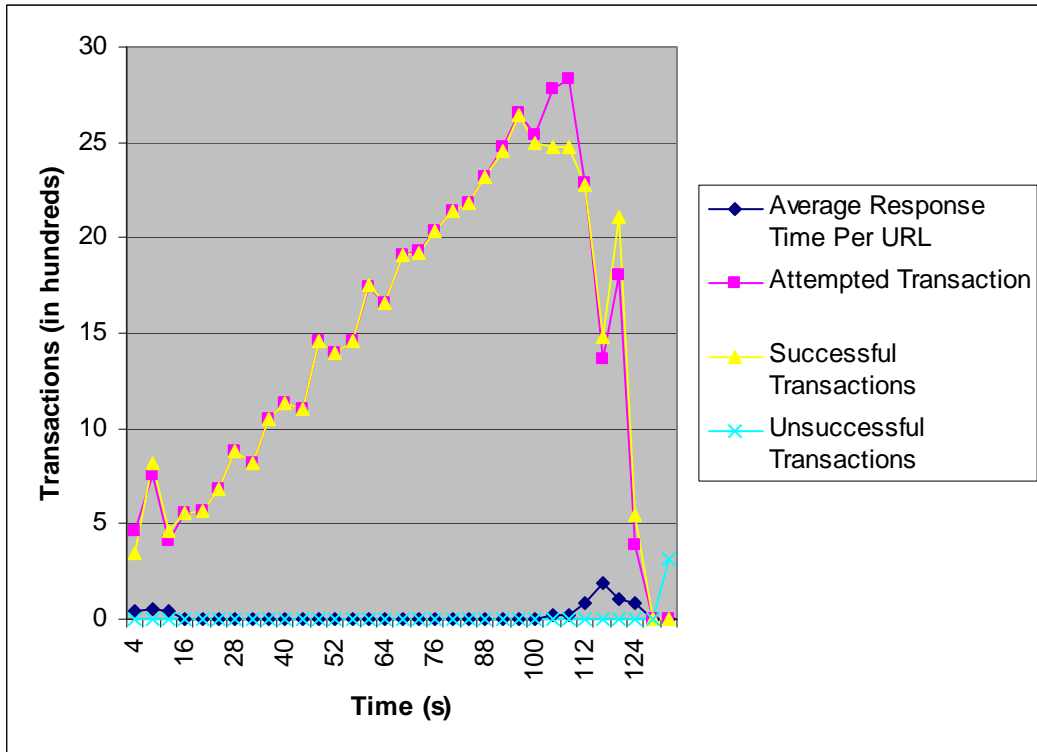
The size of packet was 4KB without bytes in header of HTTP packet. The load was generated according to a stair schema (vide pic. 1) with the maximum value of transaction 3000 per second, where every stair represents increase in 300 transactions for time period of eleven seconds. The test took two minutes and ten seconds.



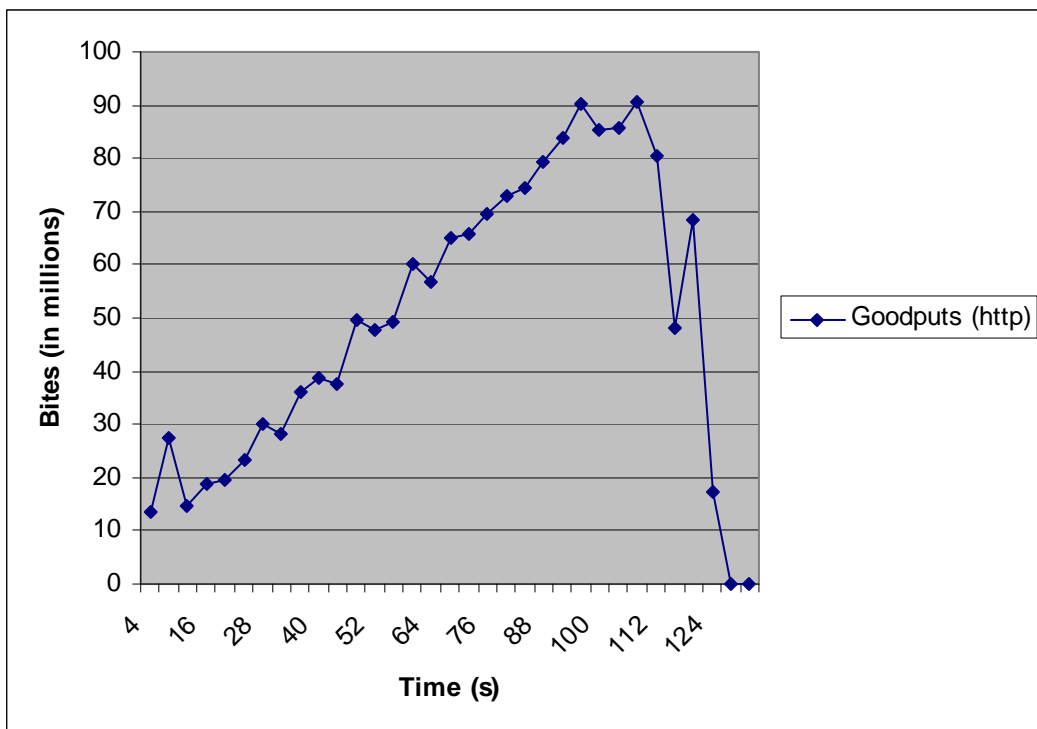
Picture 1: The configuration of the input load.

The security policy of the firewall was defined as full inspection of HTTP packets according to the RFC 2616 with other elements such as: prevention of VBscript, components of ActiveX, rejection of not allowed symbols in header of HTTP packet (e.g. \*, +, x).

The result of measurement of the stress-test shows the relationship between attempted and successful transactions (vide graph 1.). Generated requirements are attended with success until 104<sup>th</sup> second. There started to display a work-load of the firewall and every transaction over number 2500 took time-delay. The highest time-delay, what I measured, was 1.8 second. With decreasing a number of transactions, the time-delay was reduced and then it started to increase even the number of successful finished requirements again. At the end of the graph, there is seen a definite number of unsuccessful transactions. It is evoked by determined length of the test.



Graph 1: The relationship between attempted and successful transactions.



Graph 2: The dependence of the datatransmission on a generated load.



Graph 2 measured in the same test as graph 1, watches the bandwidth of useful load. Goodputs is presented like the number of transferred bites for one time unit. In this case, one million bites per second. The maximum transmission of a hundred bites line is 12.5 MBps. The results from graph 2 show that measured values in the test (11.3 MBps) are very close to the maximum transmission of a hundred bites line.

## **Conclusion**

It is impossible to standardize something so flexible. Firewalls right now are a highly competitive market place. We can constantly asked vendors to differentiate their products against those of their competition. The end result is that things which are very similar are touted as very different, and some types of technologies are cast as inadequate while others are positioned as superior. It's difficult to sort out the hype from the substance.

The real problem is that a "good" firewall for any given purpose depends a lot on the customer's needs, security requirements, and budget. For an authority to specify evaluation criteria for good firewalls, we'd all have to be using them for the same purpose, and they'd all have to have roughly the same properties and it is impossible. For this case, we would be able to simulate transmission in a private network through security devices and measure the requirements for a performance.

---

\* Lt. Ing. Miroslav Štolpa, Univerity of defence, Faculty of military technologies Communications and information systems department

## CONJUGATA FUNCȚIILOR CONVEXE

Florența Violeta TRIPȘA \*

*Abstract: We try a characterisation of the convex functions in relationship with linear functions and also a simple procedure in order to determine the conjugate of such function.*

**2000 MSC: 52A41**

**Key words:** convex function, epigraph, conjugate.

### Capitolul I

Convexitatea este un concept unificator a unor idei aflate între Analiză și Geometrie. Fundamentarea geometrică a teoriei s-a realizat prin lucrările clasice ale lui *H. Minkowski (1864-1909)* viguros dezvoltate în anii 20-30 culminându-se în câteva principii de bază ale analizei funcționale. Din anii 60 în coace a început o nouă etapă în care aceeași desăvârșire a cunoscut teoria funcțiilor convexe. Astfel s-a constituit o nouă disciplină matematică: Analiză convexă – o teorie sintetică în care ideile analitice și geometrice s-au armonizat perfect căpătând aplicații fundamentale în teoria optimizării devenind astfel una din cele mai importante capitole ale matematicii aplicate.

În planul  $P$  fixăm un reper cartezian  $\left\{ \vec{0}; \vec{i}, \vec{j} \right\}$  și considerăm sistemul de coordonate

carteziene definit de reperul ales care constă în bijecția între  $P$  și  $\mathbf{R}^2$  prin care punctul  $M \in P$  i se pune în corespondență perechea  $(x, y)$  a abscisei respectiv ordonatei punctului  $M$ .

Bijecția inversă atașează perechii arbitrare  $(x, y)$  din  $\mathbf{R}^2$  punctul din  $P$  notat  $M(x, y)$  având exact coordonatele  $x$  și respectiv  $y$ .

Dacă  $f : I \rightarrow \mathbf{R}$ ,  $I \subset \mathbf{R}$ , este o funcție arbitrară atunci îi punem în corespondență submulțimea din planul  $P$  numită epigraful sau subgraficul lui  $f$  formată din toate punctele  $M(x, y)$  pentru care  $x \in I$  și  $y \geq f(x)$ ; această submulțime se notează  $epi(f)$ .

Deci

$$epi(f) = \{M(x, y) : x \in I, y \geq f(x)\} \quad (1)$$

Funcția  $f$  prin definiție se va numi convexă dacă  $epi(f)$  este o mulțime convexă.

## Capitolul II

TEOREMA 1 (caracterizarea convexității epigrafului prin inegalitatea lui Jensen)

Relativ la o funcție  $f : I \rightarrow \mathbf{R}$  următoarele afirmații sunt echivalente

- i.  $\text{epi}(f)$  este o mulțime convexă
- ii.  $\forall x_1, x_2 \in I$  și  $t \in [0, 1]$  avem  
 $(1-t)x_1 + tx_2 \in I$  și  $f((1-t)x_1 + tx_2) \leq (1-t)f(x_1) + tf(x_2)$

TEOREMA 2 (proprietăți de continuitate și derivabilitate a funcțiilor convexe)

Dacă  $I$  este un interval deschis, iar  $f : I \rightarrow \mathbf{R}$  o funcție convexă, atunci în fiecare punct  $x \in I$  există derivate laterale finite  $f'_\pm(x)$  care îndeplinesc următoarele inegalități:

- i.  $f'_-(x) \leq f'_+(x), \forall x \in I$
- ii.  $f'_+(x_1) \leq f'_-(x_2), \forall x_1, x_2 \in I$  cu  $x_1 < x_2$   
Drept urmare funcția este continuă în fiecare punct.

TEOREMA 3 (dreptele de sprijin ale epigrafului în punctele graficului)

Dacă  $I$  este un interval deschis, iar  $f : I \rightarrow \mathbf{R}$  o funcție convexă, atunci dreptele ale mulțimii convexe  $\text{epi}(f)$  în punctul de frontieră  $(x_0, f(x_0)), x_0 \in I$  sunt exact dreptele  $y = f(x_0) + m(x - x_0)$ , cu  $m \in [f'_-(x_0), f'_+(x_0)]$ .

În plus epigraful se află în semiplanul  $y \geq f(x_0) + m(x - x_0)$

*Demonstrație:*

Dacă  $\text{epi}(f)$  se află în semiplanul  $y \geq f(x_0) + m(x - x_0)$ , atunci pentru  $\forall x \in I$  din  $(x, f(x)) \in \text{epi}(f)$  rezultă  $f(x) \geq f(x_0) + m(x - x_0)$ .

Prin urmare dacă  $x_1 < x_0 < x_2$ , atunci din  $(x_i, f(x_i)) \in \text{epi}(f), i = 1, 2, \dots$  rezultă

$$\frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \leq m \leq \frac{f(x_2) - f(x_0)}{x_2 - x_0}$$

ceea ce implică:  $f'_-(x_0) \leq m \leq f'_+(x_0)$ .

Reciproc din inegalitățile  $\frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \leq f'_-(x_0) \leq m \leq f'_+(x_0) \leq \frac{f(x_2) - f(x_0)}{x_2 - x_0}$

și  $x_1 < x_0 < x_2$ , rezultă  $f(x_i) \geq f(x_0) + m(x_i - x_0), i = 1, 2, \dots$  deci graficul funcției  $f$  se află în semiplanul  $y \geq f(x_0) + m(x - x_0)$ . Atunci cu atât mai mult punctele epigrafului se află în acest semiplan.

## Capitolul III

### 3.1 Funcții convexe ca înfășurătoare de funcții liniare

Dăm o nouă caracterizare a funcțiilor convexe în termenii funcțiilor liniare. Fie  $f : I \rightarrow \mathbf{R}$ ,  $I$  interval deschis în  $\mathbf{R}$ . Pentru  $f$  fixată notăm  $F_f$  familia tuturor acelor funcții  $g(x) = ax - b$ , ( $a, b \in \mathbf{R}$ ) pentru care:  $f(x) \geq g(x)$ ,  $\forall x \in I$ .

**TEOREMA 4**

Următoarele două afirmații sunt echivalente

- i.  $f$  este o funcție convexă
- ii.  $f = \sup\{g(x) : g \in F_f\}$  în fiecare punct  $x \in I$ .

Cu alte cuvinte o funcție (pe un interval deschis) este convexă dacă este înfășurătoarea superioară a minoranților ei liniari.

*Demonstrație:*

$i \Rightarrow ii$  rezultă din teorema 3

Pentru  $x_0 \in I$  fixat  $g(x) = ax - b$ ,  $a \in [f'_-(x_0), f'_+(x_0)]$  și  $b = ax_0 - f(x_0)$  este un minorant și avem  $f(x_0) = g(x_0)$  deci în (ii) în loc de supremum avem chiar maximum.

$ii \Rightarrow i$   $f$  satisface (ii) atunci  $epi(f) = \cap\{epi(g) : g \in F_f\}$

Deoarece funcțiile  $g$  sunt convexe (de exemplu  $g'' = 0$ ) mulțimile  $epi(g)$  sunt convexe (mai exact  $epi(g)$  sunt semiplane închise) deci și intersecția lor,  $epi(f)$ , este convexă ceea ce înseamnă tocmai convexitatea lui  $f$ .

## Capitolul IV

### 4.1 Conjugata funcțiilor convexe

Considerăm  $M \subset P$  definită astfel:

$$M = \{M(a, b) : ax - b \leq f(x), \forall x \in I\}$$

Dacă  $M_i(a_i, b_i) \in M$ ,  $i = 1, 2$ , iar  $t \in [0, 1]$  atunci din  $a_i x - b_i \leq f(x)$  rezultă  $[(1-t)a_1 + ta_2]x - [(1-t)b_1 + tb_2] \leq f(x)$  ceea ce implică faptul că tot segmentul  $[M_1, M_2] \subset M$ , adică  $M$  mulțime convexă.

Fie  $I^* \subset \mathbf{R}$  mulțimea acelor numere reale  $a$  pentru care există  $b \in \mathbf{R}$  cu  $M(a, b) \in M$ .

Arătăm că există o funcție  $f^* : I^* \rightarrow \mathbf{R}$  având ca epigraf tocmai mulțimea  $M$ .

Observăm că pentru  $a \in I^*$  fixat, dacă  $M(a, b) \in M$  atunci  $ax - f(x) \leq b$ , oricare  $x \in I$ .

Definim  $f^*$  în  $a \in I^*$  prin

$$f^*(a) = \sup\{ax - f(x) : x \in I\} \tag{2}$$

Din echivalențele:  $M(a, b) \in M \Leftrightarrow ax - f(x) \leq b$  pe  $I \Leftrightarrow \sup\{ax - f(x) \leq b\} \Leftrightarrow M(a, b) \in epi(f)$ .

În particular, convexitatea lui  $M$  asigură convexitatea funcției  $f^*$  numită conjugata lui  $f$ . Din definiția lui  $f^*$  rezultă că  $f$  și  $f^*$  se determină reciproc:  $f$  determină  $f^*$  prin

definiția (2), iar  $f^*$  determină  $f$  prin faptul că  $f^*$  determină mulțimea  $M = \text{epi}(f^*)$ , iar  $M$  determină familia  $F_f$  și în final, în baza teoremei 4  $F_f$  determină  $f$ .

Tot din definiția (2) rezultă:

$$f^*(a) + f(x) \geq ax, \quad \forall x \in I, a \in I^* \quad (3)$$

numită inegalitatea YOUNG-FENCHEL.

În final indicăm o procedură simplă pentru determinarea conjugatei  $f^*$  în cazul în care  $f'$  este strict crescătoare (deci  $f$  convexă).

În această situație  $I^*$  va fi imaginea lui  $I$  prin  $f'$  (se aplică faptul că funcția derivată are proprietatea lui DARBOUX). Pentru  $a \in I^* = f'(I)$  se alege punctul unic  $x_a \in I$  cu  $f'(x_a) = a$  și din  $f'' > 0$  se conchide că  $x_a$  este un punct de maxim pentru  $ax - f(x)$ , deci  $f^*(a) = ax_a - f(x_a)$ .

### Aplicație

Fie  $q > 1$  și  $f(x) = \frac{x^q}{q}$  definită pe  $(0, +\infty)$ .

Derivata  $f'(x) = x^{q-1}$  este strict crescătoare și transformă intervalul  $(0, +\infty)$  în el însuși.

Prin urmare conjugata  $f^*$  va fi definită pe  $(0, +\infty)$ . Dacă  $a \in (0, +\infty)$  este arbitrar, atunci  $a = f'(x)$  admite singura rădăcină  $x_a = a^{\frac{1}{q-1}}$  și în consecință

$$f^*(a) = a \cdot x_a - f(x_a) = \left(1 - \frac{1}{q}\right) a^{\frac{q}{q-1}}.$$

Introducând parametrul  $p = \frac{q}{q-1}$  rezultă că  $p > 1$ ,  $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$  și  $f^*(a) = \frac{a^p}{q}$ . În final inegalitatea YOUNG-FENCHEL ne conduce la baza inegalității lui HOLDER:

$$\frac{a^p}{p} + \frac{x^q}{q} \geq ax.$$

### Bibliografie

- [1] Benko, Iosif: Elemente de Analiză Matematică, Universitatea Transilvania Brașov, 1992  
 [2] Moise, E.E.: Geometrie elementară dintr-un punct de vedere superior, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.

---

\* Tripșa, Florența Violeta, Doctorand, Universitatea Transilvania Brașov, Facultatea de Matematică și Informatică, 0368/459961, email: florentatripșa@yahoo.com

## ESTIMAREA ȘI PREDICȚIA FIABILITĂȚII SISTEMELOR DE COMANDĂ ȘI CONTROL PE BAZA PROFILELOR OPERAȚIONALE

Cezar VASILESCU\*

**Abstract:** *The aim of this article is to approach the reliability of the command and control systems employed in the Air Forces and to discuss one of the available solutions that is employed in solving critical reliability issues. In order to achieve this, the steps taken will be as follows. First, the concept of hardware and software systems operational profile will be introduced. Next, the methodology used to develop the operational profile will be described. With a view to this, the focus will be on the definition, description and means of establishing the customer, user, system mode, functional profiles.*

**Keywords:** *reliability, hardware/software systems, operational profiles;*  
**2000 MSC:** 68M15

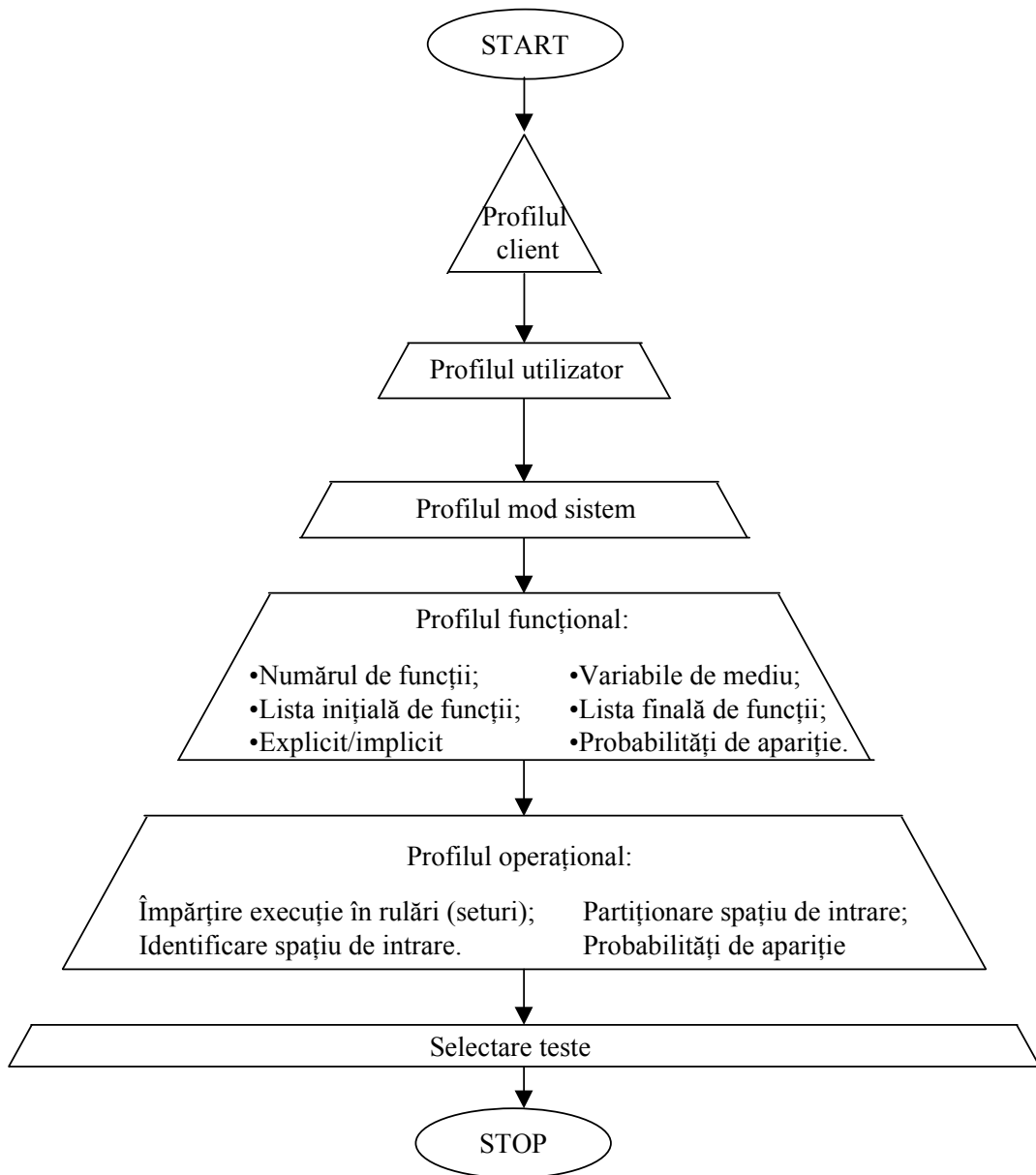
### I. PROFILE OPERAȚIONALE

Performanțele sistemelor combinate hardware/software depind în mare măsură de mediul în care acestea operează. Însă dacă pentru hardware modificarea fizică a unui element intern reprezintă principala cauză a funcționării defectuoase, sistemul software nu se schimbă, iar defectările se datorează intrărilor primite din mediul exterior.

Estimarea corectă a fiabilității sistemului depinde de testarea acestuia ca și cum s-ar afla în mediul operațional. Profilul operațional poate fi definit ca o caracterizare cantitativă a utilizării software-ului [2]. Un profil constă dintr-un set de posibilități independente numite elemente și probabilitățile lor de apariție asociate. De exemplu, dacă operațiunea A apare 60% din timp, operațiunea B 30% și operațiunea C 10%, atunci profilul operațional este [A, 0,6, ...B, 0,3, ...C, 0,1].

Dezvoltarea profilului operațional al unui sistem implică trecerea prin unul (sau mai mulți) din următorii pași (figura 1):

1. Stabilirea profilului client;
2. Definirea profilului utilizator
3. Determinarea profilului modului sistem;
4. Determinarea profilului funcțional;
5. Determinarea profilului operațional propriu-zis.



**Figura 1. Dezvoltarea profilului operațional [1].**

### 1.1. Profilul client

Individul, grupul sau organizația ce achiziționează un sistem software constituie în mod generic un client. Profilul clientului constă dintr-un vector de tipuri independente de clienți. Un tip de client reprezintă unul sau mai mulți clienți dintr-un grup ce intenționează să folosească sistemul în manieră similară, diferit de clienții din alte grupuri.

Considerând cazul unui pachet software tip spreadsheet (ex: Microsoft Excel), clienții acestuia pot fi instituții educaționale, comerciale sau utilizatori individuali. Fiecare dintre aceste tipuri de clienți îi va utiliza în mod diferit.

Profilul client constă din lista tipurilor de clienți și probabilitățile lor asociate. Aceste probabilități sunt pur și simplu procentele de timp în care fiecare tip de clienți vor folosi sistemul. Considerând exemplul de mai sus, un posibil profil client poate fi cel din tabelul 1.



**Tabelul 1. Exemplu de profil client.**

Client	Probabilitate de apariție
Instituție educațională	0,45
Instituție comercială	0,35
Utilizator individual	0,20

## 1.2. Profilul utilizator

Cumpărătorii unui sistem pot fi diferiți de utilizatorii acestuia. Un utilizator este o persoană, grup sau instituție ce asigură operarea sistemului. Un tip de utilizator reprezintă un grup de utilizatori ce folosesc sistemul de aceeași manieră.

Profilul utilizator este constituit din setul de tipuri de utilizatori și probabilitățile asociate lor de folosire a sistemului.

## 1.3. Profilul mod sistem

Modul sistem reprezintă modalitatea în care un sistem poate funcționa, luând în considerare hardware-ul și software-ul din componența acestuia. Luând ca exemplu zborul unui avion, acesta constă din: decolare (mod ascendent), zbor orizontal, zbor descendent, aterizare (mod la sol). Profilul mod sistem este constituit din lista modurilor sistem și probabilitățile asociate lor de apariție.

Modurile sistem pot fi tratate ca segmente independente ale funcționării sistemului sau ca diferite modalități de utilizare ale acestuia. Sistemul poate trece secvențial de la un mod sistem la altul sau poate permite funcționarea concurrentă a mai multor moduri ce folosesc în comun aceleași resurse. Pentru fiecare mod sistem trebuie dezvoltat câte un profil operațional.

## 1.4. Profilul funcțional

După dezvoltarea profilului mod sistem este necesară analiza fiecărui mod pentru evidențierea funcțiilor îndeplinite și asignarea câte unei probabilități de apariție fiecărei funcții. Funcțiile reprezintă sarcinile esențiale pe care o entitate externă (un utilizator) le poate îndeplini cu ajutorul sistemului.

Numărul funcțiilor conținute de un profil funcțional variază în funcție de dimensiunea sistemului, numărul de moduri sistem, mediul de operare și poate fi cuprins în general între 20 și 100. Profilul funcțional poate fi explicit sau implicit, în funcție de variabilele esențiale de intrare. Acestea constau din parametri externi (șiruri de variabile) ce influențează căile de execuție ale sistemului software, cauzând executarea unor operații diferite.

Șirurile de variabile sunt de obicei referite ca niveluri. Profilul funcțional este explicit dacă fiecare element este proiectat prin specificarea simultană a nivelurilor tuturor variabilelor esențiale necesare pentru identificarea sa. Profilul este implicit dacă este exprimat prin subprofiluri ale fiecărei variabile esențiale. Astfel, fiecărui parametru  $i$  se asignează probabilități asociate domeniilor de valori pe care le poate lua.

Presupunând că avem două variabile esențiale independente,  $X$  și  $Y$ , fiecare putând lua trei valori diferite. Putem defini nouă operații bazate pe combinația celor două variabile și profilele funcționale implicite și explicite (tabelele 2 și 3). Principalul avantaj al utilizării profilurilor funcționale implicite este acela că trebuie specificate un număr mult mai mic de elemente.

**Tabelul 2. Profil funcțional implicit.**

Subprofilul C		Subprofilul D	
Valoarea variabilei esențiale de intrare x	Probabilitatea de apariție	Valoarea variabilei esențiale de intrare y	Probabilitatea de apariție
x1	0,6	y1	0,7
x2	0,3	y2	0,2
x3	0,1	y3	0,1

Pentru generarea unui profil funcțional se parcurg următorii pași [4]:

1. Generarea unei liste inițiale de funcții
2. Determinarea variabilelor de mediu
3. Crearea listei finale de funcții
4. Asignarea probabilităților de apariție

Lista inițială de funcții trebuie să cuprindă capabilitățile necesare utilizatorilor. Dacă este folosit un profil funcțional implicit, lista poate fi organizată pe funcții relevante fiecărei variabile esențiale de intrare. Capabilitățile vor fi formulate sub forma specificației privind cerințele sistem.

**Tabelul 3. Profil funcțional explicit.**

Valorile variabilei esențiale de intrare	Probabilitate de apariție
x1y1	0,42
x2y1	0,21
x1y2	0,12
x3y1	0,07
x1y3	0,06
x2y2	0,06
x2y3	0,03
x3y2	0,02
x3y3	0,01

Următorul pas este acela de a determina variabilele de mediu și domeniul lor de valori. Variabilele de mediu caracterizează condițiile ce influențează căile de execuție ale programului, însă nu se suprapun direct capabilităților. Exemple de variabile sunt configurația hardware și încărcarea cu date.

Înainte de crearea *listei finale de funcții* (tabelul 4), variabilele de mediu și caracteristicile trebuie verificate sub raportul dependențelor. Lista trebuie să fie cât mai ortogonală posibil, așa încât dacă o variabilă depinde semnificativ de alta, ea poate fi eliminată.

Numărul final de funcții este calculat ca fiind produsul dintre numărul de funcții din lista inițială și numărul de niveluri ale variabilelor de mediu, minus combinațiile de funcții inițiale și valori ale variabilelor de mediu care nu apar.

Ultimul pas este asignarea probabilităților de apariție. Acestea pot proveni la modul ideal din măsurătorile făcute ultimei versiuni sau unui sistem similar înregistrate în log-urile sistem. Valorile probabilităților de apariție obținute pe baza datelor istorice trebuie aduse la zi pentru a considera noi funcții, medii de operare sau utilizatori. Dialogul cu utilizatorii poate indica relativa importanță acordată de aceștia unor funcții, fapt ce poate conduce la reducerea numărului funcțiilor și implicit la creșterea fiabilității.

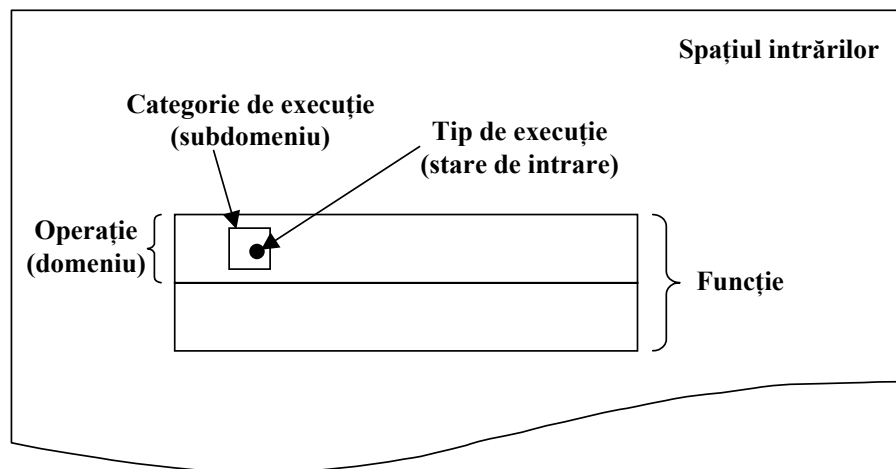
**Tabelul 4. Listă finală de funcții.**

Funcție	Variabilă de mediu
Deviația standard	x
	y
Corelația	x
	y
Variația	x
	y
Regresia	x
	y

### 1.5. Profilul operațional

În determinarea unui profil operațional se pornește de la funcțiile identificate, fiecare constând din mai multe operațiuni (figura 2). Acestea sunt formate din mai multe tipuri de execuție. Partiționarea spațiului de intrare în domenii se realizează prin gruparea tipurilor de execuție în operații. Domeniul poate fi împărțit la rândul său în subdomenii (categoriile de execuție).

Folosirea la testare a profilului operațional implică alegerea domeniului ce caracterizează operația, apoi a subdomeniului corespunzător categoriei de execuție și în final a stării de intrare ce caracterizează rularea [1].

**Figura 2. Elemente operaționale [1].**

*Un profil funcțional este o abordare orientată utilizator a capacităților sistemului. Din perspectiva dezvoltatorilor, funcțiile sunt implementate prin intermediul operațiilor, care sunt obiectul testării. Arhitectura operațională descrie modul cel mai probabil în care utilizatorul va folosi operațiile pentru îndeplinirea funcțiilor.*

Principalul obiectiv al determinării profilului operațional este determinarea operațiilor și probabilităților lor de apariție. Lista operațiilor poate fi dedusă din profilul funcțional, asociind funcțiile și operațiile folosind arhitectura operațională sistem. Funcțiile trebuie definite astfel încât să poată exista o corespondență 1:n între acestea și operații.

Determinarea listei de operații se face urmând următorii pași:

- împărțirea execuției în rulări;
- identificarea spațiului intrărilor;

- partiționarea spațiului intrărilor în operații.

#### *Împărțirea execuției în rulări*

Rularea este un task specific executat de sistem ca răspuns la o variabilă externă. Rulările aceleiași clase formează un tip de execuție. Pentru a aparține aceleiași clase, rulările trebuie să urmeze aceeași “cale de execuție” în interiorul software-ului. Variația nivelului variabilelor de intrare determină apariția unui tip separat de rulare.

Fiecare tip de execuție are asociate o stare de intrare, un set de variabile de intrare și nivelurile corespunzătoare lor. O stare de intrare din spațiul intrărilor determină unic calea execuției dintr-o rulare. Un parametru de intrare poate avea numai o valoare pentru fiecare rulare.

#### *Identificarea spațiului intrărilor*

Considerând un software relativ puțin complex, spațiul de intrare (combinație a intrărilor și valorilor acestora) este extrem de mare. Un profil al stării de intrare este format din setul stărilor de intrare și probabilitățile lor asociate.

Spațiul intrărilor poate fi identificat prin simpla enumerare a setului de variabile de intrare implicate.

#### *Partiționarea spațiului intrărilor în operații*

Pentru a-i reduce semnificativ numărul de elemente, spațiul intrărilor trebuie partiționat prin gruparea tipurilor de execuție în operații. Spațiul intrărilor poate fi împărțit prin selectarea intervalelor valorilor de intrare ce aparțin aceluiași tip de execuție.

Pentru efectuarea unor teste aleatoare neuniforme reprezentative, stările de intrare trebuie alese aleator din spațiul intrărilor și operațiile selectate aleator conform profilului operațional.

Determinarea profilului operațional poate fi o sarcină dificilă. Astfel, profilul operațional poate genera un set de teste nerealist, deoarece lista de operații poate fi prea mare. Din acest motiv este necesară reducerea numărului de operații, prin:

1. reducerea numărului de tipuri de rulări;
2. creșterea numărului de tipuri de rulare grupate pentru fiecare operațiune;
3. eliminarea seturilor de tipuri de rulare rămase, care se așteaptă a avea o probabilitate totală de apariție cu mult mai mică decât intensitatea de defectare propusă.

Numărul de tipuri de rulare poate fi redus fie prin micșorarea dimensiunii listei variabilelor de intrare, fie prin reducerea numărului de nivele a variabilelor de intrare.

În vederea unei reduceri potențiale a numărului variabilelor de intrare pot fi luate următoarele măsuri [3], în vederea:

- reducerea funcționalității;
- reducerea numărului configurațiilor hardware posibile;
- restricționarea condițiilor de mediu în care programul trebuie să opereze;
- reducerea numărului tipurilor de defecțiuni posibile;
- reducerea interacțiunilor inutile dintre rulări succesive.

Dintre măsurile enumerate, doar cea de a cincea este realistă, primele 4 determinând schimbări ale caracteristicilor sistemului, reducându-i acestuia flexibilitatea, robustețea și în cele din urmă fiabilitatea.

Pentru reducerea interacțiunilor inutile dintre rulări succesive se pot minimiza variabilele de intrare accesibile programelor aplicative, la orice moment de timp și reinițializa variabilele între două rulări succesive.

### *Determinarea probabilităților de apariție*

După partiționarea fiecărei variabile de intrare în intervale de valori, se trece la identificarea probabilităților asociate fiecărui interval și fiecărei variabile. Se recomandă analogia cu datele existente pentru sisteme similare. Validitatea estimărilor de fiabilitate este direct legată de apropierea estimărilor de probabilitate de datele existente.

În scopul minimizării riscului de obținere a unor estimări de fiabilitate incorecte, se începe prin măsurarea intervalelor de valori ale variabilelor de intrare pentru prima versiune a sistemului studiat, actualizând probabilitățile de apariție folosite pentru testare cu acelea asociate următoarelor versiuni. De asemenea, pentru a evita estimări nerealiste, estimarea inițială trebuie făcută de o persoană experimentată, cu o înțelegere aprofundată a sistemului și a cerințelor utilizatorilor acestuia.

## II. BIBLIOGRAFIE

- [1] **MUSA, J.D.** – “*Operational Profiles in Software Reliability Engineering*”, IEEE Software Magazine, March, 1993
- [2] \*\*\* – “*System and Software Reliability Assurance Notebook*”, produced for Rome Laboratory, New York, 1997
- [3] **STAȘ, M.** – “*Contribuții la studiul fiabilității produselor program*”, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, pag. 88-106, București, 2001
- [4] **VASILESCU, C.** – “*Probleme actuale în fiabilitatea sistemelor de comandă și control din forțele aeriene*”, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 2006

---

\* Cezar Vasilescu, lt. col. lector univ. dr. ing., Departamentul Regional de Studii pentru Managementul Resurselor de Apărare, Brașov, Mihai Viteazul, nr. 160, tel. 0268/401800, email: [caesarv@crmra.ro](mailto:caesarv@crmra.ro)

## APLICAREA METODOLOGIEI DE ESTIMARE ȘI PREDICȚIE A FIABILITĂȚII PE BAZA PROFILELOR OPERAȚIONALE LA SISTEMELE C4ISR

Cezar VASILESCU\*

**Abstract:** *The current article focuses on the command and control systems within Air Force. Its purpose is to describe one of the solutions that exists and that addresses the critical problem of reliability. Thus, it will detail on how the methodology of hardware/software systems operational profile development can be applied to a case study that is representative of the C4ISR systems. In order to identify the operational profiles of a missile system within the USA Air Force, which is approached as a C4ISR execution subsystem, the topics discussed cover the content and the means of establishing customer profile, user profile, system mode profile, as well as system operational profile developed in accordance with its functioning principles. In the end, based on this methodology employed to estimate and predict systems' reliability on the basis of operational profiles the necessary conclusions will be drawn.*

**Keywords:** *reliability, hardware/software systems, operational profiles;*  
**2000 MSC:** 68M15

### I. PREZENTAREA SISTEMULUI SELECTAT

Exemplul următor tratează determinarea profilelor operaționale ale unui sistem de rachete (subsistem de execuție C4ISR) aflat în dotarea forțelor aeriene și navale ale SUA. Datele reale au fost alterate pentru a păstra caracterul general al analizei și a servi scopurilor de exemplificare [4] [7].

Cerința de fiabilitate pentru sistem este aceea că impactul rachetei trebuie să fie sub o rază de 10 metri de țintă în cel puțin 95% dintre cazuri. În plus, fiabilitatea dispozitivului de transport și lansare (definită ca probabilitatea ca proiectilul aerian să treacă un test – IBIT – Initiated Built-in-test, inițiat între comanda de lansare și lansarea propriu-zisă) trebuie să fie de cel puțin 0,98. Aceste cerințe sistem au fost alocate elementelor configurației hardware și software-ului operațional de zbor.

Software-ul operațional de zbor a primit o alocare de fiabilitate de 97% (pentru zbor liber), adică eșecul rachetei datorat unei erori software nu trebuie să apară mai mult de 3 ori la 100 de trageri. Cerința de fiabilitate pentru IBIT a fost de 0,995.

Software-ul operațional de zbor este reprezentat printr-un element al configurației software (CSCI).

## II. DETERMINAREA PROFILULUI CLIENT, A PROFILULUI UTILIZATOR ȘI A PROFILULUI MOD SISTEM

### 2.1. Determinarea profilului client

Au existat doi clienți, forțele aeriene și forțele navale. S-a estimat că forțele aeriene vor achiziționa aproape 73% din rachete. Profilul client rezultat este prezentat tabelul 1.

**Tabelul 1. Profilul client pentru rachete.**

Client	Probabilitate de apariție
Forțe aeriene	0,73
Forțe navale	0,27

### 2.2. Determinarea profilului utilizator

A fost dezvoltat prin examinarea tipurilor de avioane ce pot utiliza rachetele. Forțele aeriene posedă trei avioane de luptă corespunzătoare: F-100, F-200 și F-300. Forțele navale au două avioane de atac corespunzătoare: A-25 și A-50. Au fost făcute estimări asupra frecvenței cu care ar fi lansate rachetele folosind fiecare tip de avion. Profilul utilizator rezultat este prezentat în tabelul 2.

**Tabelul 2. Profil utilizator pentru rachete.**

Avion	Probabilitate de apariție
F-100	0,38
F-200	0,22
A-25	0,21
F-300	0,13
A-50	0,06

### 2.3. Determinarea profilului mod sistem

Au fost identificate în cerințe două moduri sistem critice pentru succesul misiunii: zborul liber și testul inițial (IBIT). Probabilitățile de apariție au fost obținute prin estimarea timpului mediu al sistemului de rachete în fiecare mod, pe durata misiunii. IBIT durează în medie 20 secunde. Durata porțiunii de zbor liber a fost estimată la 90 secunde. Fiecare mod



apare o singură dată pe durata misiunii. Profilul mod sistem determinat este prezentat în tabelul 3.

**Tabelul 3. Profilul mod sistem rachetă.**

<b>Mod</b>	<b>Probabilitate de apariție</b>
Zbor liber	0,1818 (90/110)
Test inițial (IBIT)	0,182 (20/110)

Modulele software (CSCI) ce funcționează pe durata IBIT și a zborului sunt enumerate în tabelul 4. Unele din module sunt comune celor două moduri sistem.

**Tabelul 4. Modulele software rachetă.**

<b>Zbor liber</b>	<b>IBIT</b>
Navigare asistată	Controler IMU
Strapdown	Controler GPS
Soluția de navigație	Controler LP
Filtru Kalman	Secvențiator de misiune
Controler IMU	Tratare mesaje
Controler GPS	De bază / alternativ
Pilot automat	Controler TAS
Controler TAS	Controler JPF
Controler JPF	Starea vehiculului
Procesor de ghidare	Controlere de comunicație
Starea vehiculului	Controler interfață GEM
Controlere de comunicație	Utilități
Controler interfață GEM	
Telemetrie	

#### 2.4. Determinarea profilului funcțional

Pentru acest sistem specific, nu a fost necesară dezvoltarea unui profil funcțional. În schimb, s-a decis determinarea variabilelor operaționale relevante. Operațiile folosite au fost chiar modurile sistem.

### III. DEZVOLTAREA PROFILULUI OPERAȚIONAL

Profilul operațional a fost dezvoltat din lista variabilelor esențiale de intrare. Variabilele pentru modurile sistem IBIT și zbor liber sunt prezentate în tabelul 5.

**Tabelul 5. Variabilele de mediu pentru modurile sistem.**

<b>Factori IBIT</b>	<b>Factori zbor liber</b>
Rezultatul BIT IMU	GPS disponibil
Timpul IMU rezultat	Orientarea țintei
Rezultatul BIT GPS	Alinierea axelor
Timpul GPS rezultat	Traieectoria
Rezultatul BIT TAS	Viteza
Timpul TAS rezultat	Timpul de întârziere
Rezultatul BIT JPF	Durata alinierii

<b>Factori IBIT</b>	<b>Factori zbor liber</b>
Timpul JPF rezultat	Timpul TA de întrerupere
Rezultatul BIT ATE	Nivelul de eliberare
Timpul ATE rezultat	Unghiul de impact
Rezultate discrete	Distanța de tragere

Următorul pas a fost acela de a stabili limite pentru fiecare dintre parametri și numărul de nivele în care fiecare variabilă ar trebui partiționată. *Am decis limitarea la numai două nivele.* Parametrii cu limitele variabilelor asociate și probabilitățile de apariție estimate pentru IBIT sunt prezentate în tabelul 6, iar pentru modul zbor liber în tabelul 7.

**Tabelul 6. Profilul operațional IBIT pentru rachetă.**

<b>Parametri</b>	<b>Valori</b>	<b>Probabilități IBIT</b>
Rezultatul BIT IMU	(Pass, Fail)	(0,99, 0,01)
Rezultatul BIT GPS	(Pass, Fail)	(0,99, 0,01)
Rezultatul BIT TAS	(Pass, Fail)	(0,99, 0,01)
Rezultatul BIT JPF	(Pass, Fail)	(0,99, 0,01)
Rezultatul BIT ATE	(Pass, Fail)	(0,99, 0,01)
Rezultate discrete	(Pass, Fail)	(0,99, 0,01)
Timpul IMU rezultat	(2-10, 10-20)	(0,05, 0,95)
Timpul GPS rezultat	(2-10, 10-20)	(0,05, 0,95)
Timpul TAS rezultat	(2-10, 10-20)	(0,10, 0,90)
Timpul JPF rezultat	(2-10, 10-20)	(0,15, 0,85)
Timpul ATE rezultat	(2-10, 10-20)	(0,50, 0,50)

**Tabelul 7. Profilul operațional zbor liber pentru rachetă.**

<b>Parametri</b>	<b>Valori</b>	<b>Probabilități IBIT</b>
GPS disponibil	(Da, Nu)	(0,75, 0,25)
Orientarea țintei	(Orizontală, Verticală)	(0,90, 0,10)
Alinierea axelor	(On, Off)	(0,70, 0,30)
Traectoria	(normală, Loft)	(0,80, 0,20)
Viteza	(mică, rapidă)	(0,60, 0,40)
Timpul de întârziere	(lung, scurt)	(0,95, 0,05)
Durata alinierii	(lungă, scurtă)	(0,75, 0,25)
Timpul TA de întrerupere	(lung, scurt)	(0,85, 0,15)
Nivelul de eliberare	(40K, 18K)	(0,90, 0,10)
Unghiul de impact	(mic, mare)	(0,65, 0,35)
Distanța de tragere	(lungă, scurtă)	(0,50, 0,50)

Fiecare dintre aceste profile este implicit. O stare specifică de intrare este generată prin selectarea aleatoare a unei valori pentru fiecare dintre acești parametri. În primul rând va fi selectat un interval de valori, în raport cu probabilitatea de apariție. De exemplu, există 60% șanse să fie selectată o viteză mică. Aceasta se poate încadra în intervalul 0,4 la 0,9 Mach. Apoi va fi aleasă aleator o valoare din acest interval, toate valorile având aceeași probabilitate de a fi selectate.

*Aceste profile operaționale au fost utilizate pentru a genera cazuri de test pentru software pe parcursul testului sistem. Efectuarea unui număr substanțial de teste aleatoare permite atingerea unui nivel bun de acoperire a spațiului intrărilor în sistem.*

*În acest exemplu nu a fost dezvoltat un profil funcțional deoarece nu există o interacțiune umană cu sistemul pe durata modurilor sistem considerate.*

#### IV. OBSERVAȚII ASUPRA ESTIMĂRII ȘI PREDICȚIEI FIABILITĂȚII PE BAZA PROFILELOR OPERAȚIONALE

Metodologia de estimare a fiabilității folosind profile operaționale prezentată anterior impune câteva observații:

- Oferă o procedură clară și utilă pentru construirea unui profil operațional pe baza căruia pot fi obținute cazuri de test adecvate; detaliază, deși nu în totalitate, cei cinci pași care se impun a fi urmați și dezvoltați;
- Exemplifică fiecare subprofil obținut, astfel încât să dea relevanță maximă entităților obiect implicate;
- Permite apropierea testării software de cea hardware, tabelele 6 și 7 realizând conversia variabilelor de intrare în variabile binare (cu două niveluri);
- Metodologia nu oferă garanții cu privire la detectarea oricărui defect.

Astfel, testarea aleatoare a profilului operațional din tabelul 6 cu un anumit prag de încredere, necesită un număr de experiențe [1]

$$N = \frac{p(1-p)}{\varepsilon^2(1-\gamma)},$$

unde:

$p$  - probabilitatea de eșec;  $\varepsilon$  - eroarea de aproximare;  $\gamma$  - pragul de încredere.

Pentru  $p=0,01$ ,  $\varepsilon=0,001$  și  $\gamma=0,9$  rezultă  $N \approx 10^5$  experiențe. Cu alte cuvinte, nu este garantată decât acoperirea a 90% din cazuri, cu o eroare de  $10^{-3}$ , chiar dacă se fac  $10^5$  experiențe.

Pe de altă parte, testarea exhaustivă a profilului operațional din tabelul 6 necesită un număr de experiențe  $N=2^{11}=2048$ , care acoperă sigur toate situațiile posibile;

- Testarea bazată pe profilurile operaționale din tabelele 6 și 7 ignoră structura funcțională a OFS (Operational Flight Software), precum și faptul că prin testarea unui regim se obțin informații despre comportamente care apar și în celălalt regim;
- Metodologia de testare nu precizează dacă modulele din tabelul 4 sunt testate individual și simultan (caz în care ar trebui să existe un regim special de testat) sau nu;
- Metodologia de testare ignoră fiabilitatea modulelor (numărul sau procentul lor de erori reziduale), iar durata testării lor este considerată implicită (fiecare modul funcționează o singură dată pe durata unui test); acest fapt conduce la o eficiență scăzută a procesului de testare;
- Metodologia de testare propusă nu oferă detalii cu privire la ieșirile testate și la evaluarea acestora.

Pe baza observațiilor enumerate anterior, concluzia care se impune este aceea că ea nu oferă garanții cu privire la detectarea oricărui defect, are o eficiență scăzută și este perfectibilă. Modul în care pot fi eliminate în parte deficiențele acestei metodologii, împreună cu alte aspecte perfectibile ale metodei poate fi consultat în [7].

Unul dintre beneficiile majore ale metodologiei este acela referitor la creșterea fiabilității și teste de demonstrare, bazate pe profile operaționale. Meritul principal al acesteia este acela că ea oferă o abordare orientată spre utilizator a fiabilității sistemului, care prezintă numeroase oportunități pentru modelarea și creșterea fiabilității sistemului.

În concluzie, putem aprecia că metodologia prezintă atât avantaje, cât și limitări, iar dezvoltările oferite de [1], [2], [3], [5], [6] și [7] oferă o bază mai bună pentru alocarea și predicția fiabilității.

#### IV. BIBLIOGRAFIE

- [1] **GHIȚĂ, A., IONESCU, V.** – *“Metode de calcul în fiabilitate”*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1996
- [2] **GHIȚĂ, A., MICU, N., GEORGESCU, G., PODARU, V., VLAD, N.** - *“Cercetări Operaționale”*, volumul II, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1997
- [3] **POPESCU, M.** – *“Managementul fiabilității aplicațiilor software militare”*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 2002
- [4] **\*\*\*** – *“System and Software Reliability Assurance Notebook”*, produced for Rome Laboratory, New York, 1997
- [5] **ȘERB, A.** – *“Sisteme de calcul tolerante la defectări”*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1996
- [6] **STAȘ, M.** – *“Contribuții la studiul fiabilității produselor program”*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, pag. 88-106, București, 2001
- [7] **VASILESCU, C.** – *“Probleme actuale în fiabilitatea sistemelor de comandă și control din forțele aeriene”*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, București, 2006

---

\* Cezar Vasilescu, lt. col. lector univ. dr. ing., Departamentul Regional de Studii pentru Managementul Resurselor de Apărare, Brașov, Mihai Viteazul, nr. 160, tel. 0268/401800, email: [caesarv@crmra.ro](mailto:caesarv@crmra.ro)