

ISSN 0042-8469
COBISS.SR-ID 4423938

VOJNOTEHNIČKI
glasnik
NAUČNI ČASOPIS
MINISTARSTVA ODBRANE
REPUBLIKE SRBIJE

www.vtg.mod.gov.rs

4

UDC 623 + 355/359

GODINA LIX OKTOBAR-DECEMBAR 2011.

ISSN 0042-8469
COBISS.SR-ID 4423938

MILITARY TECHNICAL

Courier

SCIENTIFIC PERIODICAL
OF THE MINISTRY OF DEFENCE
OF THE REPUBLIC OF SERBIA

AL

www.vtg.mod.gov.rs

4

UDC 623 + 355/359

VOLUME LIX OCTOBER-DECEMBER 2011.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

DIREKTOR

Slavojub M. Marković, potpukovnik

ODSEK ZA IZDAVAČKU DELATNOST

GLAVNI UREDNIK

Dragana Marković

ODGOVORNI UREDNIK

mr *Nebojša* Gaćeša, potpukovnik

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel.: 011/3349-497, 064/80-80-118

UREĐIVAČKI ODBOR

- brigadni general prof. dr Bojan Zmić, načelnik Uprave za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse Ministarstva odbrane Republike Srbije, predsednik Uređivačkog odbora,
- brigadni general doc. dr Danko Jovanović, načelnik Uprave za logistiku (J4) Generalštaba Vojske Srbije, zamenik predsednika uređivačkog odbora,
- dr Stevan M. Berber, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand,
- pukovnik doc. dr Mirko Borisov, načelnik Vojnogeografskog instituta, Beograd,
- prof. dr Dragoljub Vujić, Vojnotehnički institut, Beograd,
- brigadni general prof. dr Mladen Vuruna, načelnik Vojne akademije, Beograd,
- pukovnik vanr. prof. dr Goran Dikić, prorektor Univerziteta odbrane, Beograd,
- prof. dr Željko Đurović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu,
- prof. dr Željko Žilić, McGill University, Department of Electrical and Computer Engineering, Montreal, Canada,
- prof. dr Aleksa Zejak, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,
- prof. dr Slobodan Jaramaz, šef Katedre za vojno mašinstvo Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- general-major prof. dr Miodrag Jevtić, rektor Univerziteta odbrane, Beograd,
- doc. dr Vukica M. Jovanović, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA,
- prof. dr Branko Kovačević, rektor Univerziteta u Beogradu,
- prof. dr Mirko Komatina, šef Katedre za termomehaniku Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- naučni savetnik dr Ana Kostov, Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor,
- dr Vasilije M. Manović, CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada,
- prof. dr Gradimir V. Milovanović, dopisni član Srpske akademije nauka i umetnosti, Megatrend univerzitet, Beograd,
- naučni savetnik dr Predrag Petrović, Izvršni direktor za naučno-istraživački rad i radiokomunikacije Instituta za telekomunikacije i elektroniku IRITEL AD, Beograd,
- pukovnik doc. dr Zoran Rajić, direktor Vojnotehničkog instituta, Beograd,
- naučni savetnik dr Aleksandar Rodić, rukovodilac Centra za robotiku Instituta „Mihajlo Pupin“, Beograd,
- naučni savetnik dr Srećko S. Stopić, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland,
- prof. dr Miroslav Trajanović, šef Katedre za proizvodno-informacione tehnologije i menadžment Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu,
- pukovnik naučni saradnik dr Obrad Čabarkapa, načelnik odeljenja za naučnu i inventivnu delatnost, Uprava za stratejsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane Republike Srbije,
- potpukovnik mr Nebojša Gaćeša, odgovorni urednik Vojnotehničkog glasnika, sekretar Uređivačkog odbora.

Adresa redakcije:

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,

Braće Jugovića 19, Beograd

<http://www.vtg.mod.gov.rs>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Pretplata: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs; tel.-fax: 011/3241-009; tekući račun: 840-312849-56

Rukopisi se ne vraćaju

Časopis izlazi tromesečno

Prvi štampani broj Vojnotehničkog glasnika objavljen je 1. 1. 1953. godine

Prvo elektronsko izdanje Vojnotehničkog glasnika na internetu objavljeno je 1. 1. 2011. godine

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojsta@sezampro.rs

MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

ODBRANA MEDIA CENTRE

DIRECTOR

Lt Col *Stavoljub* M. Marković

PUBLISHING DEPARTMENT

EDITOR-IN-CHIEF

Dragana Marković

MANAGING EDITOR

Lt Col *Nebojša* Gaćeša MSc

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel: +381 11 33 49 497, +381 64 80 80 118

EDITORIAL BOARD

- Brigadier General Bojan Zrnić, PhD, Professor, Head of the Department for Defence Technologies, Material Resources Sector, Ministry of Defence, (Head of the Editorial Board)
- Brigadier General Danko Jovanović, PhD, Assistant Professor, Director of Logistics Directorate (J-4) at the General Staff of the Armed Forces of Serbia (Deputy Head of the Editorial Board)
- Stevan M. Berber, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand
- Colonel Mirko Bořisov, PhD, Assistant Professor, Head of the Military Geographical Institute, Belgrade
- Professor Dragoljub Vujić, PhD, Military Technical Institute, Belgrade
- Brigadier General Mladen Vuruna, PhD, Professor, Head of the Military Academy, Belgrade
- Colonel Goran Dikić, PhD, Associate Professor, Prorector of the University of Defence, Belgrade
- Professor Željko Đurović, PhD, Faculty of Electrical Engineering, Belgrade
- Professor Željko Žilić, PhD, McGill University, Department of Electrical and Computer Engineering, Montreal, Canada
- Professor Aleksa Zejak, PhD, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
- Professor Slobodan Jaramaz, PhD, Head of the Department of Military Mechanical Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Major General Miodrag Jevtić, PhD, Professor, Rector of the University of Defence, Belgrade
- Vukica M. Jovanović, PhD, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA
- Professor Branko Kovačević, PhD, Rector of the University of Belgrade
- Professor Mirko Komatina, PhD, Head of the Department for Thermomechanics at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Scientific Advisor Ana Kostov, PhD, Institute of Mining and Metallurgy, Bor, Serbia
- Vasilije M. Manović, PhD, CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada
- Professor Gradimir V. Milovanović, PhD, Corresponding member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Megatrend University, Belgrade
- Scientific Advisor Predrag Petrović, PhD, Executive Director for R&D and Radio Communications, Institute of telecommunications and electronics IRITEL AD, Belgrade
- Colonel Zoran Rajić, PhD, Assistant Professor, Director of the Military Technical Institute, Belgrade
- Scientific Advisor Aleksandar Rodić, PhD, Head of the Robotics Laboratory at the Mihajlo Pupin Institute, Belgrade
- Scientific Advisor Srećko S. Stopić, PhD, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Germany
- Professor Miroslav Trajanović, PhD, Head of the Department for Production IT and Management at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš
- Colonel Obrad Čabarkapa, PhD, Scientific Advisor, Head of the Section for Scientific and Inventive Activities, Strategic Planning Department, Defence Policy Sector, Ministry of Defence of the Republic of Serbia
- Lt Colonel Nebojša Gaćeša, MSc, Managing Editor of the Military Courier, (Secretary of the Editorial Board)

Address:

MILITARY TECHNICAL COURIER

Braće Jugovića 19, 11000 Beograd, Serbia

<http://www.vtg.mod.gov.rs>

<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

e-mail: vojnotehnicky.glasnik@mod.gov.rs

Subscription: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs; Tel.-fax: +381 11 32 41 009; account: 840-312849-56

Manuscripts are not returned

The journal is published quarterly

The first printed issue of the Military Technical Courier appeared on 1st January 1953.

The first electronic edition of the Military Technical Courier on the Internet appeared on 1st January 2011.

Printed by Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojsta@sezampro.rs

SADRŽAJ

NAUČNI ČLANCI

Pokorni J. <i>Slavko</i> , Ostojić Đ. <i>Dušan</i> , Brkić M. <i>Dragoljub</i> Procena pouzdanosti i raspoloživosti komunikacione mreže metodom simulacije	7–14
Evseev <i>Sergej</i> Petrovič (Евсеев <i>Сергей</i> Петрович) Dorohov <i>Aleksandr</i> Vasiljevič (Дорохов <i>Александр</i> Васильевич) Korolj <i>Olga</i> Grigorievna (Король <i>Ольга</i> Григорьевна) Mehanizmi zaštite informacija u kompjuterskim mrežama i sistemima (Механизмы и протоколы защиты информации в компьютерных сетях и системах)	15–39
Pamučar S. <i>Dragan</i> FUZZY-DEA model za merenje efikasnosti kvaliteta transportne usluge	40–61
Vladislavljević T. <i>Goran</i> Emulgovanje primenom mikroporoznih membrana	62–78
Prodanović M. <i>Radivoje</i> , Gavrović-Jankulović Đ. <i>Marija</i> , Kovačević N. <i>Gordana</i> Blažić B. <i>Marija</i> , Prodanović L. <i>Olivera</i> , Ostafe V. <i>Raluca</i> Nanobiokatalizatori za biogorivne ćelije i biosenzorne sisteme	79–92
Ilić M. <i>Slaviša</i> , Andrejić D. <i>Marko</i> Analiza efikasnosti mogućih modela opsluživanja na pumpnim stanicama primenom teorije masovnog opsluživanja	93–115
Đurković V. <i>Sonja</i> Razrada tehnološkog postupka pri ugradnji i opremanju instrumenata u vazduhoplovu	116–133
Perić R. <i>Sreten</i> Rezultati eksperimentalnih ispitivanja triboloških karakteristika ulja iz motora i menjača vozila	134–157
Hristov P. <i>Nebojša</i> , Savić R. <i>Slobodan</i> Modelovanje dvofaznog strujanja u cevima oruđa sa kombinovanim punjenjem	158–173

STRUČNI ČLANCI

Viličić M. <i>Aleksandar</i> , Jezdimirović B. <i>Mirko</i> Simulacija uticaja dodatne redne induktivnosti na servopogon sa DC motorom	174–193
Sokolović S. <i>Vlada</i> , Pavlović R. <i>Slaviša</i> , Janković D. <i>Darko</i> Analiza modela održavanja vazduhoplova	194–207
Paligorić L. <i>Anastas</i> Analiza koncepcije rešenja artiljerijskih oruđa familije „NORA“	208–247
Jovičić S. <i>Stevan</i> , Mićović M. <i>Aleksandar</i> Primena integrisanih sistema za ocenu stanja složenih struktura	248–260
Borisov A. <i>Mirko</i> , Banković D. <i>Radoje</i> Virtuelni atlas sveta	261–271
Radojčić M. <i>Stevan</i> Redukcija geodetskih merenja na referentni elipsoid	272–281
Stopić R. <i>Srećko</i> Šesta Evropska konferencija o metalurgiji EMC2011 (prikaz zbornika radova)	282–293
Pokorni J. <i>Slavko</i> 10. međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH – jahorina 2011 (prikaz zbornika radova)	294–300
SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA	301–322
POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA	323–333

CONTENTS

SCIENTIFIC PAPERS

Pokorni J. <i>Slavko</i> , Ostojić Đ. <i>Dušan</i> , Brkić M. <i>Dragoljub</i> Communication network reliability and availability estimation by the simulation method	7–14
Evseev <i>Sergey</i> Petrovich, Dorokhov <i>Oleksandr</i> Vasilievich, Korol <i>Oľga</i> Grigorievna Mechanisms of protection of information in computer networks and systems	15–39
Pamučar S. <i>Dragan</i> FUZZY-DEA model for measuring the efficiency of the transport quality	40–61
Vladislavljević T. <i>Goran</i> Emulsification using microporous membranes	62–78
Prodanović M. <i>Radivoje</i> , Gavrović-Jankulović Đ. <i>Marija</i> , Kovačević N. <i>Gordana</i> Blažić B. <i>Marija</i> , Prodanović L. <i>Olivera</i> , Ostafe V. <i>Raluca</i> Nanobiocatalysts for biofuel cells and biosensor systems	79–92
Ilić M. <i>Slaviša</i> , Andrejić D. <i>Marko</i> Analysis of effectiveness of possible queuing models at gas stations using the large-scale queuing theory	93–115
Đurković V. <i>Sonja</i> Developing a technological procedure for installing and equipping airborne instruments ...	116–133
Perić R. <i>Srećen</i> Results of experimental research tribological characteristics oil from engines and power transmitters of vehicles	134–157
Hristov P. <i>Nebojša</i> , Savić R. <i>Slobodan</i> Modeling two-phase flow in barrels of weapons with combined charges	158–173

PROFESSIONAL PAPERS

Viličić M. <i>Aleksandar</i> , Jezdimirović B. <i>Mirko</i> Simulation of added inductive coil influence onto the digital servo system with DC motor	174–193
Sokolović S. <i>Vlada</i> , Pavlović R. <i>Slaviša</i> , Janković D. <i>Darko</i> Analysis of aircraft maintenance models	194–207
Paligorić L. <i>Anastas</i> Analysis of the design concept of "NORA" family artillery weapons	208–247
Jovičić S. <i>Stevan</i> , Mićović M. <i>Aleksandar</i> Embedded NDE with piezoelectric wafer-active sensors	248–260
Bořisov A. <i>Mirko</i> , Banković D. <i>Radoje</i> World virtual globes	261–271
Radojčić M. <i>Stevan</i> Reduction of geodetic observations to the reference ellipsoid	272–281
Stopić R. <i>Srećko</i> The 6 th European metallurgical conference EMC2011 (proceedings review)	282–293
Pokorni J. <i>Slavko</i> International scientific-professional symposium INFOTEH-jahorina 2011 (proceedings review)	294–300
MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT	301–322
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	323–333

COMMUNICATION NETWORK RELIABILITY AND AVAILABILITY ESTIMATION BY THE SIMULATION METHOD

Pokorni J. *Slavko*, Information Technology School, Belgrade,
Ostojić Đ. *Dušan*, Brkić M. *Dragoljub*, Armed Forces of Serbia,
Technical Testing Center, Belgrade

FIELD: Telecommunications

Summary:

The paper gives an estimation of two-terminal availability for a complex communication network (up to 50 nodes and 150 links) by a software package developed by the authors and based on the Monte Carlo simulation method and Weibull distribution. Reliability can be estimated as well. The software package is written in VISUAL BASIC 6.0 programming language on an MSI laptop with the Windows XP Professional operating system. The program execution time with over 500000 iterations is a few seconds (without graphical display). The Weibull distribution function, used for availability estimation, can be applied for electronic, electromechanical and mechanical components as well as with different failure rates.

Key words: Monte Carlo method, reliability, availability, simulation, communication network.

Introduction

Communication networks are an essential part of current information and communication technology in civilian and military applications. In most applications, it is of great importance for connections between the communicating parties to remain without failure. Therefore, the reliability and availability of these networks are of great importance.

We have modeled a real network composed of communication centres (nodes) and links between them. We assume that a network fails if a communication center fails and/or a communication link fails in such a way that there is no communication between two nodes.

This paper gives an overview of the results of the application of the developed software package for reliability and two-terminal availability (availability between any two nodes) calculation [1] of a complex communication network, based on the Monte Carlo simulation method.

Papers [2] and [3] discuss the verification of the accuracy of the results of the software simulation package for the availability calculation and for obtaining a compulsory level of availability, using relatively simple examples of communication networks with elements connected in a ring, for which determining the analytical formulation is possible. The influence of the changing duration of the active node repair has also been presented for specific examples. The results obtained by the software package and the analytical method for the same examples showed a high level of agreement. The results of the former research have thus been confirmed and recommended for further research on development of a mathematical-physical model and an adequate software package that supports the applied model for determining the availability of a complex communication network.

The results of applying this developed software package in calculating the availability of a complex communication network [4, 5], based on failure data and repair rates of hardware elements (nodes and links) of the network are presented in this paper.

Today communication networks involve software, but software failures and external interferences have not been included in the analyses.

Why the simulation method

There are a number of methods for reliability and calculation, but few of them can be applied if the network is complex, especially if network components are repairable, which is usually the case. They are based on counting the states in which a system is operational, and adding subsequently the probabilities for a given system to be in these states. The number of operational states can be high. For example, in the case of a 10-component network (nodes and links) where every component can be in two states (operational one and failure), the network can be in 1024 states. If each component can be in three states (operational and failure), the network can be in 59049 states. Considering the great number of nodes and links which create an extremely high number of system states, it is difficult, almost impossible, to determine the analytical solution for the reliability and availability of such complex communication networks. To determine availability of repairable systems, Markov models are usually used, which requires solving differential equations [6, 7]. This is the reason why the method of simulation can be a solution for this problem.

In practice, reliability of system parts (nodes, and links in the case of a communication system) can only be estimated (through experiments or historical statistics) and hence not exact. The so-called exact network reliability calculated by exact methods is, therefore, estimates at its best. This is the reason why the word *estimation* is used, and, therefore, the simulation methods which in reality result in estimations are justified and desirable.

One general simulation method which can be applied in different areas is the Monte Carlo simulation method, chosen here to solve the problem of estimation of reliability and availability of complex communication networks.

The software package for reliability and availability estimation is developed by the authors from the Technical and Test Center. Before the application of the package to complex communication networks, it was checked on more simple networks and it proved to give the results very close to the results obtained by exact equations [2, 3].

Definitions of reliability and availability

Reliability is expressed as a probability of success over a given duration of time, cycles, etc. For example, the reliability of a communication network might be stated as 95% probability of no failure over a 1000-hour operating period while giving a certain level of service. Reliability is concerned with the probability and frequency of failures. A commonly used measure of reliability for repairable systems is the mean time between failures (MTBF). The equivalent measure for non-repairable items is mean time to failure (MTTF). Usually, it is assumed that for elements of the system exponential distribution of failures can be applied, but it is applicable only for some electronic systems, and not for all electronic systems.

Availability is defined as the percentage of time when a system is available to perform its required function(s). It is measured in a variety of ways, but it is principally a function of downtime (time when the system is not operational). Availability can be used to describe a component or a system but it is most useful when describing the nature of a system of components working together. Availability is most often written as a decimal, as in 0.99999, as a percentage, as in 99.999%, or equivalently spoken, "five nines", which is very often stated availability for communication networks.

The Example of a Communication Network

A communication network, Fig. 1, that consists of eight nodes has been taken as an example. There are parallel connections between nodes 1-2 and 7-8 (redundant links), but the most of the nodes are connected by one link. The function of availability $A(t)$ [4] is defined as probability of the system

being available to perform the given function at the time t, which implies the possibility of a quick repair or, in other words, a strong logistic support (available tools, equipment, spare parts and trained staff).

The availability that refers to repairable systems, for a network element, is given by:

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (1)$$

where:

λ – failure rate of the network element,

μ – repair rate ($\mu = \frac{1}{MTTR}$).

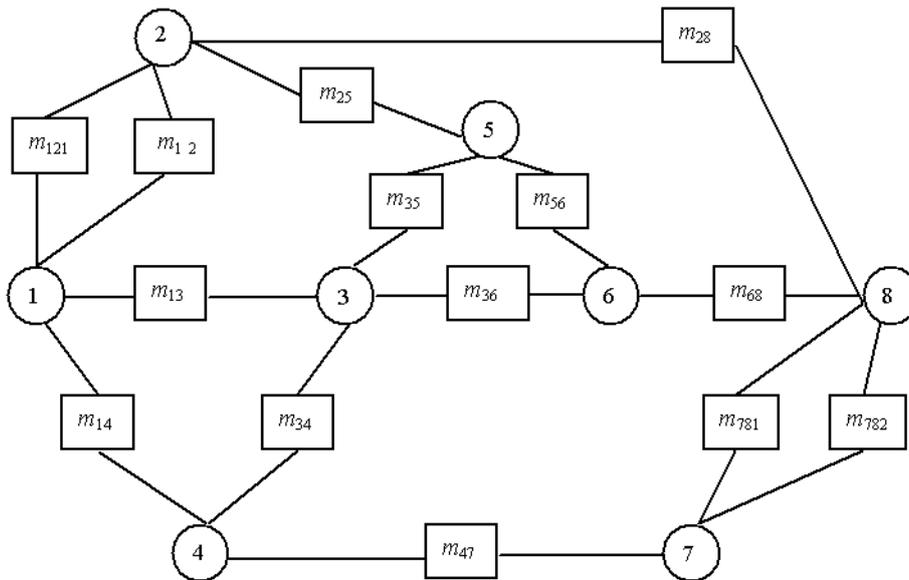


Figure 1 – Communication network

The Input Data

The basic data for the calculation of the availability of a complex communication network are reliability and maintainability data. Reliability data is the mean time between failures (MTBF) for the nodes and links.

$MTBF = \frac{1}{\lambda}$ if exponential distribution of the time to failure can be applied.

In the example, *Fig. 1*, the assumed network consists of electronic elements for which exponential distribution is adequate.

The mean time between failures of the elements has been used as input data because equipment manufacturers are obliged to provide them on demand. These data can be obtained in other ways; such as using standardized reliability handbooks, e.g. the military handbook *MIL – HDBK - 217 F*.

The mean time between failures (MTBF) of the nodes for the network in *Fig. 1* are presented in *Table 1*, and the mean time between failures of the links is presented in *Table 2*.

A software package for the application of the Monte Carlo method, and the basics of its performance are presented in [2] and [3].

The failure rate for the electronic elements is assumed to be constant with time. This implies an exponential distribution which is a special case of Weibull distributions (when the form parameter equals 1). The mechanical and electromechanical elements have increasing functions of intensity of failures during exploitation. Their times between failures have the Weibull distribution with the parameter form > 1 . In the example in *Fig. 1*, since it represents a network made of electronic elements, the form parameter equals 1.

The rest of the input data are:

1. the mean time to repair (MTTR) of the nodes is 5 hours,
2. the mean time to repair (MTTR) for the links is 3 hours,
3. the reviewed time of the working network in which the wanted availability is $T_0 = 100$ hours,
4. the number of iterations $N = 103$.

For determining the two-terminal availability between the nodes 1-8, *Fig. 1*, the starting node 1 and the ending node 8 are defined by software. It is possible to define, show graphically, and calculate all the possible combinations of the two-terminal availability between any two nodes of the communication network in the same way.

Table 1

Values m_i for i th node of the network

i	Mean time between failures for the nodes, in hours
1	3011
2	2958
3	3147
4	3084
5	3204
6	2890
7	2905
8	3137

Table 2

Values m_{ij} for the link between the i-th and the j-th node of the network

i	j	Mean time between failures for the links, in hours
1	2	2983 (2983)
1	3	4018
1	4	3798
2	5	4205
2	8	3815
3	4	4327
3	5	4029
3	6	3512
4	7	3745
5	6	4623
6	8	3948
7	8	2731 (2731)

The Results of the Availability Calculation

After performing, in our case, N=103 tests of application of the Monte Carlo simulation method by the software package, for the network in Fig. 1, the results of the estimated spot and interval availability of the communication network have been reached and shown in Fig. 2.

For the assumed input data, in this example, the two-terminal availability between the nodes 1-8 of the communication network in Fig. 1, is:

$$A_{1-8} = \frac{M}{N} = 0,9708, \text{ or } A_{1-8} = 97 \%$$

Considering the adopted assumptions, the value of availability, which is obtained in the process of simulation, represents the probability that the configuration of the hardware, representing the paths between nodes 1 and 8, will be available at any given time. Considering the fact that the availability is valid for specific working and environmental conditions, it is here implied that the valid conditions are the ones for which the input data are given.

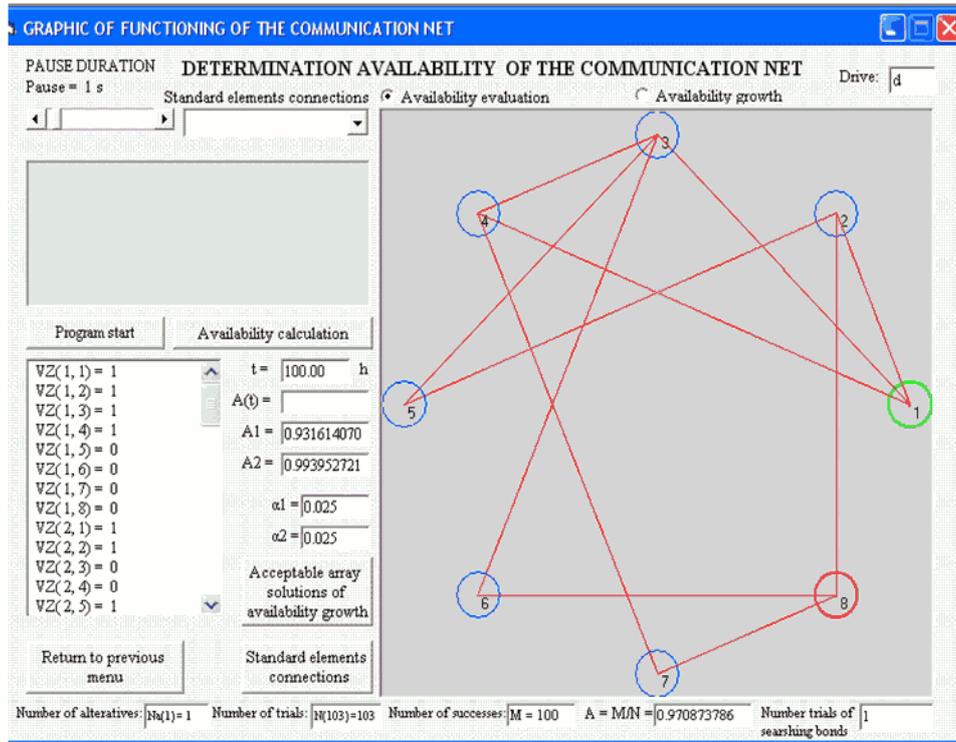


Figure 2 – Availability results of the network between the nodes 1-8

Conclusion

The developed software package provides a simple way for the evaluation (estimation) of reliability and the two-terminal availability between any two nodes of a complex communication network, for which it is difficult, almost impossible, to determine the analytical relation of reliability and availability. Since the simulation model in the software package is based on the Weibull distribution, this simulation method is widely applicable, because it enables the use of this software for calculation (estimation) of the availability of a complex communication network made of electronic components (as communication nodes), and electromechanical or mechanical components (as communication links). By this software, it is possible to define, show graphically, and estimate reliability, to allocate reliability, and to estimate all the possible combinations of the two-terminal availability between any two nodes of a communication network (up to 50 nodes and 150 links).

References

- [1] Ping, H. K., *Network Reliability Estimation*, PhD thesis, The University of Adelaide, 2005.
- [2] Ostojić, D., Brkić, D., Pokorni, S., *Calculation of availability of telecommunication system by using Monte Carlo method* (in Serbian), 9.th International Conference Dependability Quality Management DQM-2006, Belgrade, 2006.
- [3] Ostojić, D., Brkić, D., Pokorni, S., *Acquirement of the required reliability of a telecommunication network by simulation method* (in Serbian), 15th Telecommunications Forum TELFOR 2007, Belgrade, 2007.
- [4] Ostojić, D., *Communication network reliability determination by simulation method and optimal path selection* (in Serbian), PhD thesis, Military Academy, Belgrade, 2010.
- [5] Ostojić, D., Brkić, D., Pokorni, S., *Availability estimation of a complex communication network by simulation method*, International Conference Life Cycle Engineering and Management, ICDQM - 2010, pp 218-223, Belgrade, Serbia, 29-30 June 2010.
- [6] Pokorni, S., Ramović R., *Reliability and availability of telecommunication system of four ring connected stations*, Communications in Dependability and Quality Management, An International Journal, Vol. 6, No. 1, pp 6-17, 2003.
- [7] Ostojić, D., Brkić, D., *Calculation of reliability and availability of telecommunication system by using Monte Carlo method* (in Serbian), Military Technical Courier (Vojnotehnički glasnik), Vol. 54, No. 3, pp 335-341, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade, 2006.

PROCENA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI KOMUNIKACIONE MREŽE METODOM SIMULACIJE

OBLAST: telekomunikacije

Sažetak:

U ovom radu dat je postupak procene dvoterminalne raspoloživosti složene komunikacione mreže računarskom simulacijom na osnovu Monte Carlo metode i Vejbulove raspodele pomoću softverskog paketa, koji su razvili autori za mreže do 50 čvorova i 150 linkova. Moguća je i procena pouzdanosti. Softver je napisan u programskom jeziku VISUAL BASIC 6.0, a simulacija sprovedena na laptop MSI računaru pod operativnim sistemom Windows XP Professional. Vreme simulacije za 500.000 iteracija je nekoliko sekundi (ne računajući vreme za grafički prikaz). Vejbulova raspodela za procenu pouzdanosti je pogodna jer je primenjiva i za elektonske i mehaničke komponente, uz različite intenzitete otkaza.

Ključne reči: Monte Carlo metod, pouzdanost, raspoloživost, simulacija, komunikaciona mreža.

Datum prijema članka: 13. 04. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 02. 06. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 04. 06. 2011.

МЕХАНИЗМЫ И ПРОТОКОЛЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ И СИСТЕМАХ

Евсеев *Сергей* Петрович,
Дорохов *Александр* Васильевич,
Король *Ольга* Григорьевна,
Харьковский национальный экономический
университет, кафедра информационных систем,
Харьков, Украина

ОБЛАСТ: Компьютерные науки, Криптография

Краткое содержание:

Исследуются протоколы защиты информации в компьютерных сетях и системах. Классифицируются основные типы угроз нарушения защиты, возникающие при использовании компьютерных сетей. Рассматриваются основные механизмы, услуги и варианты реализации криптосистем для обеспечения аутентификации, целостности и конфиденциальности передаваемой информации. Описываются их преимущества и недостатки. Определяются и анализируются перспективные направления развития криптографических преобразований для обеспечения защиты информации в компьютерных сетях и системах.

Ключевые слова: защита информации, криптографические преобразования, конфиденциальность, аутентификация, целостность данных, алгоритмы шифрования.

Введение

Создание современных военных компьютерных систем, появление глобальных информационно-телекоммуникационных сетей радикально изменило характер и диапазон проблем защиты информации. Методы защиты информации динамически развиваются, усложняются и постепенно оформляются в отдельную отрасль информационно-коммуникационных технологий [1-5].

Для защиты информации с ограниченным доступом применяются различные криптографические средства [3-6]. Целью статьи является исследование протоколов и механизмов защиты информации в ком-

пьютерных системах и сетях, анализ перспективных направлений развития криптографических преобразований для обеспечения конфиденциальности, аутентификации и целостности информации.

Проблемы и механизмы защиты компьютерных сетей от угроз и последствий несанкционированного доступа

Вопросы защиты компьютерных систем и коммуникационных сетей от несанкционированного доступа в последнее время приобрели особую остроту. Развитие компьютерных технологий позволяет строить сети распределенной архитектуры, объединяющие большое количество сегментов, расположенных на значительном удалении друг от друга. Все это вызывает увеличение числа узлов сетей и количества различных линий связи между ними, что, в свою очередь, повышает риск несанкционированного подключения к сети и доступа к важной информации.

Особенно неблагоприятной такая перспектива может оказаться для государственных или военных структур, обладающих секретной информацией государственного или любого другого характера.

Необходимы специальные средства идентификации пользователей в сети, обеспечивающие доступ к информации лишь в случае полной уверенности в наличии у пользователя прав доступа к ней. В табл. 1 приведены основные типы угроз нарушения защиты, возникающие при использовании компьютерных сетей (КС).

Анализ табл. 1 показывает, что атакам подвержены все уровни эталонной модели ВОС. В целях защиты информации в различных комбинациях используются контроль доступа, авторизация и шифрование информации, дополненные резервированием.

Распределение услуг и механизмы безопасности по уровням эталонной модели взаимодействия открытых систем (ВОС) представлены в табл. 2 [1, 2, 6].

Рассмотрим основные механизмы и услуги, обеспечивающие аутентификацию, целостность и конфиденциальность передаваемой информации в компьютерных системах и сетях.

Гарантией того, что сообщение действительно поступило из предполагаемого источника, а также защиту от модификаций, задержек, повторного воспроизведения, изменения порядка следования сообщений [4, 5] является аутентификация. Для ее обеспечения используются алгоритмы шифрования, цифровая подпись, коды аутентичности сообщения (MAC) и функции хэширования. Рассмотрим механизмы и протоколы, обеспечивающие аутентификацию сообщений, подробнее.

Характеристики угроз нарушения защиты данных
Characteristics of threats of infringement of data protection

Таблица 1

Table 1

Показатели	Угрозы	Последствия
Аутентификация	Попытки нарушителя выдать себя за легального пользователя. Фальсификация данных.	Неправильное представление пользователей. Доверие к ложным данным.
Целостность	Изменение пользовательских данных. Внедрение "троянских коней". Изменение информации в памяти. Изменение потока сообщений на пути передачи	Потеря информации Компрометация системы. Уязвимость от угроз нарушений защиты остальных типов
Конфиденциальность	Перехват данных в сети. Кража информации, хранящейся на сервере. Кража информации хранящейся на компьютере Получение информации о конфигурации сети. Получение информации о пользователе, обращающемся к серверу.	Потеря информации. Нарушение тайны информации
Отказ в обслуживании	Прекращение сеанса доступа пользователя. Перегрузка потоком фальшивых попыток доступа. Умышленное переполнение дискового пространства или оперативной памяти. Изоляция системы путем атак на DNS-сервер.	Разрушительные последствия для системы. Раздражение пользователей. Задержки в работе пользователей.

Распределение услуг и механизмы безопасности по уровням эталонной модели

Таблица 2

Table 2

Distribution of services and mechanisms of safety on levels of etalon model

№	Услуги	Механизмы
1	Аутентификация объекта (шифрование, цифровая подпись)	Физический № 4
2	Аутентификация источника данных (шифр., цифр. подпись)	
3	Управление доступом	
4	Конфиденциальность соединения (шифр., управление маршрутизацией)	Канальный №№ 4, 5
5	Конфиденциальность без установления соединения (шифр.)	
6	Конфиденциальность выделенного поля данных (шифр.)	Сеансовый
7	Конфиденциальность трафика (шифр., заполнение трафика, управление маршрутизацией)	
8	Целостность соединения с восстановлением (шифр., целостность данных)	
9	Целостность соединения без восстановления (шифр., целостность данных)	Представительский №№ 1 - 13
10	Целостность выделенного поля в режиме с установлением соединения или без (шифр., целостность данных)	
11	Целостность блока данных без соединения, их шифрование	
12	Участие в посылке сообщений, шифрование, целостность данных, нотариация	Сетевой №№ 2, 3, 4, 11
13	Подтверждение получения сообщений, нотариация	
		Транспортный №№ 1, 3, 4, 5, 8, 9, 11

При использовании алгоритмов симметричного шифрования обеспечивается конфиденциальность и определенный уровень аутентификации. Алгоритмы несимметричного шифрования обеспечивают и конфиденциальность, и аутентификацию передаваемых сообщений.

На рис. 1-3 представлены три варианта защиты сообщений с использованием несимметричного шифрования. Первый вариант, передача сообщений с открытым ключом абонента В (KU_B), представлен на рис. 1. При этом обеспечивается конфиденциальность сообщения (только абонент В имеет закрытый ключ KR_B), однако недостатком схемы является невозможность обеспечить аутентификацию (любой абонент может воспользоваться открытым ключом KU_B , чтобы объявить себя абонентом А).

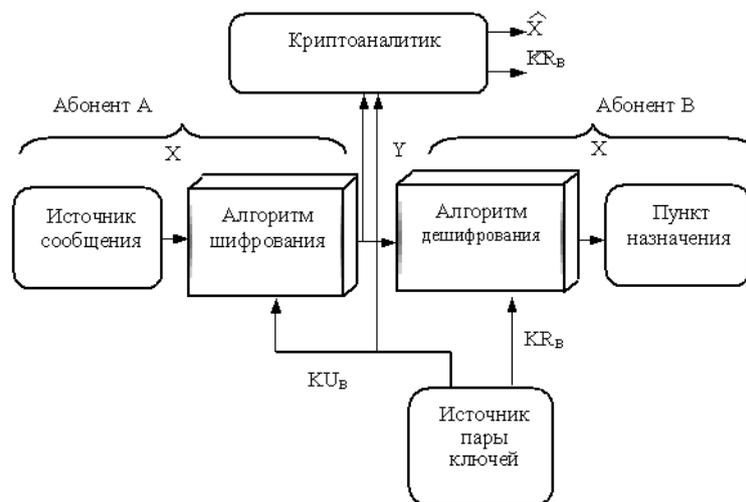


Рисунок 1 – криптосистема с открытым ключом: конфиденциальность
Figure 1 – cryptosystem with the open key: confidentiality

Второй вариант – использование абонентом А при отправке сообщения своего секретного ключа (KR_A) – представлен на рис. 2.

При этом обеспечивается аутентификация и цифровая подпись (только сторона А имеет секретный ключ KR_A). Недостатком схемы является возможность любого пользователя использовать открытый ключ KU_A , чтобы проверить подпись.

Третий вариант – использование абонентами своих ключей для обмена сообщениями – представлен на рис. 3.

При этом обеспечивается конфиденциальность, цифровая подпись (поскольку используется открытый ключ KU_B) и аутентификация (поскольку используется закрытый ключ KR_A).

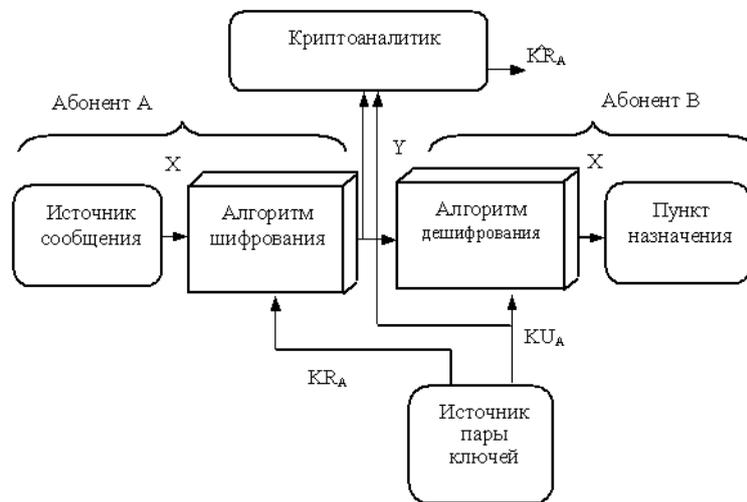


Рисунок 2 – криптосистема с открытым ключом: аутентификация
 Figure 2 – cryptosystem with the open key: authentication

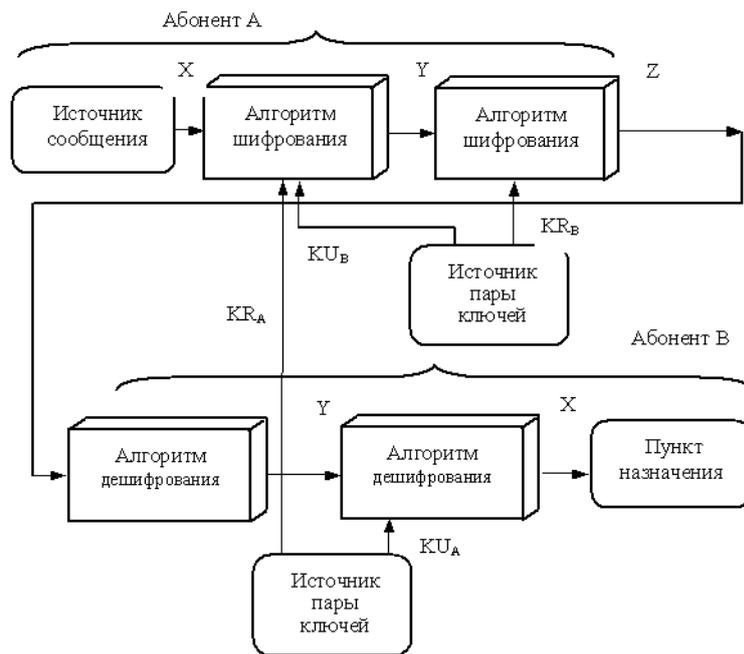


Рисунок 3 – криптосистема с открытым ключом:
 конфиденциальность и аутентификация
 Figure 3 – cryptosystem with the open key: confidentiality and authentication

Общими недостатками при использовании симметричного шифрования и шифрования с открытым ключом являются невозможность изменения пути следования пакетов данных, и открытый доступ ко всей порции данных при ее обработке в промежуточных блоках (маршрутизаторах, шлюзах и т.д.).

Альтернативным вариантом шифрованию является присоединение к сообщению созданного с использованием секретного ключа небольшого блока данных фиксированного размера, называемого криптографической контрольной суммой, или кодом аутентичности сообщения MAC (Message Authentication Code).

При этом обеспечивается аутентификация, но не конфиденциальность, поскольку сообщение передается в открытом виде. Конфиденциальность передаваемого сообщения может быть обеспечена либо после, либо перед применением алгоритма MAC. Для некоторых приложений не требуется сохранять секретность, но важно проверить аутентичность сообщений.

Примером может служить протокол SNMP версии 3, где функции конфиденциальности и аутентификации разделяются. В нем гарантируется аутентификация поступающих SNMP-сообщений, в то же время необходимость скрывать поток обмена данными SNMP может не требоваться.

Вариацией идеи использования кодов аутентичности сообщений является односторонняя функция хэширования, обеспечивающая аутентификацию, цифровую подпись и конфиденциальность. Далее рассмотрим способы защиты сообщений при использовании хэш-кода, представленные на рис. 4-9.

Так, на рис. 4 сообщение вместе с присоединенным к нему путем конкатенации хэш-кодом шифруется методами симметричного шифрования. При этом обеспечиваются конфиденциальность (только стороны А и В знают симметричный ключ (K)) и аутентификация (хэш-код H(M) криптографически защищен).

В случае рис. 5 шифруется только хэш-код средствами симметричного шифрования. При этом хэширование и симметричное шифрование в комбинации фактически дают код аутентичности и обеспечивают аутентичность передаваемого сообщения (H(M) криптографически защищен).

На рис. 6 шифруется только хэш-код средствами шифрования с открытым ключом с использованием личного ключа отправителя. При этом обеспечивается не только аутентификация, но и цифровая подпись, т.к. только отправитель может произвести зашифрованный хэш-код (H(M) криптографически защищен (только сторона А может создать свой секретный ключ (K_{R_A}))). Фактически в этом и заключается суть техники использования цифровой подписи.

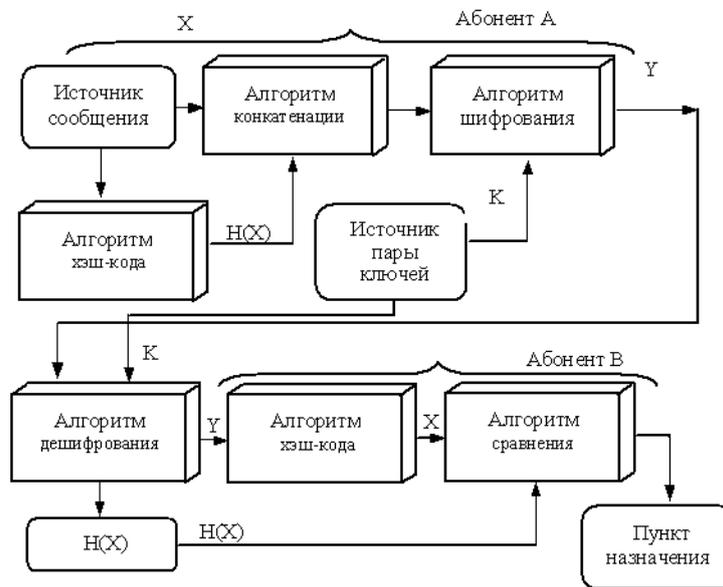


Рисунок 4 – схема использования хэш-кода: конфиденциальность и аутентификация
 Figure 4 – scheme of hash-code usage: confidentiality and authentication

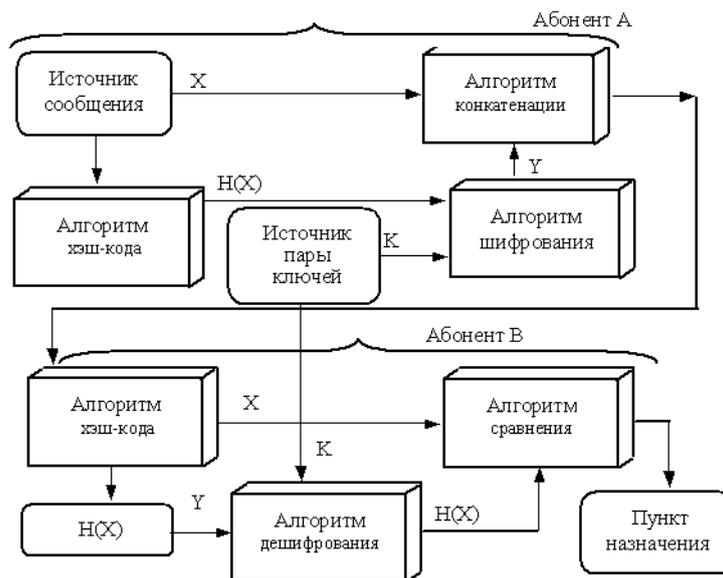


Рисунок 5 – схема использования хэш-кода: аутентификация
 Figure 5 – scheme of hash-code usage: authentication

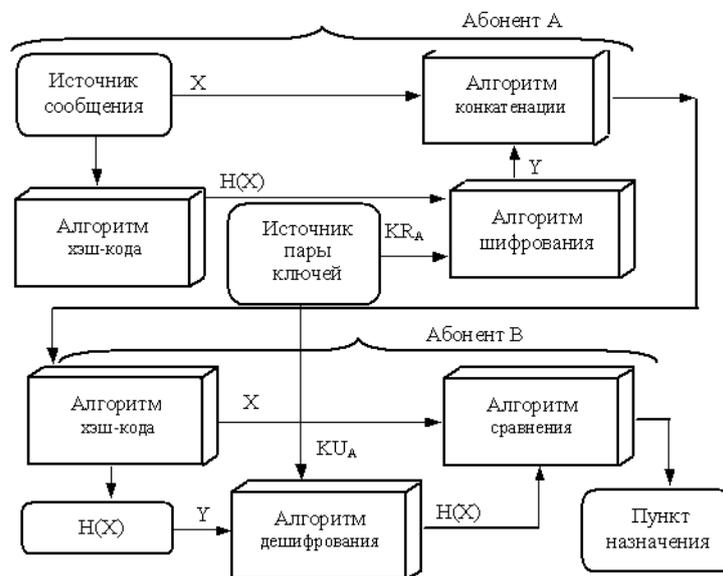


Рисунок 6 – схема использования хэш-кода: аутентификация и цифровая подпись
 Figure 6 – scheme of hash-code usage: authentication and digital signature

Если требуется обеспечение не только конфиденциальности, но и цифровой подписи, можно зашифровать сообщение вместе с хэш-кодом, шифрованным открытым ключом. При этом обеспечивается аутентификация, цифровая подпись и конфиденциальность, то есть только стороны А и В знают K (рис. 7).

В целях аутентификации сообщений можно использовать функцию хэширования без шифрования (рис. 8). В этом случае предполагается, что обе стороны используют известное им секретное значение S . Отправитель А вычисляет значение функции хэширования для результата конкатенации сообщения (X) и S , и присоединяет полученное значение функции хэширования к X . Получателю В значение S известно, поэтому он может вычислить значение функции хэширования. При этом обеспечивается аутентификация (только А и В знают S).

Конфиденциальность может быть обеспечена при некоторой модификации подхода описанного выше, если зашифровать сообщение вместе с добавленным к нему хэш-кодом (рис. 9).

Способность функции хэширования позволяет противостоять атакам с перебором всех вариантов, т.к. зависит исключительно от длины хэш-кода.

Одними из перспективных алгоритмов хэш-функций являются SHA-1 и RIPEMD-160. Основные их характеристики представлены в табл. 3 в сравнении алгоритмом хэш-функции MD-5.

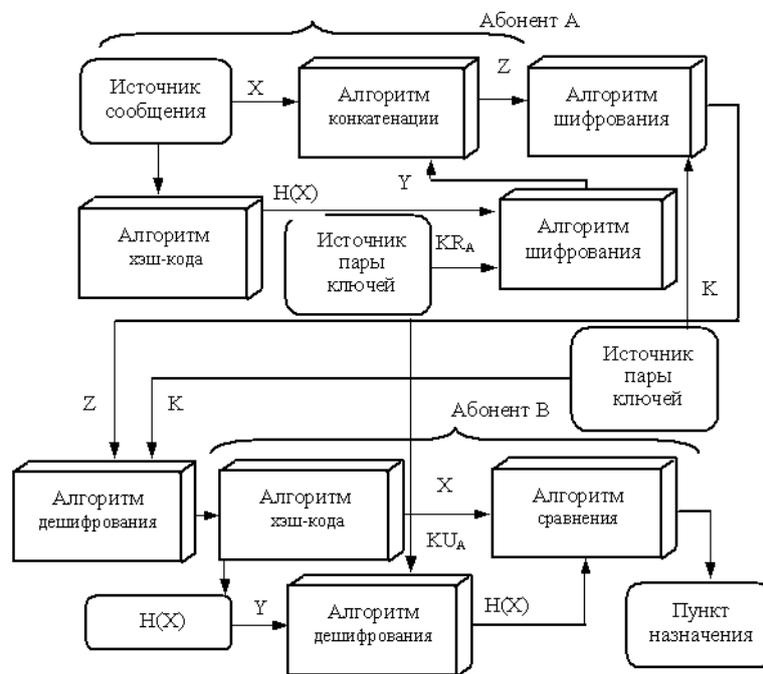


Рисунок 7 – схема использования хэш-кода: конфиденциальность, аутентификация и цифровая подпись
 Figure 7 – scheme of hash-code usage: confidentiality, authentication, digital signature

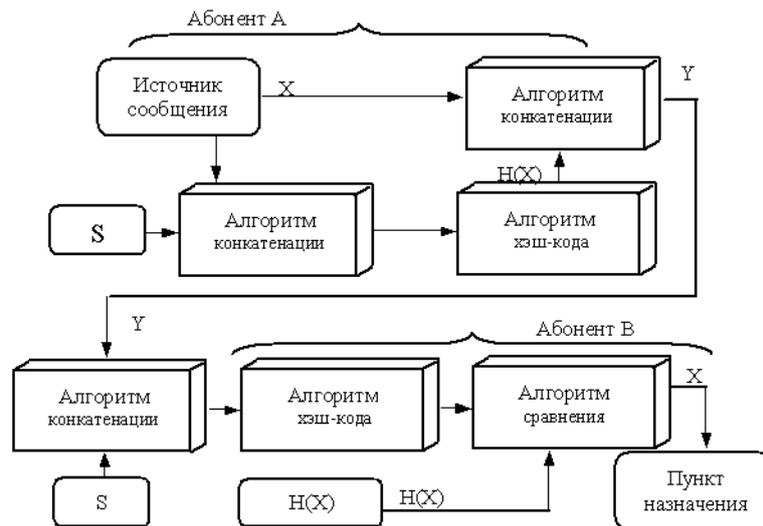


Рисунок 8 – схема использования хэш-кода: конфиденциальность
 Figure 8 – scheme of hash-code usage: confidentiality

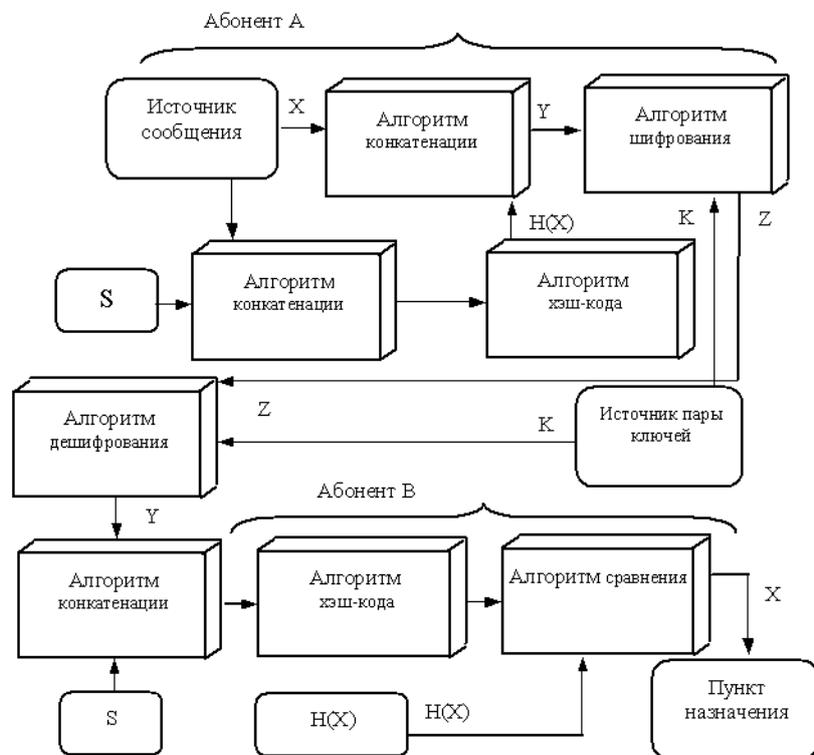


Рисунок 9 – схема использования хэш-кода: аутентификация
 Figure 9 – scheme of hash-code usage: authentication

Таблица 3

Основные характеристики алгоритмов хэш-функций

Table 3

The basic characteristics of algorithms of hash-functions

Параметры	MD-5	SHA-1	RIPEMD-160
Длина профиля	128 битов	160 битов	160 битов
Базовая длина блоков	512битов	512битов	512битов
Число шагов/раундов	64 /4	80/4	160/5
Мак. длина сообщения	∞	$2^{64} - 1$ битов	$2^{64} - 1$ битов
Число прим. логических функций	4	4	5
Число аддитивных констант	64	4	9
Порядок следования битов	Прямой	Обратный	Прямой

Все три алгоритма неуязвимы в отношении атак, основанных на нарушении слабой сопротивляемости коллизиям. При 128-битовой длине алгоритм MD-5 подвержен криптоанализу, а дополнительная сложность SHA-1 и RIPEMD-160 приводит к замедлению обработки

алгоритмов. Дальнейшим применением MD-5 является алгоритм HMAC. Он обеспечивает гарантированную защищенность при условии, что встроенная функция хэширования обладает определенной криптографической стойкостью.

Для обеспечения только функции цифровой подписи используется стандарт DSS (Digital Signature Standards – стандарт цифровой подписи), основанный на алгоритме хэширования SHA. Подход DSS основан на функции хэширования. Алгоритм цифровой подписи DSA (Digital Signature Algorithm) создан на основе схемы Эль-Гамала и Шнорра. Существенным его недостатком является сложность вычисления при возведении в степень $g^x \bmod p$.

Для обеспечения аутентификации на каждом сервере используется система Kerberos, в которой применяется исключительно симметричное шифрование. Она обеспечивает идентификацию пользователей при каждом вызове соответствующего сервера и идентификацию серверов для пользователей. В системе Kerberos используются простейшие протоколы удаленного доступа PAP (Password Authentication Protocol) и CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol).

Недостатком применения PAP является возможность перехвата нарушителем сведений о пароле. Поэтому протокол PAP используется совместно с протоколом S/Key, основанном на модели одноразовых паролей, получаемых последовательным применением необратимой функции. Протокол CHAP, основан на модели “рукопожатия” – передача клиентом пароля в хешированном виде с использованием полученного от сервера случайного числа. В качестве случайного числа выбирается значение текущих даты и времени в секундах, к которому присоединяется случайное число, полученное от генератора псевдослучайных чисел.

К достоинствам протокола Kerberos относятся:

- быстрое подключение клиента к серверу;
- возможность делегирования клиентом своих полномочий серверу для выполнения запроса;
- упрощение администрирования распределенной КС.

Основными недостатками протокола являются:

– отсутствие выделенного канала связи между объектами распределенной КС (наличие широкополосной среды передачи данных, например среды Ethernet), что позволяет нарушителю анализировать сетевой трафик в подобных системах;

– возможность взаимодействия объектов распределенной КС без установления виртуального канала между ними, что не позволяет надежно идентифицировать объект или субъект распределенной КС и организовать защиту передаваемой информации;

- использование недостаточно надежных протоколов идентификации объектов распределенной КС перед установлением виртуального канала между ними, что позволяет нарушителю при перехвате передаваемых сообщений выдать себя за одну из сторон соединения;
- отсутствие контроля создания и использования виртуальных каналов между объектами распределенной КС, что позволяет нарушителю добиться реализации угрозы отказа в обслуживании в КС (любой объект распределенной КС может анонимно послать любое число сообщений от имени других объектов КС);
- отсутствие возможности контроля маршрута получаемых сообщений, что не позволяет подтвердить адрес отправителя данных и определить инициатора удаленной атаки на КС;
- отсутствие полной информации об объектах КС, с которыми требуется создать соединение, что приводит к необходимости отправки широковещательного запроса или подключения к поисковому серверу (нарушитель при этом имеет возможность внедрения ложного объекта в распределенную КС и выдать один из ее объектов за другой);
- отсутствие шифрования передаваемых сообщений, что позволяет нарушителю получить несанкционированный доступ к информации в распределенной компьютерной сети [5].

Программные и аппаратные средства обеспечения аутентичности распределенных компьютерных сетей

Среди указанных средств следует выделить межсетевые экраны (МСЭ), средства анализа защищенности и обнаружения атак.

Межсетевые экраны (брандмауэры, firewall) реализуют набор правил, которые определяют условия прохождения пакетов данных из одной части распределенной КС (открытой) в другую (защищенную). В зависимости от уровня взаимодействия объектов сети основными разновидностями МСЭ являются фильтрующие маршрутизаторы, шлюзы сеансового и прикладного уровней.

Основной функцией фильтрующих маршрутизаторов, работающих на сетевом уровне эталонной модели, является фильтрация пакетов данных, входящих в защищенную часть сети или исходящих из нее. Правила фильтрации определяют, разрешается или блокируется прохождение через МСЭ пакета с задаваемыми этими правилами параметрами. К их основным достоинствам относятся простота создания, установки, конфигурирования; прозрачность для приложений пользователей, минимальное влияние на производительность; невысокая стоимость.

Недостатками же фильтрующих маршрутизаторов являются:

- отсутствие аутентификации на уровне пользователей КС;
- уязвимость для подмены IP-адреса в заголовке пакета;
- незащищенность от угроз нарушения конфиденциальности и целостности передаваемой информации;
- сильная зависимость эффективности набора правил фильтрации от уровня знаний администратора МСЭ конкретных протоколов;
- открытость IP-адресов компьютеров защищенной части сети.

Шлюзы сеансового уровня предназначены для контроля виртуального соединения между рабочей станцией защищенной части сети и хостом ее незащищенной части, и трансляции IP-адресов компьютеров защищенной части сети. При выполнении шлюзом сеансового уровня процедуры трансляции IP-адресов происходит их преобразование в один IP-адрес, ассоциированный с МСЭ. Это исключает прямое взаимодействие между хостами защищенной и открытой сетей и не позволяет нарушителю осуществлять атаку путем подмены IP-адресов.

К достоинствам шлюзов сеансового уровня относятся их простота и надежность программной реализации. Недостатком является отсутствие возможности проверять содержимое передаваемой информации. Это позволяет нарушителю пытаться передать пакеты с вредоносным программным кодом и обратиться затем напрямую к одному из серверов атакуемой КС.

Шлюзы прикладного уровня не только исключают прямое взаимодействие между уполномоченным пользователем из защищенной части сети и хостом из ее открытой части, но и фильтруют входящие и исходящие пакеты данных на прикладном уровне (на основе анализа содержания передаваемых данных).

Основные функции шлюзов прикладного уровня:

- идентификация и аутентификация пользователя КС при попытке установить соединение;
- проверка целостности передаваемых данных;
- разграничение доступа к ресурсам защищенной и открытой частей распределенной КС;
- фильтрация и преобразование передаваемых сообщений (обнаружение вредоносного программного кода, шифрование и расширение и т. п.);
- регистрация событий в специальном журнале;
- кэширование запрашиваемых извне данных, размещенных на компьютерах внутренней сети (повышает производительности КС).

Достоинствами шлюзов прикладного уровня являются:

- скрытость структуры защищенной части сети для остальных хостов;
- надежная аутентификация и регистрация проходящих сообщений;

– более простые правила фильтрации пакетов на сетевом уровне, в соответствии с которыми маршрутизатор должен пропускать только трафик, предназначенный для шлюза прикладного уровня, и блокировать весь остальной трафик;

– возможность реализации дополнительных проверок.

Основными недостатками шлюзов прикладного уровня являются более высокая стоимость, сложность разработки, установки и конфигурирования, снижение производительности КС, “непрозрачность” для приложений пользователей КС.

Межсетевые экраны являются основой для создания виртуальных сетей (Virtual Private Network, VPN), предназначенных для скрытия топологии внутренних сетей организаций, обменивающихся информацией по сети Интернет, защиты трафика между ними. При этом используются специальные системы маршрутизации.

Общим недостатком МСЭ любого вида является то, что эти программно-аппаратные средства защиты в принципе не могут предотвратить многих видов атак (например, угрозы несанкционированного доступа к информации с использованием ложного сервера службы доменных имен сети Интернет, угрозы анализа сетевого трафика, угрозы отказа в обслуживании). Нарушителю реализовать угрозу доступности информации в КС, использующей МСЭ, может оказаться даже проще, так как достаточно атаковать только хост с МСЭ для фактического отключения от внешней сети всех компьютеров защищенной части сети.

Для обеспечения конфиденциальности и сервиса аутентификации на прикладном уровне в компьютерных системах и сетях используются схемы PGP (Pretty Good Privacy) и S/MIME (Secure/Multipurpose Internet Mail Extension).

В пакет системы PGP включены алгоритмы шифрования с открытым ключом RSA, DSS и алгоритм Диффи-Хеллмана, алгоритмы симметричного шифрования IDEA и 3DES, а также алгоритм SHA-1. Комбинация SHA-1 и RSA обеспечивают эффективную схему цифровой подписи, алгоритм CAST-128 (IDEA или 3DES) обеспечивают конфиденциальность, для обмена ключами используется алгоритм Эль-Гамала. Все это позволяет сократить время передачи ключевых данных и решить проблему передачи сеансовых ключей, путем присоединения сеансового ключа к сообщению.

Система S/MIME является усовершенствованным стандартом защиты формата MIME электронной почты. Она обеспечивает упаковку данных и цифровую подпись, формируемую с помощью шифрования профиля сообщения, с использованием личного ключа отправителя. При этом алгоритм SHA-1 обеспечивает цифровую подпись, конфиденциальность обеспечивается алгоритмами симметричного шифрования 3DES и RC2/40, для обмена ключами используется алгоритм Диффи-Хеллмана.

Рассмотрим механизмы защиты с помощью протокола IP (Internet Protocol – протокол межсетевого взаимодействия), обеспечивающие аутентификацию, конфиденциальность и управление ключами.

Для обеспечения защиты обмена данными в локальных сетях (LAN), корпоративных и открытых глобальных сетях (WAN) и в Internet используется протокол IPSec.

Ключевым объектом в механизмах аутентификации и конфиденциальности для IP является защищенная связь (Security Association), обеспечивающая одностороннюю защиту потока данных на транспортном уровне и использующая при этом либо протокол AH (Authentication Header – заголовок аутентификации), либо ESP (Encapsulating Security Payload header – заголовок защиты полезного груза). Аутентификация в протоколах AH и ESP опирается на использовании кода аутентичности MAC с длиной по умолчанию 96 битов (схемы HMAC-MD5-96 и HMAC-SHA-1-96), а сервис шифрования полей полезного груза протокола ESP использует алгоритмы шифрования: “тройной” DES с тремя ключами, RC5, IDEA, “тройной” IDEA с тремя ключами, CAST, Blowfish.

Протоколы AH и ESP поддерживают два режима использования: транспортный и туннельный.

Транспортный режим предназначен для защиты протоколов высшего уровня и обеспечивает сквозную связь двух главных узлов (пользователя и сервера или двух рабочих станций). Преимуществом транспортного режима является обеспечение конфиденциальности для любого применяющего этот режим приложения, что позволяет избежать необходимости реализации функций обеспечения конфиденциальности в каждом отдельном приложении. Недостатком является то, что при его использовании не исключается возможность анализа трафика пересылаемых пакетов.

Туннельный режим обеспечивает защиту всего пакета IP и оказывается полезным в конфигурации сети, которая предполагает наличие брандмауэра или шлюза защиты. Преимуществом режима является разгрузка узлов внутренней сети от необходимости шифрования данных и упрощение процедуры распределения ключей. Недостатком является усложнение анализа потока данных к конкретному адресату.

Для обеспечения защиты данных на прикладном уровне в приложении World Wide Web существует несколько подходов. Все они схожи, но различаются по областям применения и размещению соответствующих средств защиты в стеке протоколов PSP/IP. Эти различия представлены на рис. 10.

Первый метод защиты состоит в использовании протокола защиты IP (IPSec). Преимущество IPSec заключается в его прозрачности для конечного пользователя (приложений) и в использовании фильтрации, позволяющей его использование только для той части потока данных, где это действительно необходимо.



Рисунок 10 – размещение средств защиты в стеке протоколов TCP/IP
 Figure 10 – accommodation of means of protection in a stack of protocols TCP/IP

Вторым методом защиты является размещение средств безопасности сразу над протоколом TCP. Примером такого подхода является стандарт SSL (Secure Socket Layer) и его более новая версия – TLS (Transport Layer Security) безопасной передачи данных в Internet. Внедрение средств SSL и TLS в набор соответствующих протоколов обеспечивает прозрачность средств защиты приложений.

Различные средства защиты могут выстраиваться и в приложениях. Преимуществом такого метода является возможность оптимальной настройки средств защиты в зависимости от требований конкретного приложения.

Таким образом, для обеспечения аутентификации данных в протоколах могут применяться различные алгоритмы симметричного и несимметричного шифрования, MAC-коды и функции хеширования.

Вместе с тем, для каждой отдельной компьютерной системы (сети) необходимо проведение оптимизации средств аутентификации в зависимости от требований конкретных приложений, использующихся в данных КС (сетях).

Целостность призвана обеспечить возможность модификации хранящейся и передаваемой в КС информации только пользователями, имеющими на это право. Под модификацией понимаются операции записи, изменения, изменения состояния, удаления, создания, задержки или повторные воспроизведения передаваемых данных [4-5].

Для обеспечения целостности данных используются алгоритмы шифрования и коды аутентификации. Протоколы защиты данных в World Wide Web обеспечивают также и целостность передаваемых данных на прикладном, сетевом и транспортных уровнях.

Протокол SSL предназначен для обеспечения защиты сквозной передачи данных с использованием протокола TCP. Строго говоря, SSL представляет собой не один протокол, а два уровня протоколов. На первом уровне находятся протоколы квитирования SSL, изменения параметров шифрования SSL, извещения SSL, HTTP. На последующих уровнях - протокол записи SSL, затем CP и далее IP.

Протокол SSL предлагает базовый набор средств защиты, применяемых протоколами более высоких уровней, и обеспечивает конфиденциальность канала коммуникаций и аутентификацию пользователя.

Протокол квитирования определяет общий для пользователя и сервера секретный ключ, используемый симметричным алгоритмом шифрования, и обеспечивает конфиденциальность передаваемых данных. Кроме этого, протокол квитирования определяет общий секретный ключ для вычисления значений MAC, который обеспечивает целостность передаваемых сообщений.

Преимуществом SSL является его независимость от прикладного протокола. Протоколы приложения, такие как HTTP, FTP, TELNET и т.д. могут работать поверх протокола SSL совершенно прозрачно. Протокол SSL может согласовывать алгоритм шифрования и ключ сессии, а также аутентифицировать сервер до того как приложение примет или передаст первый байт данных. Все протокольные прикладные данные передаются зашифрованными с гарантией конфиденциальности.

Протокол TLS предназначен для обеспечения конфиденциальности и целостности данных. Он имеет два уровня: протокол записей TLS и протокол диалога TLS. Протокол записей TLS обеспечивает конфиденциальность данных с использованием симметричных алгоритмов шифрования DES, RC4 и целостность данных с использованием хэш-функций SHA-1 или MD5.

Протокол диалога TLS обеспечивает цифровую подпись, основанную на подходе RSA или DSS.

Таким образом, средства защиты целостности сообщений гарантировано обеспечивают, что принятые сообщения будут в точности соответствовать отправленным, без изъятий, дополнений, изменений, в исходном порядке и без повторений. Вместе с тем, протоколы защиты целостности, работая с потоками сообщений, обеспечивают только обнаружение нарушения целостности потока данных, и не обеспечивают восстановление поврежденной или утраченной информации.

Конфиденциальность призвана обеспечить защиту передаваемых данных от пассивных атак. В самой широкой форме служба защиты должна обеспечить защиту всех данных, передаваемых между любыми двумя пользователями в течение определенного времени. При этом обеспечивается общая защита, препятствующая утечке любых пользовательских данных при передаче. В более узкой форме служба защиты может обеспечивать защиту отдельных сообщений или даже отдельных их частей.

Другим аспектом конфиденциальности является защита потока данных от возможности его аналитического исследования (защита факта, места, способа передачи данных). Общим подходом к обеспечению безопасности в точках уязвимости является шифрование. При передаче данных в КС с коммутацией пакетов, как правило, используется либо канальное шифрование, либо сквозное шифрование, основанные на симметричных кодах (алгоритмы CAST-128, IDEA или 3DES). На рис. 11 представлены основные возможности шифрования в сети с коммутацией пакетов.

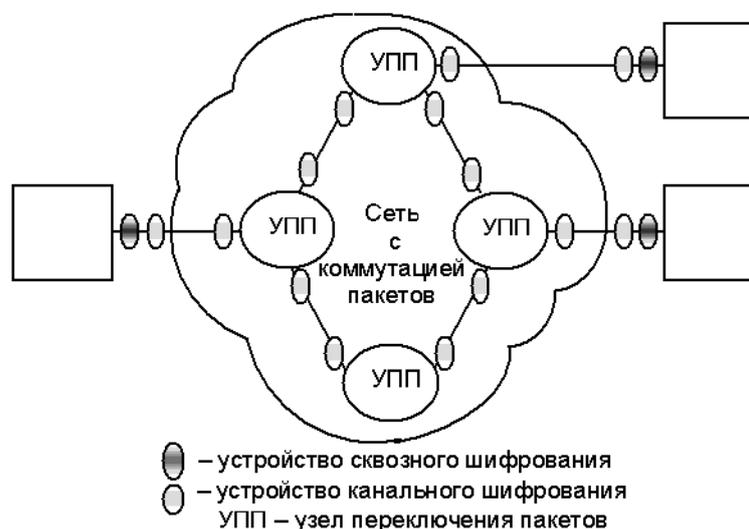


Рисунок 11 – шифрование в сети с коммутацией пакетов

Figure 11 – enciphering in a network with switching packages

Для противодействия нарушениям защиты используется канальное и сквозное шифрование. Канальное шифрование осуществляется либо на физическом, либо на уровне звена передачи (канальном уровне), сквозное шифрование используется на сетевом или транспортном уровне.

При использовании канального шифрования каждый уязвимый канал оборудуется на обоих концах устройствами шифрования. Недостатками канального шифрования являются необходимость дешифрования пакета данных при каждом его прохождении через пакетный переключатель, сообщение становится уязвимым в каждом переключателе, требуется много устройств шифрования со своими уникальными ключами для каждой пары шифраторов.

Сквозное шифрование обеспечивает безопасность передачи данных в рамках отдельной сети. Сам процесс шифрования выполняется только в двух конечных системах. Недостатком является отсутствие шифрования всего потока данных, поскольку заголовки пакетов передаются в открытом виде (протокол X.25 или TCP). Такое шифрование не обеспечивает безопасность межсетевых обмена данными электронной почты, при электронной передаче файлов. Для электронной почты сквозное шифрование используется на прикладном уровне. Недостатком шифрования на уровне приложений является работа с большим количеством секретных ключей. Для лучшей защиты необходимо как канальное, так и сквозное шифрование, что обеспечивает конфиденциальность передаваемых данных.

Однако в момент времени, когда пакет находится в памяти свитча, заголовок пакета является открытым. На рис. 12 показана такая схема межсетевых обмена данными.

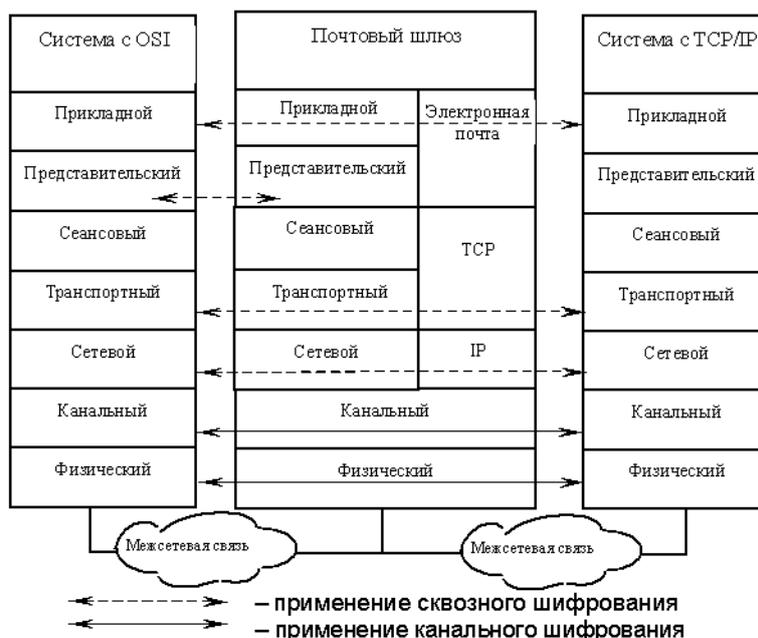


Рисунок 12 – применимость схем шифрования при межсетевом обмене данных
Figure 12 – applicability of schemes of enciphering at gateway data exchange

Таким образом, механизмы и протоколы конфиденциальности обеспечивают защиту передаваемых сообщений в полном объеме, отдельных сообщений или даже отдельных частей сообщений. Вместе с тем, при прохождении пакетов через узлы коммутации информация становится уязвимой для нарушителя.

Анализ протоколов и механизмов защиты показал, что для обеспечения аутентификации, целостности и конфиденциальности передачи данных в компьютерных сетях используются криптографические методы, основанные на симметричных и несимметричных алгоритмах преобразования информации.

Для построения механизмов защиты традиционно используют криптографические методы. Их общая классификация представлена на рис. 13. Методы симметричной криптографии основаны на простых и легко реализуемых блоках подстановок и перестановок. Методы криптографии с открытым ключом основаны на использовании соответствующей теоретико-сложностной задачи (факторизации, дискретного логарифмирования и т. д.).



Рисунок 13 – криптографические методы защиты информации
 Figure 13 – cryptographic methods of protection of the information

Среди известных примеров несимметричных криптосистем особое место занимают несимметричные секретные системы доказуемой стойкости (теоретико-кодовые схемы) на алгебраических блочных кодах, имеющие существенное преимущество – высокую скорость криптографического преобразования информации [8-9].

Кроме того, как показано в работах [8-11] применение теоретико-кодовых схем позволяет совместить помехоустойчивое кодирование с маскировкой данных под случайную последовательность, и, таким образом, интегрировано (одним приемом) обеспечить конфиденциальность и аутентификацию передаваемых данных.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что для обеспечения защиты передаваемых данных в компьютерных сетях используются наборы протоколов защиты, которые не в полной мере обеспечивают конфиденциальность, аутентификацию и целостность данных.

Перспективным направлением интегрированного решения задач обеспечения требуемых показателей является использование в протоколах и механизмах защиты теоретико-кодовых схем на алгебраических блоковых кодах.

Литература

- [1] Горбенко И. Д., Потий А. В., *Рекомендации международных стандартов по оценке безопасности информационных технологий*, Матер. междунар. научно-практич. конфер. «Безопасность информации в информационно-телекоммуникационных системах», Киев, 2010.
- [2] Бондаренко М. Ф., Черных С. П., Горбенко И. Д., *Методологические основы концепции и политики безопасности информационных технологий*, Радиотехника. Всеукраинский научн.-техн. сб. - Киев, 2010
- [3] Хорев П. Б., *Методы и средства защиты информации в компьютерных системах*, «Академия», Москва, 2005.
- [4] Стасев Ю. В., Кузнецов О. О., Корольов Р. В. *Аналіз існуючих послуг і механізмів захисту інформації, Системи озброєння і військова техніка*, ХУПС, Харків, 2006.
- [5] Кузнецов А. А., Евсеев С. П. *Разработка теоретико-кодовых схем с использованием эллиптических кодов*, Системи обробки інформації, ХВУ, Харків, 2004.

MEHANIZMI ZAŠTITE INFORMACIJA U KOMPJUTERSKIM MREŽAMA I SISTEMIMA

OBLAST: računarske nauke, kriptografija

Rezime:

U radu su dati protokoli za zaštitu informacija u kompjuterskim mrežama i sistemima kao i klasifikacija osnovnih tipova ugrožavanja zaštite do kojih dolazi prilikom korišćenja kompjuterskih mreža. Ispitani su osnovni mehanizmi, usluge i vrste realizacije kriptosistema za održavanje autentikacije, integriteta i tajnosti. Opisane su njihove prednosti i nedostaci. Definisani su i analizirani pravci razvoja kriptografskih transformacija za održavanje zaštite informacija u kompjuterskim mrežama i sistemima.

Uvod

Moderni vojni kompjuterski sistemi kao i postojanje globalnih telekomunikacionih mreža značajno su izmenili karakter i obim problema pri zaštiti informacija. Metode zaštite informacija postale su složene i predstavljaju važan deo informacionih tehnologija. U zaštiti informacija primenjuju se različita kriptografska sredstva.

Analizirani su protokoli i mehanizmi zaštite informacija u kompjuterskim sistemima i mrežama, kao i mogući pravci razvoja kriptografskih transformacija za održavanje tajnosti, autentikacije i integriteta informacija.

Problemi i mehanizmi zaštite kompjuterskih mreža od pretnji i posledica neovlašćenog pristupa

Problemi zaštite kompjuterskih sistema i komunikacionih mreža od neovlašćenog pristupa izuzetno su aktuelni. Razvoj kompjuterskih tehnologija omogućava građenje mreža određenih arhitektura s mnoštvom segmenata međusobno znatno udaljenim. Posledica je povećanje broja mrežnih jedinica i količine raznovrsnih komunikacionih linija među njima, što, opet, povećava rizik od neovlašćenog priključivanja na mreže i pristupa važnim informacijama.

Osnovni tipovi ugrožavanja zaštite informacija tokom korišćenja kompjuterskih mreža razmatrani su u radu kao i osnovni mehanizmi i usluge kojima se obezbeđuje autentikacija, integritet i poverljivost informacija u kompjuterskim sistemima i mrežama. Izvršena je komparativna analiza i dobijeni su blok dijagrami različitih algoritama kako simetričnog tako i asimetričnog kodiranja. Ispitane su njihove mogućnosti s aspekta održavanja poverljivosti i zahtevanog nivoa autentikacije poslatih poruka.

Jedna od najefikasnijih varijanti korišćenja autentikacije koda poruke je jednosmerna heš funkcija kojom se obezbeđuje autentikacija, digitalni potpis i tajnost. Opisane su metode zaštite poruke pomoću heš kodova. Predstavljene su osnovne karakteristike najčešće korišćenih heš algoritama i heš funkcija.

Detaljno je razmatrana primena protokola Kerber za autentikaciju pomoću simetričnog kodiranja.

Programski i hardverski alat za autentikaciju kompjuterskih mreža

Razmatrani su getvej ekrani, alati za analizu bezbednosti i detekciju napada poput rutera za filtriranje i brane za nivo sesije i primenjene nivo. Njihov zajednički nedostatak jeste da ne mogu da spreče mnoge vrste napada (neovlašćene pristupe informaciji kroz lažni server, analizu mrežnog saobraćaja i odbijanje usluge).

Za održavanje tajnosti na određenom nivou u kompjuterskim sistemima koriste se sheme poput Pretty Good Privacy Secure-Multipurpose and Internet Mail Extension (s transportnim i tunelskim režimima protokola). Za održavanje autentičnosti podataka u protokolima primenjuju se algoritmi simetričnog i asimetričnog šifrovanja, heš funkcije i MAC-CODES. Optimizacija sredstva zaštite zavisi od zahteva za svaki pojedinačni slučaj i neophodna je za svaki kompjuterski sistem posebno.

Integritet bi trebao da obezbedi da samo ovlašćeni korisnik obavlja ažuriranje uskladištenih i poslatih informacija. Pod ažuriranjem se podrazumeva menjanje, uklanjanje, kreiranje, kašnjenje ili ponavljanje reprodukcije transferovanih podataka. Za održavanje integriteta algoritama za šifrovanje moraju se koristiti mrežni i transportni nivoi. Integritet poruka znači da će primljene poruke biti identične poslatim, bez gubljenja, dodavanja, promena ili ponavljanja, redom kojim su i poslate. Međutim, protokoli za zaštitu integriteta poruke obično obezbeđuju samo detekciju ugrožavanja integriteta toka podataka, a ne obezbeđuju rekonstrukciju oštećene ili izgubljene informacije.

Tajnost obezbeđuje zaštitu poslatih podataka od pasivnih napada. Njena svrha je da garantuje zaštitu podataka prilikom prenosa između korisnika tokom vremenskog perioda koji se poklapa s protokom podataka celokupne poruke kao i njenih pojedinačnih delova.

Značajan aspect tajnosti je zaštita podataka od analitičkog istraživanja. Šifrovanje kriptografskim metodama je neophodno u ovu svrhu. Data je osnovna klasifikacija ovih metoda i ukratko opisane njihove karakteristike. Detaljnije su razmatrane metode simetrične kriptografije (zasnovane na supstituciji i preuređivanju blokova) kao i metode s upotrebom javnog ključa.

Zaključci

U današnje vreme postojeći alati za zaštitu podataka u kompjuterskim mrežama ne obezbeđuju tajnost, autentifikaciju i verodostojnost podataka. Pravci u zaštiti podataka usmereni ka integrisanom rešenju za opisane probleme zasnivaju se na teoretskim šemama šifrovanja i algebarskim blok šiframa.

Ključne reči: zaštita informacija, kriptografske transformacije, tajnost, autentifikacija, integritet podataka, algoritmi za šifrovanje

MECHANISMS OF PROTECTION OF INFORMATION IN COMPUTER NETWORKS AND SYSTEMS

Evseev Sergey Petrovich, Dorokhov Oleksandr Vasilievich, Korol Olga Grigorievna

Kharkov National University of Economics, Faculty of Economics Informatics, Chair of Information Systems, Ukraine

FIELD: Computer Sciences, Cryptography

Summary:

Protocols of information protection in computer networks and systems are investigated. The basic types of threats of infringement of the protection arising from the use of computer networks are classified. The basic mechanisms, services and variants of realization of cryptosystems for maintaining authentication, integrity and confidentiality of transmitted information are examined. Their advantages and drawbacks are described. Perspective directions of development of cryptographic transformations for the maintenance of information protection in computer networks and systems are defined and analyzed.

Introduction

Creation of modern military computer systems and existence of global telecommunication networks have considerably changed the character and a range of problems of information protection. Information

protection methods become complicated and represent an important part of information technologies. Various cryptographic means are applied for information protection.

The paper deals with the protocols and mechanisms of information protection in computer systems and networks, the analysis of perspective directions of development of cryptographic transformations for the maintenance of information confidentiality, authentication and integrity.

Problems and mechanisms of computer network protection from threats and consequences of non authorized access

Problems of the protection of computer systems and communication networks from non-authorized access have recently become highly topical. Development of computer technologies allows building networks of allocated architectures consisting of plenty of segments, located at a significant distance from each other. All this results in increasing the number of network units and amounts of various communication lines between them, which, in turn, increases risks of non-authorized connections to networks and access to important information.

In this paper the basic types of threats of infringement of the protection arising from the use of computer networks have been discussed. The basic mechanisms and the services providing authentication, integrity and confidentiality of the transmitted information in computer systems and networks are considered. The comparative analysis is carried out and block diagrams of various algorithms of symmetric and asymmetric enciphering are obtained. Their opportunities from the point of view of maintenance of confidentiality and a demanded level of authentication for transmitted messages are examined.

One of the most effective variants for the use of message code authenticity is the unilateral hashing function which can provide authentication, a digital signature and confidentiality. The methods of message protection with the use of hash-codes are described. The basic characteristics of various most widespread hash-algorithms and hash-functions have been presented.

In addition, the application of the Kerberos system for maintaining authentication applying symmetric enciphering is considered and analyzed in detail.

Program and hardware instruments for maintaining the authenticity of allocated computer networks

Gateway screens, tools for the analysis of security and detection of attacks such as filtering routers, sluices of a session level and an applied level are considered. Their common drawback is that they cannot prevent many types of attacks (non-authorized access to information through a false server of service of Internet network domain names, analysis of the network traffic, service refusal).

For maintaining confidentiality at an applied level in computer systems the schemes such as Pretty Good Privacy Secure-Multipurpose and Internet Mail Extension are used (with transport and tunnel modes of protocols). Algorithms of symmetric and asymmetric enciphering, hash-functions and MAC-CODES are applied to maintain data authenticity in protocols. Optimizing the means of protection depends on the requirements for each particular case and it is necessary for each separate computer system.

Integrity should provide updating information stored and transmitted in a network only by authorized users. Updating is understood as a change, removal, creation, delay or repeated reproduction of transferred data. For the maintenance of the integrity of enciphering algorithms, network and transport levels must be used. The integrity of messages means that the received messages will be as accurate as the sent ones, without withdrawals, additions, changes or recurrences and in the initial order. However, protocols of the protection of message integrity usually provide only the detection of infringement of dataflow integrity, and do not provide reconstruction of the damaged or lost information.

Confidentiality provides the protection of transmitted data against passive attacks. It should guarantee protection of the data transferred between users during certain time occurring simultaneously with the outflow of data during messages and their separate parts transfer process.

A significant aspect of confidentiality is data protection against analytical research. For this purpose, enciphering by cryptographic methods is necessary. Their general classification and brief descriptions are presented. The methods of symmetric cryptography (based on blocks of substitutions and rearrangements), and the methods of public-key cryptography have been considered in particular.

Conclusions

Nowadays, in data protection in computer networks, existing protection tools do not provide confidentiality, authenticity and integrity of transmitted data and information. The perspective directions of the integrated solution of the described problems in protection mechanisms are to use corresponding tools based on theoretical-code schemes and algebraic blocks codes.

Key words: information protection, cryptographic transformations, confidentiality, authentication, data integrity, encrypting algorithms

Datum prijema članka: 29. 06. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 07. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 07. 2011.

FUZZY-DEA MODEL FOR MEASURING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT QUALITY

Pamučar S. Dragan, University of Defence,
Military Academy, Deanery, Belgrade

FIELD: Mathematics (Operations Research)

Abstract:

Data envelopment analysis (DEA) is becoming increasingly important as a tool for evaluating and improving the performance of manufacturing and service operations. It has been extensively applied in performance evaluation and benchmarking of schools, hospitals, bank branches, production plants, etc. DEA enables mathematical programming for implicit evaluation of the ratio between a number of input and output performance parameters. The result is quantification of the efficiency of business opportunities and providing insight into some flaws from the level of top management. Levels of efficiency determined under the same parameters make this analytical process objective and allow for the application of best practices based on the assessment of the overall efficiency. This paper presents a fuzzy-DEA model for evaluating the effectiveness of urban and suburban public transport-USPT. A fuzzy-DEA model provides insight into the current transport quality provided by USPT and proposes for the improvement of inefficient systems up to the level of best standards possible. Such quantification makes long-term stability of USPT possible. Since most of the acquired data is characterized by a high degree of imprecision, subjectivity and uncertainty, fuzzy logic was used for displaying them. Fuzzy linguistic descriptors are given in the output parameters of DEA models. In this way, fuzzy logic enables the exploitation of tolerance that exists in imprecision, uncertainty and partial accuracy of the acquired research results.

Key words: Data envelopment analysis (DEA), fuzzy logic, public transport, transport quality.

Introduction

The significance and role of urban and suburban public transport of passengers (USPT) has an irreplaceable function in the lives of citizens, economy and all activities within a city. The quality of transport service of the system affects the efficiency of production, suppor-

ting processes and other activities of people in the city. The role of local authorities in these processes is crucial, as they are obliged to create conditions for long-term stability of the USPT systems. A system should also be allowed to develop under controlled conditions to realise the required quality as the only true indicator of its success.

A USPT system is a business that requires large resources, funds for vehicles, employees, facilities and equipment, energy and the like; therefore, it is of crucial interest for the economy of cities and the country as a whole to have each USPT company operating immaculately. However, an even greater priority is to ensure greater efficiency of the system and also to provide conditions for the quality of transport service to rise to a higher level and meet the required quality requirements. Namely, the urban and suburban public transport of passengers is not profitable, as it possesses no standard economic characteristics, primarily due to the fact that it is a public service. Holders of the USPT activities are public companies owned by local or regional authorities. In this case, the missing funds to the level of cost - the cost of operating the current business as well as the required financial resources for development are provided primarily via state subsidies.

Generally speaking, USPT systems enjoy high subsidies and grants in Serbian cities, so that 20 to 80% of the ongoing costs of the system operation is covered by the price of the service and the rest is provided from other sources. Investments, as a rule, are covered from the local, regional and central governments whose interests are to have the investment implemented quality closer or equal to the required. The difference in the nature of public transportation in larger and smaller cities should, however, be emphasized. In larger cities, the urban public transport taking place in the continuous built-up areas is much more prominent compared to the urban transport. On the other hand, in smaller towns suburban transport is more dominant, organized as part of local and intercity transportation. Suburban transportation that connects suburbs with the city centre has the same function as the urban public transport in the inner-city area, primarily because it enables commuting to work, school, etc. Such transport has far-reaching socio-economic significance, since residents live in small suburban areas, mostly in their own homes, and work or study at the very centre which is a continuously developed urban area, in this way not overloading the infrastructure. Since there is a tendency to develop medium size cities in Serbia (70,000 to 350,000 inhabitants) mainly working in the industrial and services sectors, primarily due to the intensive construction of roads or the general standard of the population increase, there is a socio-economic interest to treat suburban public transport as urban. The tendency is to organise and implement a modern integrated system of urban and suburban public transports of passengers that will allow rising the quality of service, an instigator for the development of studies that have analysed the efficiency of USPT for medium size cities in Serbia.

The paper presents the measurements of the current performance of the required quality of USPT services in cities using a fuzzy-DEA model. The aim of the paper is to use the DEA for gaining insight into the current state of quality of service delivered by the USPT system and making proposals to improve inefficient USPT systems up to the level of its best standards.

Relevant references

The DEA is a method based on linear programming, which is becoming an increasingly popular management tool. It is commonly used to evaluate the efficiency of a number of 'units' such as a group of producers, banks, or hospitals characterized by multiple inputs and outputs. In fact, the DEA is suitable for evaluating almost any relatively homogeneous set of units, but nowadays it is also recognized as a decision-making aid in multi-criteria analyses of discrete alternatives. The concept of DEA methodology makes it suitable for successful application in the manufacturing and service organisations. Due to its application flexibility, the DEA has inspired many authors to investigate the efficiency of transport.

The idea of measuring efficiency was developed by Farrell in the mid-twentieth century when he used non-parametric approach efficiency limits for measuring efficiency as a relative distance from the border efficiency [9]. This measure, referred to as empirical or relative efficiency was later expanded, especially in the work of Charnes, Cooper and Rhodes [4]. They called this technique Data Envelopment Analysis or DEA. The non-parametric advantage of the DEA has become increasingly popular in businesses that require the definition of a number of input and output parameters of efficiency. A business analysis based on one criterion has been used as the primary method for measuring efficiency in the past. However, as Kemp's papers suggest, one of the evident dilemmas is how to display the standards of comparison when there are a number of criteria[28]. One measure is rarely enough to measure efficiency. Financial indicators of the relationship between the individual outputs and inputs, such as Return on Investment (ROI) and Return on Sales (ROS) can be used as indicators that characterize the financial impact. However, they do not meet the requirements when best practices are sought for and are not sufficient to measure efficiency.

It is important to mention the work of Su and Rogers [22]. This paper presents the years of traffic efficiency studying in countries that are members of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), using the Data Envelopment Analysis to assess the grade of efficiency. The analysis includes variables associated with conducted tran-

sportation, added value, economic contributions and carbon dioxide. The analysis provides annually efficiency scores for each country, proposals to improve the efficiency of individual countries and consideration of factors that influence the efficiency of the transportation system.

In addition to the research conducted by Su and Rogers [22], other significant research has been conducted by Duygun, Jackson and Weyman [8]. The paper was inspired by the liberalization movement in European air traffic that began in the late 80's. According to [8], in numerous surveys, primarily by Windle and Good, the efficiency of carriers has been compared, proving that the air carriers in the liberal U.S. market were more efficient than their colleagues in the European market which is regulated more strictly. Bailey noted that the reform of regulations in the USA increased competition, lowered prices and provided significant benefits to users [1]. Evident benefits of American liberalisation and actual inefficiency of the European carriers forced the European Commission to introduce certain reforms in order to promote competition and thus increase the efficiency of European carriers.

Oum and Yu used the DEA to estimate efficiency in the analysis of the impact of certain variables on the efficiency of the European railroads [17]. The DEA helped Kerstens to estimate the performance of the French urban public transport companies [13]. In the same manner, Gillen and Lall analysed the efficiency of airports [10].

The procedure in most of these studies included two steps. The first step was to measure the efficiency and efficiency distribution in certain times and establish procedures and in the second the Tobit model was used in order to explain the impact of descriptive parameters of efficiency (the parameters that cannot be quantified) on the efficiency of operations.

In the next section, a proceeding from the relevant theoretical approaches, a fuzzy-DEA model for measuring the efficiency of a USPT was developed. The aforementioned model will be shown in the following section of the paper.

Fuzzy-DEA model

Transportation planning, organisation and management of traffic and transport processes are associated with making certain decisions. Depending on the context of the problems in certain cases highly precise input and output data are available. In such situations, provided that there is an adequate model that can help the decision-maker, favourable solution will result from the decision. However, there is often uncertainty in the data necessary for making certain decisions and decisions are often made based on experience, intuition and subjective evaluation of certain parameters by the decision-maker.

It is important to point out that the subjective evaluation of certain traffic parameters varies from passenger to passenger, the decision-maker to decision-maker. Thus, at the stage of mathematical modelling of traffic processes whose parameters are not sufficiently certain, uncertain or subjectively estimated, it is necessary to use mathematical methods to treat uncertainty, imprecision or subjectivity in a satisfactory way.

While researching the quality of USPT services a problem appeared concerning quantification of the output parameters: reliability, ride comfort, equipment and organization of stations, as well as staff friendliness and tidiness.

For quantification of these parameters the theory of fuzzy sets was used as the most appropriate mathematical apparatus for handling uncertainty, subjectivity and imprecision. The fuzzy-DEA model is shown in Fig. 1.

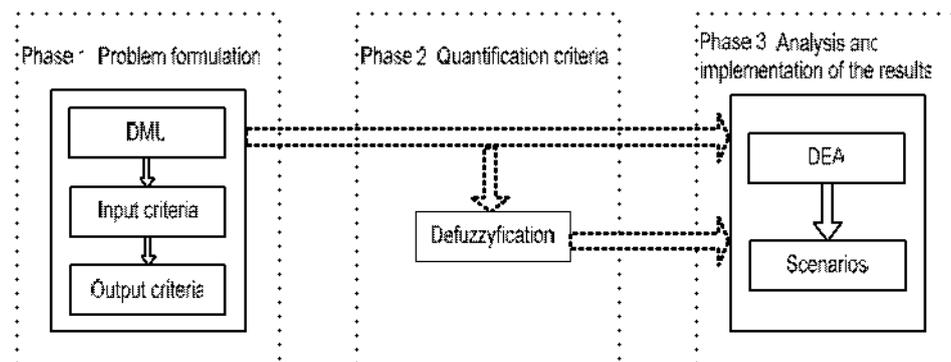


Figure 1 – Fuzzy-DEA methodology

The optimization of choice by the application of fuzzy logic in practice has been applied many times [2, 18, 7, 15]

Phase 1. The first phase includes the selection of DMU whose efficiency is measured that is, the choice of decision-making units. It is necessary that the units whose efficiency is analysed refer to the same organization unit and special care should be taken not to model incomparable units in the decision making process. In special cases, decision making units can belong to different areas or sectors. Then, the effectiveness of common business processes and activities for different areas or sectors within specific functional groups of the organization are measured and compared.

After this, input and output parameters of efficiency of the selected decision making units are defined. The parameters are defined based on theoretical and practical experiences from the given area, depending on the particular business requirements. It is necessary to define the representative parameters, i.e. parameters that best present the activities and processes to which they refer. Good input and output parameters reliably represent all the resources (material, personnel, financial and informa-

tion) used by the decision-makers, as well as all the business results of the unit. If the parameters are not well allocated, the results may indicate the superficial interpretation as well as partially correct and incorrect conclusions regarding the efficiency of decision making units observed. What is also important is that the values of the defined parameters are obtained from reliable sources and references and are consistent for all the compared units. The DEA approach does not require knowledge of specific functional forms among the input and output parameters, unlike other traditional statistical approaches. The advantage of the DEA is the possibility to consider multiple input and output parameters that are diverse and expressed in different measurement units.

Phase 2. The second phase includes the quantification of input and output parameters using the fuzzy logic and defuzzification – projection of the linguistic variables values in real numbers. In designing the fuzzy sets the main question is how to choose the membership function $\mu_A(x)$. This function shows to what extent $x \in X$ meets the requirement of belonging to the set of A . For the membership function it has to be that $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$, for every $x \in A$, i.e. $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$. Formally speaking, the fuzzy set A is defined as a set of ordered pairs

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X, 0 \leq \mu_A(x) \leq 1\} \quad (1)$$

Triangular fuzzy numbers with membership functions (Fig. 2) are used in this paper.

Triangular fuzzy numbers are usually given in the form $A = (a_1, a_2, a_3)$, where a_2 is the value at which the membership function of the fuzzy number is 1.0, a_1 is the left distribution of the confidence interval and a_3 is the right distribution of the confidence interval for the fuzzy number A .

The membership function of the fuzzy number A is defined as:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

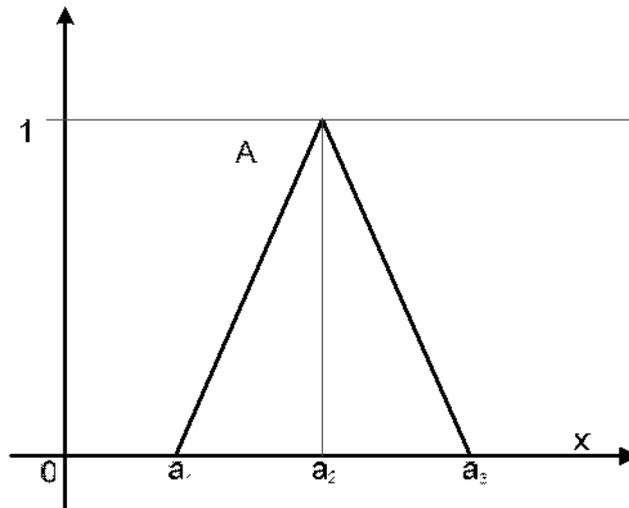


Figure 2 – Triangular fuzzy number

The values of the output parameters that describe the quality of USPT presented as a set of linguistic descriptors $S = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}, i \in H = \{0, 1, \dots, T\}$, where T is the overall number of linguistic descriptors. The number of linguistic descriptors is $T = 5$: very low – VL, low – L, medium – M, high – H and very high – VH (Fig. 3).

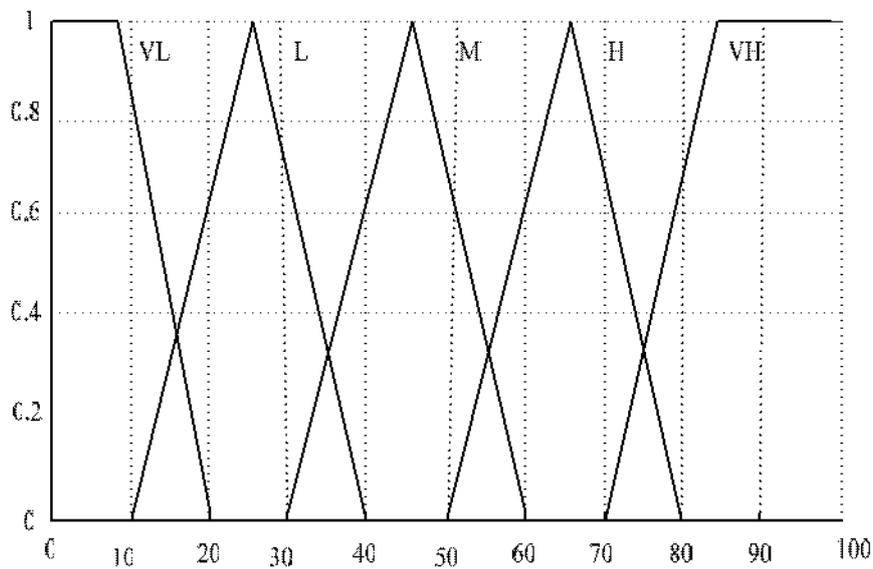


Figure 3 – Graph of linguistic descriptors [2]

The linguistic descriptors have the following values[2]:

$$\mu_{\overline{Vz}} = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & 0 \leq x \\ 1, & 0 < x \leq 0.85 \\ (2-x)/1.915, & 0.85 < x \leq 2 \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$\mu_{\overline{L}} = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & 1 < x \\ x-1, & 1 < x < 2 \\ 1, & 2 \leq x \leq 3 \\ 4-x, & 3 < x \leq 4 \\ 0, & x > 4 \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$\mu_{\overline{M}} = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & 3 < x \\ x-3, & 3 < x < 4 \\ 1, & 4 \leq x \leq 5 \\ 6-x, & 5 < x \leq 6 \\ 0, & x > 6 \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$\mu_{\overline{H}} = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & 5 < x \\ x-5, & 5 < x < 6 \\ 1, & 6 \leq x \leq 7 \\ 8-x, & 7 < x \leq 8 \\ 0, & x > 8 \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$\mu_{\overline{VH}} = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & 7 < x \\ x-7, & 7 < x < 8.5 \\ 1, & x \geq 8.5 \end{array} \right\} \quad (7)$$

The presented fuzzy sets, i.e. the values of the linguistic variables are projected into real numbers. This operation is called defuzzification (Fig. 4). For defuzzification or the fuzzy number $A = (a_1, a_2, a_3)$ value projection into real numbers, various methods are used.

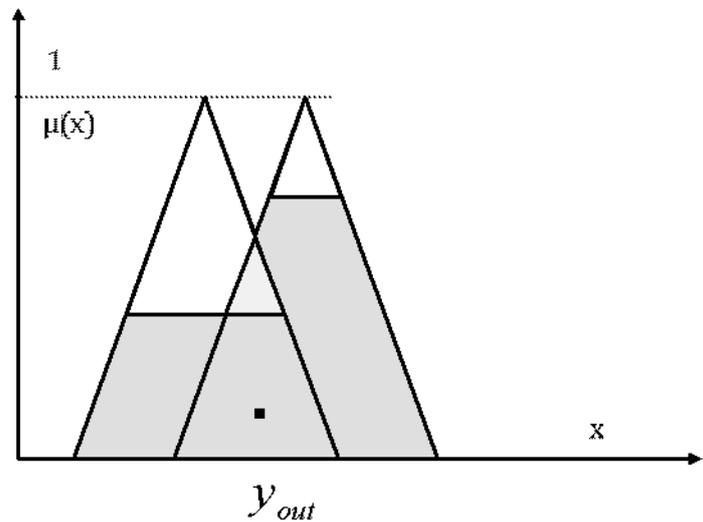


Figure 4 – Defuzzification [18]

The centre of gravity method was used in this paper

$$\text{defuzzy } A = \left[(a_3 - a_1) + (a_2 - a_1) \right] \cdot 3^{-1} + a_1 \quad (8)$$

The decision making group i.e. representative sample for each of the selected cities comprised 10% of the population of each using USPT. All participants were entitled to assess once each of the output parameters and decision-making was equal.

Each participant was assigned a set of linguistic descriptors to describe the values of output parameters. This provided as many sets as there were participants in the assessment. Group decision-making differs from single (individual) on methodological and mathematical levels. In case of multiple decision makers it is, as a rule, necessary to apply special techniques in defining, analysing and solving problems. In this case of group decision-making, the group synthesis with complete and incomplete information was applied.

In the case of the group synthesis with complete information, assuming that all members ($e = 1, 2, \dots, n$) of the group G are considered equal in decision making and all have performed evaluation of the optimality criteria for the given hierarchy, all the individual preference scores were aggregated at all levels of the hierarchy according to the expression [18]:

$$w_i = \left[\prod_{j=1}^n \lambda_j a_{ij} \right]^{1/n} \quad (9)$$

where λ_j represents the preference of the decision maker to the attribute i .

In the case of the group synthesis with incomplete information micro-aggregation at the position (i, j) in the given matrix is done by the geometric mean of the assessments of those group members who expressed the preference E_i compared to the element E_j . In this case it is necessary to have at least one of the decision makers declare for the value a_{ij} . The modification of the previous form yields [18]:

$$w_i^G = \left[\prod_{l \in L} \lambda_l a_{ij}(l) \right]^{1/M} \quad (10)$$

where l is a set of group members who evaluated the elements couple (E_i, E_j) and M is the number of such members.

Phase 3. The third phase involves implementation of the DEA methodology. Business units, their activities or processes are referred to as Decision Making Units (DMU) in the DEA terminology. A DMU is actually a business decision making unit whose efficiency is determined by a set of inputs and outputs and their interdependence, Fig. 5.

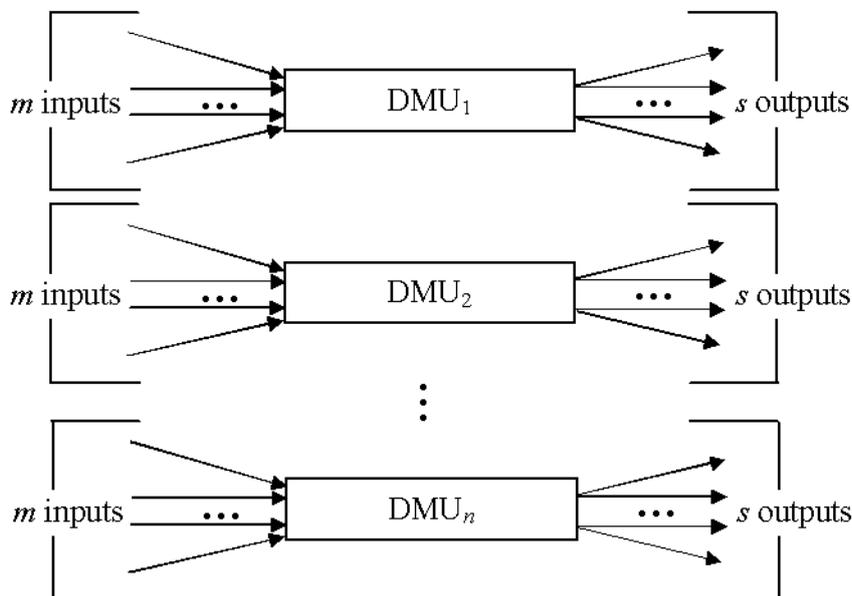


Figure 5 – DMU_j is determined by m inputs and s outputs

Decision-making units are compared according to the level of difficulty assessed according to the same parameters and the greater the set of units, the more objective the analytical comparison process is. When calculating efficiency the appropriate DEA model is selected according to the research objectives and designation of the obtained results. The third phase is the actualization of the previous two with the crucial focus on the correct interpretation of the results. In this phase, potential opportunities for business advancement are identified as well as implementation of the defined and selected ameliorations. The main objective of the phase is to strengthen the roots of the imperative of change. It is necessary to thoroughly explore the consequences of the implementation of business ameliorations and integration of knowledge gained in the organization.

This phase allows for the adoption of strategic and management decisions and setting priorities in problem solving. The obtained results and their detailed analysis present numerous possibilities for decision makers to improve their business [19].

Case study application

The USPT service quality efficiency measuring was conducted in sixteen medium-sized cities in Serbia, Table 2. Based on the theoretical and practical experiences and uniformity of methodology for collecting and presenting data, input/output indicators were selected (Table 1).

The criterion set $K_i (i = 1, \dots, 7)$ consists of two subsets:

- K^+ – subgroup of benefit type criteria, a higher value of the criterion is preferred and
- K^- – subset of cost-type criteria, a lower value is preferable.

The values of the input and output parameters are defined according to the studies considered.

Table 1.

Input-output parameters for measuring the efficiency of USPT

Criteria	Min	Max	Numeric	Linguistic
Number of operating vehicles (NOV)	•		•	
Number of drivers (ND)	•		•	
Staff numbers (SN)	•		•	
Reliability – punctuality of arrival (PA)		•		•
Ride comfort (RC)		•		•
Equipment and organization of the stations (EOS)		•		•
Staff friendliness and tidiness (SFT)		•		•

Input parameters were originally quantified variables (Table 2).

Input parameters of USPT system efficiency.

Table 2

Cities	NOV	ND	SN
Novi Sad	211	687	1260
Subotica	87	180	450
Zrenjanin	90	187	395
Nis	127	297	832
Vranje	90	250	570
Kragujevac	62	149	395
Cacak	105	230	654
Jagodina	85	234	355
Valjevo	85	210	405
Loznica	80	180	480
Uzice	85	190	531
Krusevac	78	210	525
Kraljevo	72	198	587
Leskovac	98	234	532
Pozarevac	77	220	550
Novi Pazar	80	204	450

Output parameters are linguistic variables quantified using fuzzy logic. These values are considered to be the decision of the group and represent the quantified values of the output parameters of quality efficiency of the service provided by the USPT system (Table 3).

Quality efficiency output parameters for the service provided by the USPT system.

Table 3

Cities	PA	RC	EOS	SFT
Novi Sad	93	80	85	90
Subotica	85	67	85	88
Zrenjanin	91	88	92	94
Nis	86	70	75	70
Vranje	60	55	77	49
Kragujevac	71	50	55	60
Cacak	91	77	85	87
Jagodina	88	88	90	91
Valjevo	76	80	82	84
Loznica	66	61	60	55
Uzice	66	50	52	55
Krusevac	51	40	55	60
Kraljevo	46	35	55	47
Leskovac	51	50	45	50
Pozarevac	51	59	53	51
Novi Pazar	71	70	70	60

The measure of the USPT efficiency is determined by the output-oriented model based on maximizing the outputs while keeping the inputs at current levels.

$$\phi^* = \max \phi \quad (11)$$

on condition that:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{r0}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, s; \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (14)$$

USPT₀ is one of the USPT systems evaluated, where x_{i0} and y_{r0} are the i^{th} input and the r^{th} output for USPT₀, respectively, while the USPT₀ system is efficient if and only if the system evaluation $\phi^* = 1$ and $\lambda_j = 0$ for every j except for USPT₀ for which $\lambda = 1$.

For a full assessment of efficiency the Slack-based model measuring the efficiency using the same data and allowing a full assessment of the inefficient systems was selected.

$$\max \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (15)$$

on condition that:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta^* x_{i0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, s \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1; \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (18)$$

Using the Slack-based model makes it possible to determine the margins of the input s^- (in other words to what extent the input parameters are to be reduced i.e. rationalised) and the output s^+ (how much to increase the output parameters of efficiency resulting from the implemented rationalisation i.e. the actual level of the results increase) for inefficient USPTs for them to achieve the best standards.

Results and discussion

As given in Table 4, out of 16 USPT systems analysed, five meet the necessary and sufficient conditions of the efficiency ie have the efficiency evaluation and own standard equal to one, while all the other standards $\lambda_j = 0$ for every $j = 1, 2, 3, \dots, 16$.

Table 4

USPT system efficiency evaluation.

USPT systems	VRS Efficiency	Benchmarks					
Novi Sad	1,00000	1,000	Novi Sad				
Subotica	1,00000	1,000	Subotica				
Zrenjanin	1,00000	1,000	Zrenjanin				
Nis	1,06326	0,220	Novi Sad	0,780	Zrenjanin		
Vranje	1,19481	1,000	Zrenjanin				
Kragujevac	1,00000	1,000	Kragujevac				
Cacak	1,00189	0,086	Novi Sad	0,914	Zrenjanin		
Jagodina	1,00000	1,000	Jagodina				
Valjevo	1,06215	0,367	Zrenjanin	0,080	Kragujevac	0,554	Jagodina
Loznica	1,23373	0,542	Zrenjanin	0,335	Kragujevac	0,122	Jagodina
Uzice	1,32625	0,672	Zrenjanin	0,146	Kragujevac	0,182	Jagodina
Krusevac	1,35942	0,304	Kragujevac	0,696	Jagodina		
Kraljevo	1,27668	0,565	Kragujevac	0,435	Jagodina		
Leskovac	1,76000	1,000	Zrenjanin				
Pozarevac	1,26750	0,348	Kragujevac	0,652	Jagodina		
Novi Pazar	1,11836	0,176	Zrenjanin	0,256	Kragujevac	0,568	Jagodina

The research shows that the USPTs in Nis, Vranje, Cacak, Valjevo, Loznica, Uzice, Krusevac, Kraljevo, Leskovac, Pozarevac and Novi Pazar are inefficient.

The USPT Nis received the efficiency evaluation $\theta^* = 1,06326$ and the standards: $\lambda_1 = 0,220$; $\lambda_3 = 0,780$ ($\lambda_3 > \lambda_1$). This means that the benchmarks for USPT are Nis, Novi Sad and Zrenjanin.

Based on the results given in Table 4, the following conclusions can be drawn:

- for inefficient USPT systems in Nis, Vranje, Cacak, Loznica, Uzice and Leskoavac the best benchmark is the third USPT system, i.e. the USPT system in Zrenjanin.

- for inefficient USPT systems in Valjevo, Krusevac, Pozarevac and Novi Pazar the best benchmark is the eighth USPT system, i.e. the USPT system in Jagodina and

- for inefficient USPT systems in Kraljevo the best benchmark is the sixth USPT system, i.e. the USPT system in Kragujevac.

The results of the Slack-based models show the boundary values of the input and output parameters for the inefficient systems of USPT.

For the USPT in Nis:

$$s_1^- = 37; s_2^- = 110; s_3^- = 437; s_1^+ = 5; s_2^+ = 18, s_3^+ = 17 \text{ and } s_4^+ = 24.$$

For the USPT in Vranje:

$$s_1^- = 0; s_2^- = 63; s_3^- = 175; s_1^+ = 31; s_2^+ = 33, s_3^+ = 15 \text{ and } s_4^+ = 45.$$

For the USPT in Cacak:

$$s_1^- = 15; s_2^- = 43; s_3^- = 259; s_1^+ = 0; s_2^+ = 11, s_3^+ = 7 \text{ and } s_4^+ = 7.$$

For the USPT in Valjevo:

$$s_1 = 0; s_2 = 0; s_3 = 32,1539; s_1^+ = 11,74502; s_2^+ = 4,97211, s_3^+ = 5,94422 \text{ and } s_4^+ = 5,62948.$$

For the USPT in Loznica:

$$s_1 = 0; s_2 = 0; s_3 = 89,88712; s_1^+ = 17,92696; s_2^+ = 14,25764, s_3^+ = 19,34861 \text{ and } s_4^+ = 27,23240.$$

For the USPT in Uzice:

$$s_1 = 0; s_2 = 0; s_3 = 143,27756; s_1^+ = 21,53254; s_2^+ = 32,44887, s_3^+ = 34,23108 \text{ and } s_4^+ = 33,48738.$$

For the USPT in Krusevac:

$$s_1^- = 0; \quad s_2^- = 1,86957; \quad s_3^- = 157,82609; \quad s_1^+ = 31,82609; \\ s_2^+ = 36,43478, \quad s_3^+ = 24,34783 \text{ and } s_4^+ = 21,56522.$$

For the USPT in Kraljevo:

$$s_1^- = 0; \quad s_2^- = 12,04348; \quad s_3^- = 209,39130; \quad s_1^+ = 32,39130; \\ s_2^+ = 31,52174, \quad s_3^+ = 15,21739 \text{ and } s_4^+ = 26,47826.$$

For the USPT in Leskovac:

$$s_1 = 8; \quad s_2 = 47; \quad s_3 = 137; \quad s_1^+ = 40; \quad s_2^+ = 38, \quad s_3^+ = 47 \text{ and } s_4^+ = 44.$$

For the USPT in Pozarevac:

$$s_1^- = 0; \quad s_2^- = 15,56522; \quad s_3^- = 181,08696; \quad s_1^+ = 31,08696; \\ s_2^+ = 15,78261, \quad s_3^+ = 24,82609 \text{ and } s_4^+ = 29,21739.$$

For the USPT in Novi Pazar:

$$s_1 = 0; \quad s_2 = 0; \quad s_3 = 77,73572; \quad s_1^+ = 13,18194; \quad s_2^+ = 8,28552, \\ s_3^+ = 11,40438 \text{ and } s_4^+ = 23,60292.$$

Based on the marginal values, it is necessary to implement a complete rationalisation of the inefficient USPT systems inputs. With such inputs, it is necessary to achieve outputs characterized by the output parameters of reliability (punctuality of arrival), the ride comfort, equipment and organization of the stations and staff friendliness and tidiness, greater than the value of the existing output margins. The benchmarks based on which the rationalisation of the input and output parameters of the inefficient USPTs is performed are shown in Table 4.

Conclusion

DEA methods of operational research are being increasingly used in the transportation sector, for the comparative analysis of efficiency of entities operating under similar conditions and using the same types of inputs to produce the same kind of outputs. In the case of quality efficiency evaluation of the USPT systems, the DEA method is acceptable as it simultaneously takes into account multiple inputs and outputs and objectively evaluates the relative efficiency.

In all the selected cities, a standard survey on a sample of 10% of the population using the USPT services was conducted. This means that the presented studies included the service quality in terms of: availability in space and time, services convenience of use and stability. The model

being open can include even greater number of parameters which would result in more objective assessment of the USPT service quality.

Based on the calculated performance the index value was made. The DMU division into relatively efficient and inefficient ones was performed based on the calculated value of the efficiency index. In addition to the relative efficiency of the USPT systems the DEA identified the benchmark with more efficient USPT which are examples of good operating practice for the inefficient DMU.

The DEA methodology application provides efficient input/output levels display for each inefficient unit with which it would become efficient. Successful implementation of this methodology certainly depends on the quality of the input data, a consistent choice of the input and output parameters used in calculations and requires a dynamic aspect of monitoring, i.e. evaluation of performance for years in a row.

References

- [1] Bailey, T. C., Munford, A. G., *Modelling a large, sparse spatial interaction matrix using data relating to a subset of possible flows*, European Journal of Operational Research, 3/1994, pp. 489-500.
- [2] Božanić, D., Pamučar, D., *Evaluating locations for river crossing using fuzzy logic*, Military Technical Courier (Vojnotehnički glasnik), Vol. 58, No. 1, pp. 129-145, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade, 2010.
- [3] Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, Y., Seiford, L. M., *Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications*, Kluwer Academic Publish, Boston, 1994.
- [4] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., *Measuring the efficiency of decision making units*, European Journal of Operational Research. 2/1978, pp. 429-444.
- [5] Chiclana, F., Herrera, F., Herrera-Viedma, E., Alonso, S., *Some induced ordered weighted averaging operators and their use for solving group decision-making problems based on fuzzy preference relations*, European Journal of Operational Research, 182/2007, pp. 383-399.
- [6] Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K., *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.
- [7] Đorović, B., Ljubojević, S., Dimić, S., *Optimizing transportation processes using the route model*, Military Technical Courier (Vojnotehnički glasnik), Vol. 53, No. 1, pp. 76-85, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade 2005.
- [8] Duygun, F. M., Jackson, P. M., Weyman-Jones, T. G., *Measuring the efficiency of European Airlines: An application of DEA and Tobit Analysis*, AM of the European Public Choice Society, Siena, 2000.
- [9] Farrell, M. J., *The Measurement of Productive Efficiency*, Journal of the Royal Statistical Society, 120/1957, pp. 253-281.
- [10] Gillen, D., Lall, A., *Developing measures of airport productivity and performance: an application of data envelopment analysis*, Transportation Research E: Logistics and Transportation Review, 4/1997, pp. 261-273.

- [11] Herrera, F., Herrera-Viedma, E., Martínez, L., *A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 16/2008, pp. 354-370.
- [12] Karlaftis, M.G., *A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems*, European Journal of Operational Research, 152/2004, pp. 354–364.
- [13] Kerstens, K., *Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies*, Transportation Research, 30/1996, pp. 431-452.
- [14] Liang, L., Wu, J., Cook, W. D., Zhu, J., *Alternative secondary goals in DEA cross efficiency evaluation*, International Journal of Production Economics, 113/2008, pp. 1025-1030.
- [15] Ljubojević, S., *Possibilities of implementation of contemporary traffic management systems in the defense system*, Military Technical Courier (Vojnotehnički glasnik), Vol. 55, No. 4, pp. 463-474, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade 2007.
- [16] Martínez, L., *Sensory evaluation based on linguistic decision analysis*, International Journal of Approximate Reasoning, 44/2007, pp. 148-164.
- [17] Oum, T. H., Yu, C., *Economic efficiency of railways and implications for public policy*, Journal of Transport Economics and Policy, 28/1994, pp. 121-138.
- [18] Parnučar, D., *Using fuzzy logic and neural networks during decision making proces in transport*, Military Technical Courier (Vojnotehnički glasnik), Vol. 58, No. 3, pp 125-143, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade 2010.
- [19] Seiford, L. M., *Sensitivity and stability of the classification of returns to scale in data envelopment analysis*, Journal of Productivity Analysis, 1/199, pp. 55-75.
- [20] Seiford, L. M., Zhu, J., *An acceptance system decision rule with data envelopment analysis*, Computers and Operations Research, 25/1998, pp. 329-332.
- [21] Sherman, D., Zhu, J., *Service Productivity Management: Improving service performance using data envelopment analysis (DEA)*, Springer, Boston, 1996.
- [22] Su, J. C. P., Rogers, M. M., *Using DEA to Examine Efficiency of National Transportation Systems*, 2005.
- [23] Thanassoulis, E., *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publisher, Boston, 2001.
- [24] Tone, K., Tsutsui, M., *Network DEA: A slacks-based measure approach*, European Journal of Operational Research, 197/2009, pp. 243-252.
- [25] Wei, Q. L., Sun, B., Xiao, Z. J., *Measuring Technical Progress With Data Envelopment Analysis*, European Journal of Operational Research, 80(3)/1995, pp. 691-702.
- [26] Wilkens, K., *Portfolio evaluation and benchmark selection: A mathematical programming approach*, Journal of Alternative Investments, 1/2001, pp. 9-19.
- [27] Yu, M. M., Fan, C. K., *Measuring the Cost Effectiveness of Multimode Bus Transit in the Presence of Accident Risks*, Transportation Planning and Technology, 5/2006, pp. 383-407.
- [28] Zhu, J., *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA excel solver*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.

FUZZY-DEA MODEL ZA MERENJE EFIKANOSTI KVALITETA
TRANSPORTNE USLUGE

OBLAST: matematika (operaciona istraživanja)

Rezime:

DEA pristup omogućava da se matematičkim programiranjem implicitno procenjuje odnos većeg broja ulaznih i izlaznih parametara uspešnosti. Rezultat toga je kvantifikacija efikasnosti poslovanja preduzeća i pružanje mogućnosti sagledavanja određenih nedostataka sa nivoa top menadžmenta. Nivoi efikasnosti određeni na osnovu istih parametara ovaj analitički proces čine objektivnim i omogućavaju da se na osnovu procene ukupne efikasnosti uspešno identifikuju primeri najbolje prakse. U radu je prikazan fuzzy-DEA model za ocenu efikasnosti sistema javnog gradskog i prigradskog prevoza. Fuzzy-DEA model omogućava uvid u trenutno stanje pružanja kvaliteta usluga sistema JGPP-a i daje predloge za unapređenje neefikasnih sistema JGPP-a do nivoa svojih najboljih standarda. Takva kvantifikacija omogućuje formiranje dugoročno stabilnog sistema JGPP-a. Pošto većinu prikupljenih podataka karakteriše visok stepen neizvesnosti, subjektivnosti i neodređenosti, za prikaz opisanih neizvesnosti i neodređenosti korišćena je fuzzy logika. Fuzzy lingvističkim deskriptorima opisani su izlazni parametri DEA modela. Na taj način fuzzy logikom omogućena je eksploatacija tolerancije koja postoji pri nepreciznosti, nejasnoći i parcijalnoj istinitosti dobijenih rezultata istraživanja.

Uvod

Značaj i uloga javnog gradskog i prigradskog prevoza putnika (JGPP) je nezamenjiva funkcija u životu svih građana, privrede i svih aktivnosti u gradu. Kvalitet prevozne usluge ovog sistema utiče na efikasnost svih proizvodnih, pratećih procesa i drugih aktivnosti ljudi u gradu. Uloga lokalnih vlasti u ovim procesima je ključna, jer one moraju da stvore uslove za dugoročan stabilan sistem JGPP-a. Pored toga, treba omogućiti da se sistem razvija u kontrolisanim uslovima koji će realizovati zahtevani kvalitet kao jedini pravi pokazatelj njegove uspešnosti. Sistem JGPP-a je delatnost koja angažuje velika sredstva uložena u resurse: vozila, zaposlene, objekte i opremu, energiju i slično, pa je za ekonomiju gradova i državu u celini od interesa da svako preduzeće JGPP-a efikasno funkcioniše i radi. Međutim, za gradove i državu daleko je veći interes kako obezbediti da ovaj sistem funkcioniše bolje, odnosno kako stvoriti uslove da se kvalitet prevozne usluge podigne na viši nivo i približi zahtevanom kvalitetu. Naime, delatnost javnog gradskog i prigradskog prevoza putnika nije profitabilna, jer nema standardne ekonomske karakteristike, pre svega zbog činjenice da se radi o javnoj usluzi. Nosioci delatnosti JGPP-a su javna preduzeća koja su u vlasništvu lokalnih ili regionalnih vlasti. U ovom slučaju, nedostajuća sredstva do nivoa cene koštanja – operativnih tekućih troškova poslovanja preduzeća i potrebnih finansijskih sredstava za razvoj obezbeđuju se pre svega subvencijama države.

Predmet rada je merenje postojeće efikasnosti zahtevanog kvaliteta usluge sistema JGPP gradova primenom fuzzy-DEA modela. Cilj rada je da se na osnovu DEA dobije uvid u trenutno stanje pružanja kvaliteta usluga sistema JGPP-a ali i davanje predloga unapređenja neefikasnih sistema JGPP-a do nivoa svojih najboljih standarda.

Relevantna literatura

Koncept DEA metodologije pruža mogućnost da se ova analiza koristi uspešno i u proizvodnim i u uslužnim organizacijama. Zbog svoje fleksibilnosti u primeni DEA je poslednjih godina motivacija mnogim autorima koji istražuju efikasnost saobraćaja.

Ideju merenja efikasnosti razvio je M. J. Farrell sredinom dvadesetog veka kada je koristio pristup nelinearne granice efikasnosti za merenje efikasnosti kao relativne udaljenosti od granice efikasnosti.

Značajno je pomenuti rad Su, J. C. P. i M. M. Rogers [22]. Ovaj rad bavi se istraživanjem višegodišnje saobraćajne efikasnosti zemalja koje su članice Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), koristeći analizu obavljanja podataka za određivanje ocena efikasnosti.

Pored istraživanja koje je sproveo Su, J. C. P. i M. M. Rogers, značajno je i istraživanje koje je sproveo Duygun Fethi, M., P. M. Jackson, i T. G. Weyman[8]. Rad je bio inspirisan pokretom liberalizacije u oblasti evropskog avio-saobraćaja koji je otpočeo krajem osamdesetih godina. Prema [14], u brojnim istraživanjima, a najviše Windle-a i Good-a poređena je efikasnost prevoznika i pokazano je da su avio-prevoznici na liberalnijem američkom tržištu efikasniji od svojih kolega na evropskom tržištu koje je strože uređeno.

Oum i Yu koristili su DEA da ocene efikasnosti u analizi uticaja određenih promenljivih veličina na efikasnost evropskih železnica [17]. U većini ovih istraživanja korišćena je procedura u dva koraka. U prvom koraku merile su se efikasnosti i raspodele efikasnosti po određenim periodima i donošenje mera, a u drugom je korišćen Tobit model s ciljem da se objasni uticaj opisnih parametara efikasnosti (parametara koji ne mogu da se kvantifikuju) na efikasnost poslovanja.

U narednom delu rada, polazeći od relevantnih teorijskih pristupa, razvijen je fuzzy-DEA model za merenje efikasnosti sistema JGPP-a. Navedeni model biće prikazan u narednom poglavlju rada.

Fuzzy-DEA model

Procesi planiranja saobraćaja, organizacije transporta i upravljanja saobraćajem i transportom povezani su sa donošenjem određenih odluka. U zavisnosti od konteksta problema u određenim slučajevima raspolaže se veoma preciznim ulaznim i izlaznim podacima. U takvim situacijama, uz pretpostavku postojanja adekvatnog modela koji donosi odluku pomaže u odlučivanju, mogu da se očekuju zadovoljavajuća rešenja koja proističu iz donete odluke. Međutim, često postoji nezvesnost podataka neophodnih za donošenje određenih odluka, često se odluke donose na osnovu iskustva, intuicije i subjektivne procene određenih parametara od strane donosioca odluke.

Potrebno je istaći da se subjektivne procene pojedinih saobraćajnih parametara razlikuju od putnika do putnika, od donosioca odluke do donosioca odluke. Samim tim u fazi matematičkog modeliranja saobraćajnih procesa čiji su parametri nedovoljno izvesni, neodređeni ili subjektivno procenjeni, neophodno je koristiti matematičke metode koje mogu na zadovoljavajući način da tretiraju neizvesnost, neodređenost ili subjektivnost.

Prilikom istraživanja kvaliteta prevozne usluge JGPP uočen je problem kvantifikacije izlaznih parametara: pouzdanost, komfor u vožnji, opremljenost i urednost stanica i ljubaznost i urednost osoblja.

Za kvantifikaciju navedenih parametara korišćena je teorija fuzzy skupova koja predstavlja najpogodniji matematički aparat za tretiranje neizvesnosti, subjektivnosti, višeznačnosti i neodređenosti.

Primena opisane metodologije

Merenje efikasnosti kvaliteta usluge sistema JGPP-a sprovedena je u šesnaest srednjih po veličini gradova u Srbiji (tabela 2). Na osnovu iskustava teorije i prakse i ujednačenosti metodologije prikupljanja i prezentovanja podataka izabrani su ulazno/izlazni pokazatelji (tabela 1).

Skup kriterijuma K_i ($i = 1, \dots, 7$) čine dva podskupa:

- K^+ – podskup kriterijuma benefiitnog tipa, veća vrednost kriterijuma poželjnija i
- K^- – podskup kriterijuma troškovnog tipa, manja vrednost poželjnija.

Vrednosti ulaznih i izlaznih parametara definisani su na osnovu istraživanja. Ulazni parametri su izvorno kvantifikovane promenljive i prezentovani su u tabeli 2.

Izlazni parametri su lingvističke promenljive koje su kvantifikovane primenom fuzzy logike. Ove vrednosti smatraju se odlukom grupe i predstavljaju kvantifikovane vrednosti izlaznih parametara efikasnosti kvaliteta pružanja usluge sistema JGPP-a (tabela 3).

Rezultati i diskusija

Rezultati primene Modela 1 dati su u tabeli 4.

Kao što je prikazano u tabeli 4, od šesnaest analiziranih sistema JGPP-a pet ispunjava i potreban i dovoljan uslov efikasnosti, odnosno imaju ocenu efikasnosti i sopstveni standard jednak jedinici, dok su svi ostali standardi $\lambda_j = 0$ za svako $j = 1, 2, 3, \dots, 16$.

Istraživanje je pokazalo da JGPP u Nišu, Vranju, Čačku, Valjevu, Loznici, Užicu, Kruševcu, Kraljevu, Leskovcu, Požarevcu i Novom Pazaru nije efikasan.

Za sistem JGPP u Nišu dobijena je ocena efikasnosti $\theta^* = 1,06326$ i standardi: $\lambda_1 = 0,220$; $\lambda_3 = 0,780$ ($\lambda_3 > \lambda_1$). To znači da su benchmarkovi za JGPP u Nišu JGPP u Novom Sadu i JGPP u Zrenjaninu.

Na osnovu rezultata koji su prikazani u tabeli 4 mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- za neefikasne sisteme JGPP-a u Nišu, Vranju, Čačku, Loznici, Užicu i Leskovcu najbolji benchmark je treći sistem JGPP-a, odnosno sistem

JGPP-a u Zrenjaninu;

– za neefikasne sisteme JGPP-a u Valjevu, Kruševcu, Požarevcu i Novom Pazaru najbolji benchmark je osmi sistem JGPP-a, odnosno sistem JGPP-a u Jagodini i

– za neefikasne sisteme JGPP-a u Kraljevu najbolji standard je šesti sistem JGPP-a, odnosno sistem JGPP-a u Kragujevcu.

Rezultati Slack-based modela pokazuju granične vrednosti ulaznih i izlaznih parametara za neefikasne sisteme JGPP-a.

Na osnovu dobijenih vrednosti margina neophodno je da neefikasni sistemi JGPP-a izvrše racionalizaciju svojih inputa. Sa takvim inputima neophodno je da ostvare outpute, koji su okarakterisani izlaznim parametrima Pouzdanost (tačnost nailaska vozila), Komfor u vožnji, Opremljenost i uređenost stanica i Ljubaznost i urednost osoblja, veće od postojećih za vrednosti izlaznih margina. Benchmark-ovi po ugledu na koje će neefikasni JGPP-ovi izvršiti racionalizaciju ulaznih i izlaznih parametara prikazani su u tabeli 4.

Zaključak

DEA metoda operacionih istraživanja sve više se koristi, u sektoru transporta, za komparativnu analizu efikasnosti entiteta koji rade pod sličnim uslovima i koriste iste vrste ulaza da bi proizveli iste vrste izlaza. U slučaju ocene efikasnosti kvaliteta sistema JGPP-a, DEA metoda je prihvatljiva jer istovremeno uzima u obzir više ulaza i izlaza i objektivno ocenjuje relativnu efikasnost.

U svim posmatranim gradovima sprovedena je standardna anketa na uzorku od 10% populacije grada koja koristi usluge sistema JGPP-a. To znači da su navedena istraživanja obuhvatila kvalitet usluge u smislu: pristupačnost u prostoru i vremenu, pogodnost usluge za korišćenje i stabilnost usluge. Pošto je model otvoren moguće je uključiti i veći broj parametara što bi rezultiralo objektivnijem merenju kvaliteta usluge sistema JGPP-a.

Na osnovu izračunate vrednosti indeksa efikasnosti izvršena je podela DMU-ova na relativno efikasne i neefikasne. Primenom DEA, pored relativne efikasnosti sistema JGPP-ova, identifikovani su benchmarkovi sa efikasnim sistemima JGPP-a, a koji pružaju primer dobre operativne prakse za neefikasni DMU.

Primenom DEA metodologije prikazani su efikasni ulazno/izlazni nivoi za svaku neefikasnu jedinicu sa kojima bi ona postala efikasna. Uspešna primena ove metodologije svakako zavisi od kvaliteta ulaznih podataka, usaglašenog izbora ulaznih i izlaznih parametara koji se koriste u kalkulacijama i zahteva dinamički aspekt posmatranja odnosno ocenu efikasnosti za više godina.

Ključne reči: Data Envelopment Analysis, fuzzy logic, javni gradski prevoz, kvalitet transporta.

Datum prijema članka: 08. 08. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 20. 08. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 22. 08. 2011.

EMULSIFICATION USING MICROPOROUS MEMBRANES

Vladislavjević T. Goran,
Chemical Engineering Department, Loughborough University,
United Kingdom,
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia

FIELD: Chemical Technology

Abstract:

Membrane emulsification is a process of injecting a pure dispersed phase or pre-emulsion through a microporous membrane into the continuous phase. As a result of the immiscibility of the two phases, droplets of the dispersed phase are formed at the outlets of membrane pores. The droplets formed in the process are removed from the membrane surface by applying cross-flow or stirring of the continuous phase or using a dynamic (rotating or vibrating) membrane. The most commonly used membrane for emulsification is the Shirasu Porous Glass (SPG) membrane, fabricated through spinodal decomposition in a melt consisting of Japanese volcanic ash (Shirasu), boric acid and calcium carbonate. Microsieve membranes are increasingly popular as an alternative to highly tortuous glass and ceramic membranes. Microsieves are usually fabricated from nickel by photolithography and electroplating or they can be manufactured from silicon nitride via Reactive Ion Etching (RIE). An advantage of microsieves compared to the SPG membrane is in much higher transmembrane fluxes and higher tolerance to fouling by the emulsion ingredients due to the existence of short, straight-through pores. Unlike conventional emulsification devices such as high-pressure valve homogenisers and rotor-stator devices, membrane emulsification devices permit a precise control over the mean pore size over a wide range and during the process insignificant amount of energy is dissipated as heat. The drop size is primarily determined by the pore size, but it depends also on other parameters, such as membrane wettability, emulsion formulation, shear stress on the membrane surface, transmembrane pressure, etc.

Key words: Membrane emulsification, microsieve, Shirasu Porous Glass (SPG) membrane.

Introduction

Conventional emulsification devices are high-pressure valve homogenisers, static mixers, and rotor-stator systems, such as colloid mills, stirred vessels, and toothed disc turbines [1]. In these devices, a preliminary

emulsified mixture, called pre-emulsion, is forced through a high-shear region near the rotor, or through valves, nozzles or baffles to promote mixing and turbulence and thereby to break up the large drops into smaller ones. This “top-down” approach does not allow a close control over the mean drop size and the drops are usually highly polydisperse. This is due to the exposure of the drops to variable shear and pressure fields, with very high shear rates near the rotor and negligible shear in “dead zones”. Over the past two decades new emulsification techniques have been developed for production of emulsions directly, without a pre-emulsification step, simply by injecting a dispersed phase through micro- channels, pores and nozzles. These “bottom-up” methods include membrane emulsification [2], ink-jet printing [3], microfluidic routes [4], and microchannel emulsification [5]. They can afford uniform drops of tuneable size, because the size of the drops is controlled by the size of the pores or channels, rather than by the size of the turbulent eddies or vortices which cannot be precisely controlled. This paper reviews the latest developments in formation of emulsions using microporous membranes.

Membrane emulsification (ME)

Membrane emulsification is a process that forms emulsion by injecting a pure dispersed phase or pre-emulsion through a microporous membrane into the continuous phase. Operating methods and systems for ME are described schematically in Fig. 1.

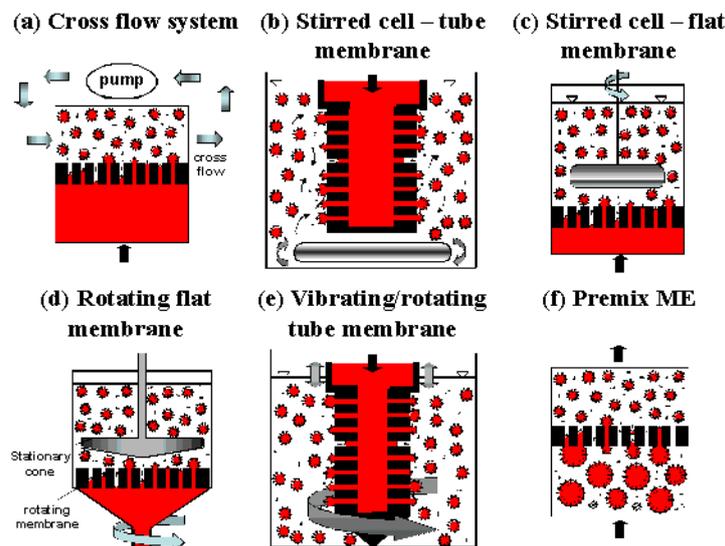


Figure 1 – Typical operating methods for membrane emulsification (ME).
Slika 1 – Tipični načini izvođenja membranskog emulgovanja (ME).

Direct Membrane Emulsification (ME)

In direct ME shown in Figs. 1(a)-(e), droplets are produced *in situ* by injecting a pure liquid (the dispersed phase) through the membrane into a second immiscible liquid (the continuous phase) [2]. Hydrophobic and hydrophilic membranes are needed to produce water-in-oil (W/O) and oil-in-water (O/W) emulsions, respectively. At low production rates, droplets can be formed in the absence of any shear, solely by the action of interfacial tension [6, 7]. At small interpore distances "push-off" force as a result of droplet-droplet interactions on the membrane surface may assist in droplet detachment [8]. In order to obtain uniform droplets at higher throughputs, a shear stress is generated on the membrane surface. The size of the drops formed under shear stress on the membrane surface is a result of interplay between interfacial tension force, viscous force in the pores due to flow of the dispersed phase and drag force arising from a movement of the continuous phase relative to the drop surface. Shear stress on the membrane surface is usually generated using a cross-flow pump (Fig. 1 a) [1] or a stirrer (Figs. 1b and 1c) [9]. Cross-flow ME systems usually employ a tubular glass, ceramic or metallic membrane. The continuous phase flows inside the membrane tube, whereas the pressurised dispersed phase permeates across the membrane wall radially, from the shell side to the tube side [10]. To further increase the throughput, the continuous phase can be introduced into the membrane tube radially, thereby forming spiral streamlines in the axial direction that exert a strong centrifugal force on the inner surface of the membrane ("swirl flow") [11]. Cross-flow systems are easy to scale up and offer a constant shear rate along the membrane surface. On the other hand, stirring systems are easier to operate and a batch volume can be very small, just 10 mL, which can be advantageous for some medical applications, e.g. preparation of emulsions loaded with anticancer drugs [12].

The shear stress can also be generated by a dynamic membrane shown in Figs. 1(d) and (e), in which case the droplet detachment from the membrane surface is facilitated by rotating [13-14] or vibrating [15-16] the membrane within the otherwise static continuous phase. In a dynamic membrane system, the shear on the membrane surface is decoupled from the cross-flow velocity. Cross flow of the continuous phase is only used to carry droplets away from the module and not to provide a surface shear. The shear is controlled by the rotational speed or the frequency and amplitude of the membrane. Thus, very low cross-flow velocities can be used and recirculation of the product stream is not necessary, which is useful to prevent secondary break-up of large droplets. Kosvintsev et al. [17] modified a commercial Weissenberg 'plate and cone' rheometer by replacing a normally impervious plate underneath the cone with the

membrane and permitting the injection of the dispersed phase from underneath the membrane under constant shear-stress condition (Fig. 1d). It has been shown that the simple paddle-stirred cell (Fig. 1c) with a non-uniform shear profile on the membrane surface provides the same degree of drop size uniformity as the modified Weissenberg rheometer with a constant shear-stress operation [17]. Because of that, the modified Weissenberg rheometer was abandoned as a drop generation device and a simple paddle-stirred cell has become increasingly popular as a viable alternative to cross-flow ME systems. Membrane vibration through piezo-actuation has been first applied by Zhu and Barrow [15] to provide extra control over droplet detachment in cross-flow ME. Holdich et al. [16] have introduced a vibrating tubular membrane system to control drop generation without any cross flow.

Premix Membrane Emulsification (ME)

In premix ME shown in Fig. 1(f), fine droplets are produced by passing a pre-emulsion through the membrane [18] or the porous bed of uniform particles [19]. If the membrane surface is wetted by the dispersed phase of the original emulsion, a phase inversion can occur during the process, leading to the formation of a W/O emulsion from an O/W pre-mix or *vice versa* [20]. Another important factor for the operation of the process is the pressure difference across the membrane. If the pressure difference is lower than the capillary pressure in a pore, the droplet cannot penetrate the pore, which leads to demulsification [21] rather than homogenization of the pre-emulsion. In order to achieve additional droplet size reduction and improve droplet size uniformity, the emulsion can repeatedly be passed through the same membrane, usually up to 5 times [22–25]. Repeated membrane homogenisation was originally developed for homogenisation of large multilamellar and unilamellar lipid vesicles using track-etch polycarbonate membranes [26]. An overview of the droplet break-up mechanisms and governing process parameters in premix ME has been provided by Nazir et al. [27].

Choice of membrane for ME

The Shirasu Porous Glass (SPG) membrane is the earliest and most common membrane for ME, manufactured from the $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ mother glass through phase separation by spinodal decomposition [1, 28–29]. The mother glass is prepared by mixing and melting Shirasu, calcium carbonate, and boric acid. Shirasu is a Japanese volcanic ash deposit from the southern Kyushu containing about 77%

SiO_2 and 10–15% Al_2O_3 in addition to minor amounts of other inorganic oxides. After the mother glass is formed into tubes, it is treated at 650–750 °C for the period ranging from several hours to several tens of hours. This heat treatment causes the phase separation of the homogeneous glass melt into the acid-insoluble Al_2O_3 – SiO_2 phase and the acid-soluble Na_2O – CaO – MgO – B_2O_3 phase, as shown in Fig. 2. The phase separated glass is then immersed into a hydrochloric acid solution to dissolve the Na_2O – CaO – MgO – B_2O_3 phase, which results in the formation of a porous Al_2O_3 – SiO_2 skeleton with a typical porosity of 50–60%. If the volume percent of the acid soluble phase is outside the above range, separation may take place by the nucleation and growth mechanism leading to the formation of discrete spherical particles of one phase surrounded by a continuous matrix of the other.

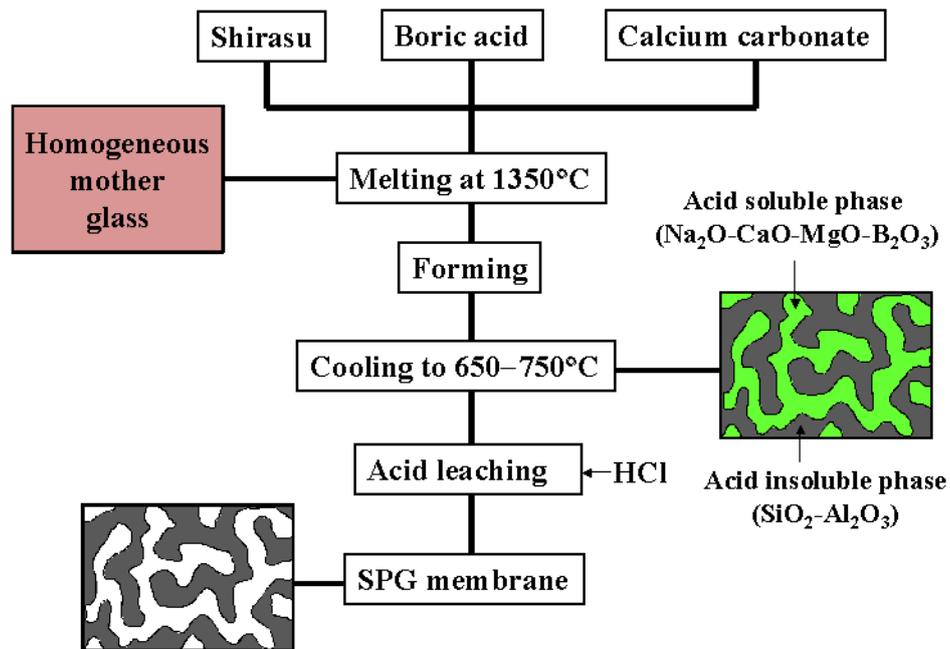


Figure 2 – Fabrication of the Shirasu Porous Glass (SPG) membrane.
Slika 2 – Dobijanje membrane od Shirasu poroznog stakla (SPG)

The SPG membrane has a uniform internal structure with no voids or cracks [30] and is commercially available with a wide range of mean pore sizes (0.050–20 μm) [6]. The surface of the SPG membrane can be rendered hydrophobic by a chemical modification with organosilane compounds [31] or by a physical coating process with silicone resin [32]. The SPG can

also be made with thermoresponsive hydrophilic-hydrophobic surface properties via the layer-by-layer deposition of silica nanoparticles and grafting poly(N-isopropylacrylamide) (PNIPAM) brushes on the particle surfaces [33]. A hydraulic resistance of the SPG membrane is relatively high due to the high wall thickness of around 100 μm , but it can be reduced by making the membrane structure asymmetric [34]. The SPG has a higher water tolerance than the VYCOR[®] porous glass due to a higher Al_2O_3 content (10–15% as compared to 0.5% of the Vycor glass). The chemical durability of the SPG against alkaline solutions is relatively poor, but can be improved by incorporating ZrO_2 into the glass skeleton [35]. The alkali resistance of the SPG membrane containing 3 mol% ZrO_2 in the mother glass is about 3.5 times higher than that of the conventional SPG membrane [35].

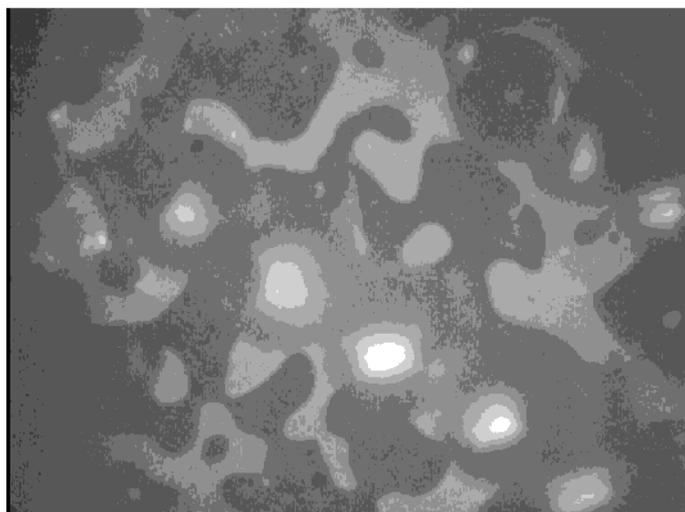


Figure 3 – Uniform droplets formed in direct ME using the SPG membrane
Slika 3 – Uniformne kapi dobijene direktnim ME primenom SPG membrane

The formation of uniform oil droplets on the surface of the PG membrane is shown in Fig. 3. In direct ME, the mean droplet size is 3–4 times larger than the mean pore size of the SPG membrane and a relative span of droplet size distribution is in the range of 0.25–0.45 [36]. A disadvantage of direct ME using the SPG membrane is that the transmembrane flux should be maintained at relatively low levels (10–100 $\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$) to avoid transition from dripping to a continuous outflow regime. Uniformly sized droplets can only be formed in the dripping regime [37–38].

In the past 10 years, microsieve membranes are increasingly being used in ME to obtain high transmembrane fluxes at low transmembrane

pressures [39]. Microsieves are microfiltration membranes manufactured by semiconductor fabrication methods [40]. Typical microsieves used for ME are Aquamarijn™ sieves fabricated in silicon nitride by reactive ion etching [41-43], nickel microsieves formed by electroplating (Stork Veco BV, NL and Micropore Technologies Ltd, UK [44-45, 7]) and stainless steel microsieves with laser drilled pores (Disperse Technologies Ltd, UK [46]). Because microsieves are ultra-thin foils with straight-through pores and a very low internal pore area, they are less prone to fouling by emulsion ingredients than highly tortuous SPG membranes. It is especially an important issue in pre-mix ME, because a whole emulsion, rather than a pure dispersed phase, is injected through the membrane.

The LIGA process (German acronym for *Lithographie, Galvanoformung, Abformung*, which means Lithography, Electroplating, and Molding) was originally developed in the early 1980s at the Karlsruhe Research Center (*Forschungszentrum Karlsruhe*). As shown in Fig. 4a, the UV-LIGA process consists of three main steps: UV lithography (UVL), membrane nickel electroforming and membrane release. The UVL starts with spin coating of positive photoresist on a flat conducting metal substrate. If the substrate is not electrically conductive, it should be coated with a thin layer of conductive material, such as gold. The photoresist is exposed to UV light through a mask that determines the geometry of the pores. The photoresist is then developed in a developer to remove the exposed parts of the photoresist, rinsed in deionised water and dried. The sieve is then electroformed in a nickel electrolytic plating bath to deposit a nickel film in the voids left by the removed photoresist. The nickel foil will be perforated at the regions on the substrate masked by the photoresist. Starting from a particular size of the photoresist areas on the substrate, the final perforation diameter can be adjusted as small as desired by nickel overgrowth over the masked areas in the electroplating operation. The membrane is released from the substrate by submerging in water and applying ultrasound. A pure nickel membrane is inherently hydrophobic, but can be made hydrophilic by a treatment with a wetting agent. Nickel microsieves can be produced with a variety of different pore shapes, including slotted pores [47].

The process used for fabrication of Aquamarijn® microsieves is described in Fig. 4b. It consists of four main steps: chemical vapour deposition (CVD) of a silicon nitride film on a silicon substrate, photolithography, reactive ion etching (RIE) of the silicon nitride film, and anisotropic wet etching of the silicon substrate. First, a layer of silicon nitride is deposited on the surface of a single crystal silicon substrate by CVD. This layer is formed by a reaction between dichlorosilane (SiH_2Cl_2) and ammonia (NH_3) at elevated temperatures and low pressures. A positive photoresist is then applied to the surface of the silicon nitride film and exposed to the

UV light through a mask. After the exposure, the photoresist is developed in a dilute NaOH solution to remove the exposed photoresist and form the photoresist mask having a pattern of openings. The silicon nitride exposed in these openings is etched by CHF_3/O_2 reactive ion etching (RIE) to form a pattern of pores corresponding in locations to the openings in the photoresist film. After dry etching of silicon nitride, the silicon underneath the membrane is etched by anisotropic wet etching using a KOH solution. Finally, the microsieve is treated with air plasma to grow a hydrophilic silicon dioxide layer on the membrane surface.

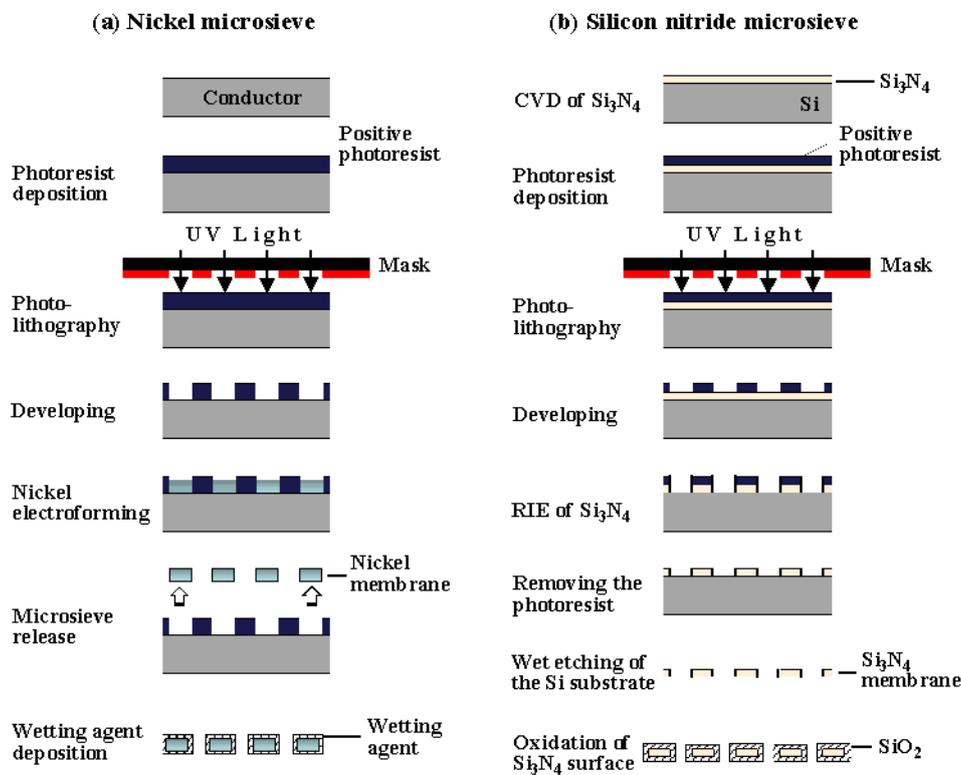


Figure 4 – Fabrication of microsieve membranes.
Slika 4 – Dobijanje membrana od mikrosita.

Precision pores suitable for ME can also be made by pulsed laser drilling of stainless steel [14, 46]. A focused laser beam can melt and vaporise a small area of the material to produce micropores. Pulsed lasers need to be used to prevent heating up of the surroundings of the intended pore.

Governing operating parameters in ME

The effect of operating parameters on the droplet size in direct ME has been the subject of several reviews [48-53]. The major factors affecting the droplet size are microstructure and wetting properties of the membrane (pore size distribution, pore geometry, pore spacing and tortuosity), but other parameters also play an important role, such as transmembrane flux, shear stress on the membrane surface, viscosities of the continuous and dispersed phase, choice of surfactants, emulsion formulation, etc. The droplet size in ME has been predicted analytically, using several force balance and torque balance models [54-58], and computationally, using the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations [54, 59-60] and the Surface Evolver software [61-62].

Surfactant type

The role of surfactants in ME is to rapidly adsorb to the newly formed oil-water interface to facilitate the droplet detachment and stabilise the forming droplet by reducing the interfacial tension. The effect of dynamics of adsorption of surfactants at the liquid-liquid interface on a droplet size has been studied by several researchers [10, 61, 63]. As a rule, the faster the emulsifier molecules adsorb to the newly formed interface, the smaller the droplet size of the resultant emulsion becomes. Surfactant molecules should not adsorb to the membrane surface, since otherwise the membrane can become fouled by the surfactant molecules or the dispersed phase can spread on the membrane surface. The effect of the emulsifier charge on droplet formation has been investigated by Nakashima et al. [64] for the SPG membrane and by Kobayashi et al. [65] for silicon microsieves. It has been found that surfactant molecules must not have the charge opposite to that of the membrane surface. An untreated SPG membrane has a negative surface potential of -15 to -35 mV in an aqueous solution at pH 2-8, due to dissociation of acidic silanol groups ($\text{Si-OH} \rightleftharpoons \text{SiO}^- + \text{H}^+$). Hence, for this case, the use of cationic emulsifiers such as alkyl-substituted quaternary ammonium salts must be avoided. The same conclusion is valid for hydrophilic silicon microsieves, which also contain silanol groups on the surface. Zwitterionic surfactants are also unsuitable, even when they carry a net negative charge. For example, an SPG membrane can become fouled by lecithin at pH 3 due to electrostatic interactions between positively charged groups (e.g. $-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$ or $-\text{NH}_3^+$) on the lecithin molecules and negatively charged silanol groups on the SPG membrane, although at pH 3 the net charge of lecithin molecules is negative [66]. Consequently, positively charged surfactants cannot be used in conjunction with SPG mem-

branes and silicon microsieves. One solution to this limitation is to prepare emulsion first using nonionic or anionic surfactant and then to displace this surfactant by the surfactant with positively charged groups using the surfactant-displacement method [67].

Transmembrane pressure and wall shear stress

The minimum transmembrane pressure for driving the dispersed phase through the pores is known as the capillary pressure P_{cap} , and is given by the Laplace equation:

$$P_{cap} = \frac{4\gamma \cos\theta}{d_p} \tag{1}$$

where γ is the equilibrium interfacial tension at the liquid-liquid interface, θ is the contact angle at the interfacial line between the two liquid phases and the membrane surface, and d_p is the mean pore diameter of the membrane. The capillary pressure in premix ME is given by [68]:

$$P_{cap} = \frac{\gamma [2 + 2a^6 / \sqrt{2a^6 - 1} \times \arccos(1/a^3) - 4a^2]}{a + \sqrt{a^2 - 1}} \tag{2}$$

where $a = d_1/d_p$ and d_1 is the mean droplet size in the pre-emulsion. If $d_1/d_p \gg 1$, e.g. for very large droplets, the capillary pressure is given by Eq. (1). In premix ME, the optimum transmembrane pressure is typically 10–50 times greater than the capillary pressure [23]. In direct ME using the SPG membrane, the transmembrane pressure is up to $8P_{cap}$ and the wall shear stress is 2–40 Pa [37]. The higher the shear stress on the membrane surface, the higher the maximum pressure that can be applied to obtain uniform droplets. The shear stress on the membrane surface in a cross-flow system with a tubular membrane is [69]:

$$\tau = (d_i / 4)(\Delta p_f / L) \tag{3}$$

where d_i is the inner diameter of the membrane tube and Δp_f is the pressure drop for overcoming friction resistance in the membrane tube over a length L . In the case of laminar flow inside the membrane tube ($Re_t < 2300$), Eq. (3) is simplified to: $\tau = 8\eta_c v_i / d_i$, where v_i is the mean velocity of the continuous phase inside the membrane tube and η_c is the viscosity of the continuous phase. In the case of a turbulent flow, Eq. (3) has the form:

$$\tau = \lambda(\rho_c v_i^2 / 8) \tag{4}$$

where ρ_c is the density of the continuous phase and λ is the friction factor, which is at $2,500 < Re_t < 100,000$ given by the Blasius equation:

$$\lambda = 0.3164 Re_t^{-0.25} \quad (5)$$

In ME using a stirred cell with a simple paddle stirrer, the shear stress on the membrane surface varies with the radial distance r from the stirrer axis, according to the equations [70]:

$$\text{For } r < r_{trans} \quad \tau = 0.825 \eta_c \omega r \frac{1}{\delta} \quad (6)$$

$$\text{For } r > r_{trans} \quad \tau = 0.825 \eta_c \omega r_{trans} \left(\frac{r_{trans}}{r} \right)^{0.6} \frac{1}{\delta} \quad (7)$$

where δ is the boundary layer thickness, ω is the angular velocity of the stirrer, and r_{trans} is the transitional radius, i.e. the radial distance at which the shear stress is greatest:

$$r_{trans} = 1.23 \frac{D}{2} \left(0.57 + 0.35 \frac{D}{C} \right) \left(\frac{b}{C} \right)^{0.036} n_b^{0.116} \frac{Re_c}{1000 + 1.43 Re_c} \quad (8)$$

where D is the stirrer diameter, C is the cell diameter, b is the blade height, n_b is the number of impeller blades, and Re_c is the Reynolds number given by $\omega \rho_c D^2 / (2\pi \eta_c)$.

Conclusions

Microengineering "bottom-up" strategies for emulsion formation offer a great potential in manufacturing droplets of a controlled size in a gentle manner. Membrane emulsification involves injecting a pure dispersed phase or pre-emulsion through a microfiltration membrane into the continuous phase. In order to ensure droplet detachment from the membrane surface, a shear stress is generated on the membrane surface by agitating or recycling the continuous phase in the static membrane system or vibrating/rotating the membrane in an otherwise static continuous phase. In principle, any microporous membrane can be used, but the majority of investigations have been done using the Shirasu Porous Glass (SPG) membrane and metal microsieves. The advantage of using microsieve membranes is in much higher transmembrane fluxes that can be achieved and their straight pores with a low internal surface area that do not easily become fouled by the emulsion constituents.

Acknowledgment

The research work of G.T. Vladisavljević in membrane emulsification was sponsored by the Humboldt Foundation, The Fulbright Commission, the Japan Society of for the Promotion of Science (JSPS) (Invitation and Postdoctoral Fellowship) and the Royal Society. The support of these funding organisations is greatly appreciated.

References

- [1] Karbstein, H. and Schubert H. (1995) 'Developments in the continuous mechanical production of oil-water macro-emulsions', *Chem. Eng. Process.*, 34: 205-211.
- [2] Nakashima T., Shimizu M. and Kukizaki, M. (1991) 'Membrane emulsification by microporous glass', *Key Eng. Mater.*, 61-62: 513-516.
- [3] Lub, J., Nijssen, W. P. M., Pikkemaat, J. A. and Stapert, H. R. (2006) 'Preparation of monodisperse polymer particles and capsules by ink-jet printing', *Colloid. Surf. A*, 289: 96-104.
- [4] Teh, S. Y., Lin, Hung, L. H. and Lee, A. P. (2008) 'Droplet microfluidics', *Lab Chip*, 8: 198-220.
- [5] Kawakatsu, T., Kikuchi, Y. and Nakajima, M. (1997) 'Regular-sized cell creation in microchannel emulsification by visual microprocessing method', *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 74: 317-321.
- [6] Kukizaki, M. (2009) 'Shirasu porous glass (SPG) membrane emulsification in the absence of shear flow at the membrane surface: Influence of surfactant type and concentration, viscosities of dispersed and continuous phases, and transmembrane pressure', *J. Membr. Sci.*, 327: 234-243.
- [7] Kosvintsev, S. R., Gasparini, G. and Holdich, R. G. (2008) 'Membrane emulsification: Droplet size and uniformity in the absence of surface shear', *J. Membr. Sci.*, 313: 182-189.
- [8] Egidi, E., Gasparini, G., Holdich, R. G., Vladisavljević, G. T. and Kosvintsev, S. R. (2008) 'Membrane emulsification using membranes of regular pore spacing: Droplet size and uniformity in the presence of surface shear', *J. Membr. Sci.*, 323: 414-420.
- [9] Dragosavac, M. M., Sovilj, M. N., Kosvintsev, S. R., Holdich, R. G. and Vladisavljević, G. T. (2008) 'Controlled production of oil-in-water emulsions containing unrefined pumpkin seed oil using stirred cell membrane emulsification', *J. Membr. Sci.* 322: 178-188.
- [10] Schröder, V., Behrend, O. and Schubert H. (1998) 'Effect of dynamic interfacial tension on the emulsification process using microporous, ceramic membrane', *J. Colloid Interface Sci.*, 202: 334-340.
- [11] Shimoda, M., Miyamae, H., Nishiyama, K., Yuasa, T., Noma, S. and Igura, N. (2011) 'Swirl-flow membrane emulsification for high throughput of dispersed phase flux through Shirasu porous glass (SPG) membrane', *J. Chem. Eng. J.*, 44: 1-6.

- [12] Higashi, S. and Setoguchi, T. (2000) 'Hepatic arterial injection chemotherapy for hepatocellular carcinoma with epirubicin aqueous solution as numerous vesicles in iodinated poppy-seed oil microdroplets: clinical application of water-in-oil-in-water emulsion prepared using a membrane emulsification technique', *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 45: 57-64.
- [13] Schadler, V. and Windhab, E. J. (2004) 'Kontinuierliches Membran-Emulgieren mittels rotierender Mikromembranen mit definierten Porenabständen', *Chem. Ing. Tech.*, 76: 1392-1392.
- [14] Vladisavljević, G. T. and Williams, R. A. (2006) 'Manufacture of large uniform droplets using rotating membrane emulsification', *J. Colloid Interface Sci.*, 299: 396-402.
- [15] Zhu, J. and Barrow, D. (2005) 'Analysis of droplet size during crossflow membrane emulsification using stationary and vibrating micromachined silicon nitride membranes', *J. Membr. Sci.*, 261: 136-144.
- [16] Holdich, R. G., Dragosavac, M. M., Vladisavljević, G. T. and Kosvintsev, S. R. (2010) 'Membrane emulsification with oscillating and stationary membranes', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49: 3810-3817.
- [17] Kosvintsev, S. R., Gasparini, G., Holdich, R. G., Cumming, I. W. and Stillwell, M. T. (2005) 'Liquid-liquid membrane dispersion in a stirred cell with and without controlled shear', *Ing. Eng. Chem. Res.*, 44: 9323-9330.
- [18] Suzuki, K., Shuto, I. and Hagura, Y. (1996) 'Characteristics of the membrane emulsification method combined with preliminary emulsification for preparing corn oil-in-water emulsions', *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, 2: 43-47.
- [19] Yasuda, M., Goda, T., Ogino, H., Glomm, W.R. and Takayanagi, H. (2010) 'Preparation of uniform monomer droplets using packed column and continuous polymerization in tube reactor', *J. Colloid Interface Sci.*, 349: 392-410.
- [20] Suzuki, K., Fujiki, I. and Hagura, Y. (1999) 'Preparation of high concentration of O/W and W/O emulsions by the membrane phase inversion emulsification using PTFE membranes', *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, 5: 234-238.
- [21] Koltuniewicz, A. B., Field, R. W. and Arnot T. C. (1995) 'Cross-flow and dead-end microfiltration of oily-water emulsion. Part I: Experimental study and analysis of flux decline', *J. Membr. Sci.*, 102: 193-207.
- [22] Altenbach-Rehm, J., Schubert, H. and Suzuki, K. (2002) 'Premix-Membranemulgieren mittels hydrophiler und hydrophober PTFE-Membranen zur Herstellung von OMW-Emulsionen mit enger Tropfengrößenverteilung', *Chem. Ing. Tech.*, 74: 587-588.
- [23] Vladisavljević, G. T., Shimizu, M. and Nakashima, T. (2004b) 'Preparation of monodisperse multiple emulsions at high production rates by multi-stage premix membrane emulsification', *J. Membr. Sci.*, 244: 97-106.
- [24] Vladisavljević, G. T., Shimizu, M. and Nakashima, T. (2006a) 'Production of multiple emulsions for drug delivery systems by repeated SPG membrane homogenization: Influence of mean pore size, interfacial tension and continuous phase viscosity', *J. Membr. Sci.*, 284: 373-383.
- [25] Vladisavljević, G. T., Surh, J. and McClements, D. J. (2006b) 'Effect of emulsifier type on droplet disruption in repeated Shirasu porous glass membrane homogenization', *Langmuir*, 22: 4526-4533.

- [26] Olson, F., Hunt, C. A. and Szoka, F. C. (1979) 'Preparation of liposomes of defined size distribution by extrusion through polycarbonate membranes', *Biochim. Biophys. Acta*, 557: 9-23.
- [27] Nazir, A., Schroën, K. and Boom, R. (2010) 'Premix emulsification: A review', *J. Membr. Sci.*, 362: 1-11.
- [28] Nakashima T. and Shimizu M. (1986) 'Porous glass from calcium aluminoboro-silicate glass', *Ceramics Japan*, 21: 408-412.
- [29] Kukizaki, M. and Nakashima, T. (2004) 'Acid leaching process in the preparation of porous glass membranes from phase-separated glass in the $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ system', *Membrane*, 29: 301-308.
- [30] Vladisavljević, G. T., Kobayashi, I., Nakajima, M., Williams, R. A., Shimizu, M. and Nakashima, T. (2007) 'Shirasu Porous Glass membrane: Characterisation of microstructure by high resolution x-ray microtomography and visualisation of droplet formation in real time', *J. Membr. Sci.*, 302: 243-253.
- [31] Kukizaki, M. and Wada, T. (2008) 'Effect of the membrane wettability on the size and size distribution of microbubbles formed from Shirasu-porous-glass (SPG) membranes', *Colloid Surf A*, 317: 146-154.
- [32] Vladisavljević, G. T., Shimizu, M. and Nakashima, T. (2005) 'Permeability of hydrophilic and hydrophobic Shirasu-porous-glass (SPG) membranes to pure liquids and its microstructure', *J. Membr. Sci.*: 250, 69-77.
- [33] Meng, T., Xie, R., Chen, Y. C., Cheng, C. J., Li, P. F., Ju, X. J. and Chu, L. Y. (2010) 'A thermo-responsive affinity membrane with nano-structured pores and grafted poly(N-isopropylacrylamide) surface layer for hydrophobic adsorption', *J. Membr. Sci.*, 349: 258-267.
- [34] Kukizaki, M. and Goto, M. (2007a) 'Preparation and characterization of a new asymmetric type of Shirasu porous glass (SPG) membrane used for membrane emulsification', *J. Membr. Sci.*, 299: 190-199.
- [35] Kukizaki, M. (2010) 'Large-scale production of alkali-resistant Shirasu porous glass (SPG) membranes: Influence of ZrO_2 addition on crystallization and phase separation in $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ glasses; and alkali durability and pore morphology of the membranes', *J. Membr. Sci.*, 360: 426-435.
- [36] Vladisavljević, G. T. and Schubert, H. (2002b) 'Preparation and analysis of oil-in-water emulsions with a narrow droplet size distribution using Shirasu-porous-glass (SPG) membranes', *Desalination*, 144: 167-172.
- [37] Vladisavljević, G. T., Lambrich, U., Nakajima M. and Schubert H. (2004a) 'Production of O/W emulsions using SPG membranes, ceramic $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ membranes, microfluidizer and a microchannel plate: a comparative study', *Colloid Surf. A*, 232: 199-207.
- [38] Vladisavljević, G. T. and Schubert, H. (2003b) 'Influence of process parameters on droplet size distribution in SPG membrane emulsification and stability of prepared emulsion droplets', *J. Membr. Sci.*, 225: 15-23.
- [39] Wagdare, N. A., Marcelis, A. T. M., Ho, O. B., Boom, R. M. and van Rijn, C. J. M. (2010) 'High throughput vegetable oil-in-water emulsification with a high porosity micro-engineered membrane', *J. Membr. Sci.*, 347: 1-7.

- [40] Brans, G., Kromkamp, J., Pek, N., Gielen, J., Heck, J., van Rijn, C. J. M., van der Sman, R. G. M., Schroën, C.G.P.H. and Boom, R. M. (2006) 'Evaluation of microsieve membrane design', *J. Membr. Sci.*, 278: 344–348.
- [41] Abrahamse, A. J., van Lierop, R., van der Sman, R. G. M., van der Padt, A. and Boom, R. M. (2002) 'Analysis of droplet formation and interactions during cross-flow membrane emulsification', *J. Membr. Sci.*, 204: 125–137.
- [42] van Rijn, C., van der Wekken, M., Nijdam, W. and Elwenspoek, M. (1997) 'Deflection and maximum load of microfiltration membrane sieves made with silicon micromachining', *J. Microelectromech. Syst.*, 6: 48–54.
- [43] Kuiper, S., van Rijn, C. J. M., Nijdam, W. and Elwenspoek, M. C. (1998) 'Development and applications of very high flux microfiltration membranes', *J. Membr. Sci.*, 150: 1–8.
- [44] Nazir, A., Schroën, K. and Boom, R. (2011) 'High-throughput premix membrane emulsification using nickel sieves having straight-through pores', *J. Membr. Sci.*, in press.
- [45] Schädler, V. and Windhab, E. J. (2006) 'Continuous membrane emulsification by using a membrane system with controlled pore distance', 189: 130–135.
- [46] Dowding, P. J., Goodwin, J. W. and Vincent, B. (2001) 'Production of porous suspension polymer beads with a narrow size distribution using a cross-flow membrane and a continuous tubular reactor', *Colloid. Surf. A*, 180: 310–309.
- [47] Holdich, R., Kosvintsev, S., Cumming, I. and Zhdanov, S. (2006) 'Pore design and engineering for filters and membranes', *Phil. Trans. R. Soc. A*, 364: 161–174.
- [48] Joscelyne, S. M. and Trägårdh, G. (2000) 'Membrane emulsification – a literature review', *J. Membr. Sci.*, 169: 107–117.
- [49] Rayner, M. and Trägårdh, G. (2002) 'Membrane emulsification modelling: how can we get from characterisation to design?', *Desalination*, 145: 165–172.
- [50] Charcosset, C., Limayem, I. and Fessi H. (2004) 'The membrane emulsification process - a review', *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 79: 209–218.
- [51] Lambrich, U. and Vladisavljević, G. T. (2004) 'Emulsification using microstructured systems', *Chem. Ing. Tech.*, 76: 376–383.
- [52] Gijbetsen-Abrahamse, A. J., Van der Padt, A. and Boom, R. M. (2004) 'Status of cross-flow membrane emulsification and outlook for industrial application', *J. Membr. Sci.*, 230: 149–159.
- [53] Yuan, Q., Williams, R. A. and Aryanti, N. (2010) 'Innovations in high throughput manufacturing of uniform emulsions and capsules', *Adv. Powder Tech.*, 21: 599–608.
- [54] Timgren, A., Trägårdh, G. and Trägårdh, C. (2010) 'A model for drop size prediction during cross-flow emulsification', *Chem. Eng. Res. Des.*, 88: 229–238.
- [55] De Luca, G., Di Maio, F. P., Di Renzo, A. and Drioli, E. (2008) 'Droplet detachment in cross-flow membrane emulsification: comparison among torque- and force-based models', *Chem. Eng. Process.*, 47: 1150–1158.

- [56] Christov, N. C., Danov, K. D., Danova, D. K. and Kralchevsky, P. A. (2008) 'The drop size in membrane emulsification determined from the balance of capillary and hydrodynamic forces', *Langmuir*, 24: 1397-1410.
- [57] Williams, R. A., Peng, S. J., Wheeler, D. A., Morley, N. C., Taylor, D., Whalley, M. and Houldsworth, D. W. (1998) 'Controlled production of emulsions using a crossflow membrane', *Chem. Eng. Res. Des.*, 76 A: 902-910.
- [58] Hao, D. X., Gong, F. L., Hu, G. H., Zhao, Y. J., Lian, G. P., Ma, G. H. and Zhiguo, S. (2008) 'Controlling factors on droplets uniformity in membrane emulsification: experiment and modeling analysis', *Chem. Eng. Res. Des.*, 47: 6418-6425.
- [59] Kobayashi, I., Mukataka, S. and Nakajima, M. (2004) 'CFD simulation and analysis of emulsion droplet formation from straight-through microchannels', *Langmuir*, 20: 9868-9877.
- [60] Abrahamse, A. J., van der Padt, A., Boom, R. M. and de Heij, W. B. C. (2001) 'Process fundamentals of membrane emulsification: Simulation with CFD', *AIChE J.*, 47: 1285-1291.
- [61] Rayner, M., Trägårdh, G. and Trägårdh, C. (2005) 'The impact of mass transfer and interfacial expansion rate on droplet size in membrane emulsification processes', *Colloid Surf A*, 266: 1-17.
- [62] Rayner, M., Trägårdh, G., Trägårdh, C. and Dejmeek, P. (2004) 'Using the Surface Evolver to model droplet formation processes in membrane emulsification', *J. Colloid Interface Sci.*, 279: 175-185.
- [63] Van der Graaf, S., Schroën, C. G. P. H., Van der Sman, R. G. M. and Boom, R. M. (2004) 'Influence of dynamic interfacial tension on droplet formation during membrane emulsification', *J. Colloid Interface Sci.*, 277: 456-463.
- [64] Nakashima, T., Shimizu, M. and Kukizaki M. (1993) 'Effect of surfactant on production of monodispersed O/W emulsion in membrane emulsification', *Kag. Kog. Ronbunshu*, 19: 991-997.
- [65] Kobayashi, I., Nakajima, M. and Mukataka, S. (2003) 'Preparation characteristics of oil-in-water emulsions using differently charged surfactants in straight-through microchannel emulsification', *Colloid. Surf. A*, 229: 33-41.
- [66] Surh, J., Jeong, Y. G. and Vladislavjević, G. T. (2008), 'On the preparation of lecithin-stabilized oil-in-water emulsions by multi-stage premix membrane emulsification', *J. Food Eng.*, 89: 164-170.
- [67] Vladislavjević, G. T. and McClements, D. J. (2010) 'Modification of interfacial characteristics of monodisperse droplets produced using membrane emulsification by surfactant displacement and/or polyelectrolyte electrostatic deposition', *Colloid. Surf. A*, 364: 123-131.
- [68] Park, S. H., Yamaguchi, T. and Nakao, S. (2001) 'Transport mechanism of deformable droplets in microfiltration of emulsions', *Chem. Eng. Sci.*, 56: 3539-3548.
- [69] Vladislavjević, G. T. and Schubert, H. (2003a) 'Preparation of emulsions with a narrow particle size distribution using microporous α -alumina membranes', *J. Dispersion Sci. Technol.*, 24: 811-819.
- [70] Nagata, S. (1975) 'Mixing: Principles and Applications', Kodansha Ltd, Tokyo, Japan.

EMULGOVANJE PRIMENOM MIKROPOROZNIH MEMBRANA

OBLAST: hemijske tehnologije

Sažetak:

Pri membranskom emulgovanju se čista disperzna faza ili gruba emulzija propuštaju kroz mikroporoznu membranu u kontinualnu fazu pri čemu se usled nemešljivosti dve faze, na površini membrane formiraju kapi disperzne faze. Ove kapi se odnose sa površine membrane recirkulacijom kontinualne faze iznad membrane u unakrsnom toku, mešanjem kontinualne faze ili primenom dinamičke membrane, koja može biti rotirajuća ili vibraciona. Za emulgovanje se najčešće koristi membrana od mikroporoznog stakla proizvedena procesom spinodalne dekompozicije u rastopljenjnoj smeši Japanskog vulkanskog pepela pod nazivom "Shirasu", krečnjaka i boroksida. U poslednje vreme se sve više koriste mikrosita od nikla proizvedena primenom fotolitografije i galvanskog niklovanja i mikrosita od silicijum nitrida, proizvedena reaktivnim jonskim nagrivanjem. Prednost mikrosita u odnosu na staklene membrane je u tome što omogućavaju veće transmembranske flukseve i što se manje prljaju zbog pravih kratkih pora. U odnosu na klasično emulgovanje u emulgatorima visokog pritiska i rotor-stator uređajima, pri membranskom emulgovanju se može precizno kontrolisati srednja veličina kapi u širokom opsegu a zanemarljivo mala količina energije se rasipa u obliku toplote. Veličina kapi je prvenstveno definisana veličinom pora, ali zavisi i od kvašljivosti membrane, sastava emulzije, napona smicanja na površini membrane, transmembranskog pritiska, itd.

Ključne reči: *membransko emulgovanje, mikrosito, porozna staklena Shirasu membrana.*

Datum prijema članka: 25. 09 2011

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 29.09.2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 30. 09. 2011.

NANOBIOCATALYSTS FOR BIOFUEL CELLS AND BIOSENSOR SYSTEMS

Prodanović M. *Radivoje*, University of Belgrade,
Faculty of Chemistry, Serbia,
Gavrović-Jankulović Đ. *Marija*, University of Belgrade,
Faculty of Chemistry, Serbia,
Kovačević N. *Gordana*, University of Belgrade,
Faculty of Chemistry, Serbia,
Blažić B. *Marija*, University of Belgrade,
Faculty of Chemistry, Serbia,
Prodanović L. *Olivera*, University of Belgrade,
Institute for Multidisciplinary Research, Serbia,
Ostafe V. *Raluca*, Faculty of Biology,
RWTH Aachen University, Germany

FIELD: Chemical Technology

Abstract:

This overview summarizes the application of enzymes in the manufacture and design of biofuel cells and biosensors. The emphasis will be put on the protein engineering techniques used for improving the properties of enzymes such as nanobiocatalysts, e.g. immobilization orientation, stability, activity and efficiency of electron transfer between immobilized enzymes and electrodes. Some possible applications in the military and some future designs of these electric devices will be discussed as well.

Key words: nanobiotechnology, enzyme logical gates, directed evolution, high throughput screening, microfluidics, glucose oxidase, army, cryptography.

Introduction

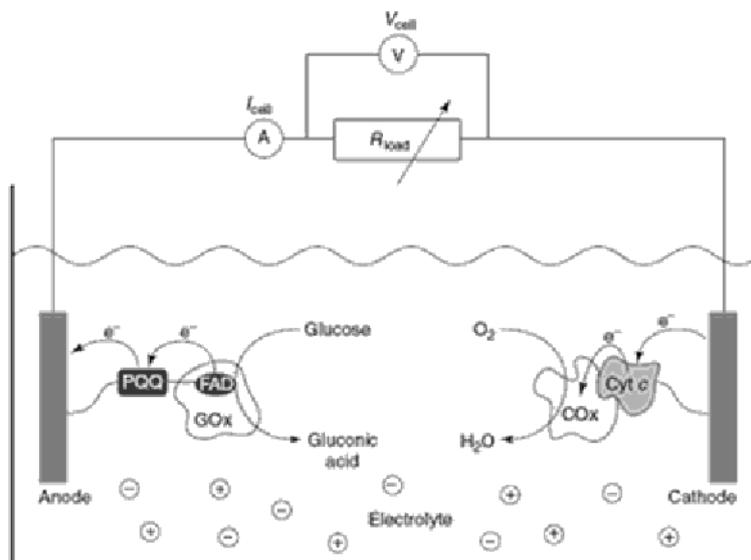
A nanobiocatalyst is a term referring to a biocatalyst in the form of enzyme or cell immobilized or modified with nanostructured materials, such as nanoporous materials, nanoparticles, nanofibers and nanotubes [1].

Acknowledgment: This work was supported by grant No.172049 from Ministry of Education and Science of Republic of Serbia.

Recent advances in the nanoscale science and technology have brought a new wave in the field of biocatalysis. Nanoscale engineering of biocatalysts is greatly promising for the development of high performance biofuel cells and novel biosensor systems [2, 3]. In addition, advancements in protein engineering techniques and bioinformatics are opening new possibilities for further improvements of biocatalyst performances in these devices [4].

Nanobiocatalysis in Biofuel Cells

Biofuel cells use biocatalysts to convert chemical energy into electrical. A biofuel cell requires an anode and a cathode with immobilized enzymes or cells, a supporting electrolyte medium to connect the two electrodes and an external circuit to use extractable power [5]. On the anode, organic compounds oxidise, helped by an enzyme/cell, giving electrons to the electrode and on the cathode another enzyme/cell receives these electrons from the electrode and transmits them to the oxygen or another oxidizer like hydrogen peroxide. One of the first enzymatic biofuel cells reported in the year 1963 was made using glucose oxidase on the anode [6]. Today most of enzymatic cells are obtained using glucose oxidase on the anode and cytochrome c oxidase on the cathode (Scheme 1).



Scheme 1 – An enzymatic biofuel cell. GOx- glucose oxidase; Cyt c- cytochrome c; COx- cytochrome c oxidase; PQQ- pyrroloquinoline, FAD- flavine adenine dinucleotide
Šema 1 – Enzimaska biogorivna ćelija. GOx- glukoza oksidaza; Cyt c- citohrom c; COx- citohrom c oksidaza; PQQ- pirolohinoline, FAD- flavin adenin dinukleotid

Biocatalysis on the anode

Enzymes used on the anode are glucose oxidase [7, 8], formaldehyde & formate dehydrogenase [9, 10], alcohol dehydrogenases [10-12] and sugar dehydrogenases (fructose, glucose, cellobiose) [13-15]. Glucose oxidases (GOx) have been isolated from many organisms, but most often used forms in biofuel cells and biosensors are GOx from *Aspergillus niger* and *Penicillium amagasakiense*. Three different classes of dehydrogenases are used at the anodic compartment: quinoprotein-dehydrogenase, flavin dependent dehydrogenases and NAD⁺ dependent dehydrogenase.

Biocatalysis on the cathode

On the cathode, most often used enzymes are multicopper oxidases such as laccases and bilirubin oxidase [16, 17], peroxidases such as horseradish, microperoxidase [18] and cytochrome c oxidase [19]. Laccases and bilirubin oxidase contain four Cu centers in one protein molecule and in a four-electron reduction process, the final electron acceptor oxygen is reduced to water. Fungal laccases have broad substrate specificities and are able to oxidize a wide range of organic compounds. Peroxidases from plants like horseradish contain heme and they can transfer electrons to water and generate hydrogen peroxide [20].

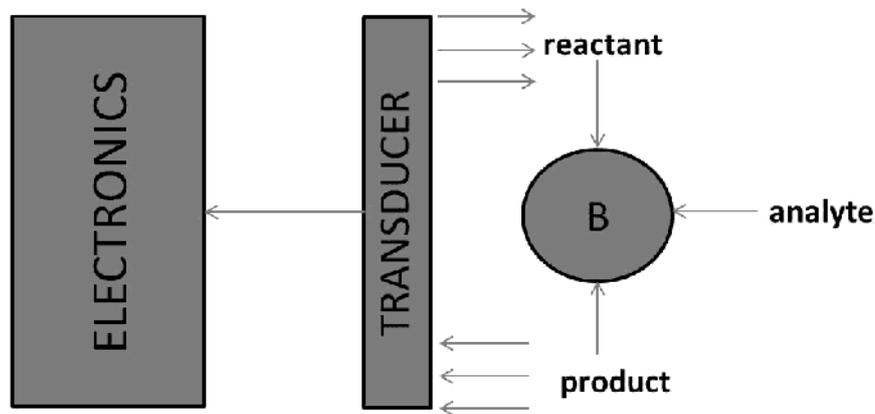
Miniature biofuel cells

Due to recent developments in nanotechnology, biofuel cells can be miniaturized and used as power sources for electric medical devices such as implantable sensors, pacemakers and insulin pumps [21, 22]. They use glucose and oxygen from blood as a source of electric energy. The choice of enzymes for the nanobiocatalyst preparation in implantable miniature biofuel cells is limited by the blood composition and physiological conditions (e.g. pH, ions, glucose concentrations). Mainly cytochrome c oxidase, laccase or bilirubin oxidase have been employed on the cathode, while glucose oxidase from *A.niger* and glucose dehydrogenase from *A.calcoaceticus* are preferentially used on the anode.

Nanobiocatalysis in Biosensor Systems

Biosensors

A nanobiocatalyst can also be used for manufacturing biosensors, devices that convert a chemical signal into an electrical one. The main components of biosensors are a biological component, a transducer and electronics, Scheme 2.



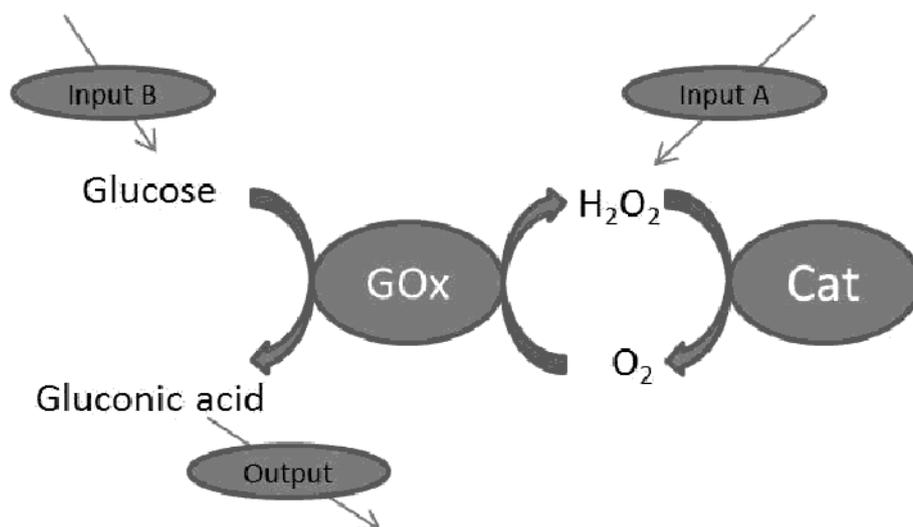
Scheme 2 – Biosensor with a bioactive element (B)
 Šema 2 – Biosenzor sa bioaktivnim elementom (B)

A transducer senses a biochemical event and converts it to a potential change, electron transfer, light emitted or adsorbed by a product or reactant, heat or mass change. Based on transducers, biosensors can be: electrochemical, optical, piezoelectrical or thermal. The most often used electrochemical biosensors can be based on amperometric, potentiometric and impedance detection.

Bioactive components are cells or biological macromolecules such as: enzymes, monoclonal antibodies, nucleic acids, and lipids. The most often used biological components for biosensor manufacturing are enzymes (glucose oxidase), usually in an immobilized form [23].

Enzyme Logical Gates

For injured civilians or soldiers at an accident spot, a rapid and reliable diagnosis of physiological conditions would allow immediate medical intervention. Since the majority of battlefield deaths occur within the first half an hour after injury, a rapid diagnosis and treatment are crucial for a survival rate. In order to determine the type and the extent of an injury, it is usually necessary to monitor several physiological parameters. A multiple biosensor device (enzymatic reactions) connected similarly to electronic circuits in computer logical gates can perform biocomputing and process various biochemical information received from body fluids to determine the injury type [24, 25]. Various Boolean logic gates such as AND, OR, XOR, NOR, NAND, INHIB and XNOR were made using biomolecular switchable systems (proteins/enzymes, DNA, RNA, whole cells) [26-29]. An example of the AND logical gate is shown in Scheme 3.

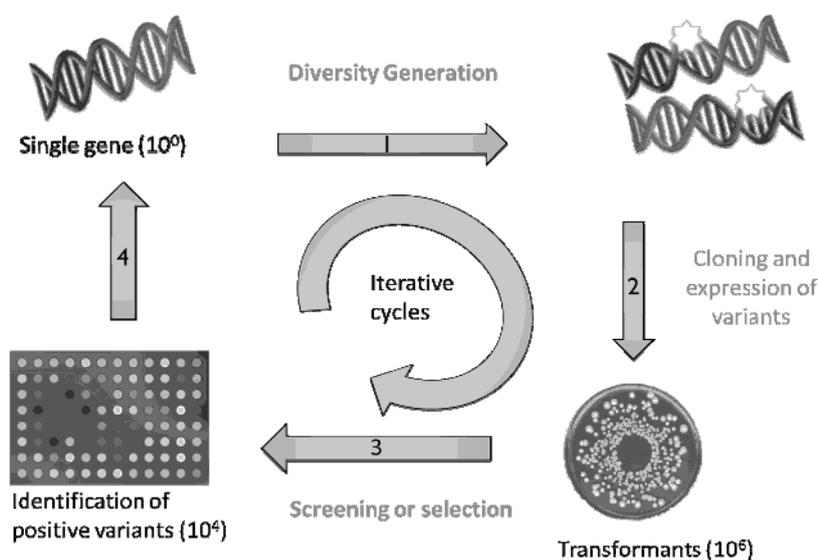


Scheme 3 – AND logical gate made from glucose oxidase (GOx) and catalase (CAT)
Šema 3 – AND logičko kolo napravljeno od glukoza oksidaze (GOx) i katalaze (CAT)

Protein Engineering for Nanobiocatalysis

Biocatalysts are not optimized for the application in bioelectrocatalysis. Nonoptimal operating conditions, radical formation during electron transfer and a poor electric contact with the electrode diminish the power output and the operational life of these devices. Immobilization of biocatalysts on nanostructured materials, rational design and directed evolution have successfully been used to improve the nanobiocatalyst properties such as activity towards artificial cofactors or electron mediators, electrical contact between the enzyme and the electrode, stability in the presence of an organic solvent, thermostability and stability in the presence of oxidizing reagents like hydrogen peroxide [4].

The rational protein design requires the knowledge of the protein structure and the understanding of structure-function relationships. Due to the lack of deeper understanding of these relations, directed enzyme evolution is becoming increasingly important in protein design. Directed evolution does not require a detailed knowledge of protein structures and uses the principles of the Darwinian evolution from the nature and applies them in the lab. In the iterative process of mutation and selection, biocatalysts are „forced“ to evolve in the direction needed for a better performance on the electrode, Scheme 4.



Scheme 4 – Basic steps of directed evolution.

Šema 4 – Osnovni koraci dirigovane evolucije.

The most limiting step in directed evolution is a screening process and there is an enormous effort to develop high throughput screening systems for gene libraries generated in directed evolution experiments. These screening systems are usually performed in aqueous microdroplets of water in oil emulsions where in 1 mL of an emulsion it is possible to perform 10^{10} different reactions and screen libraries with sizes of up to 10^8 . For screening and sorting these microcompartments, scientists use flow cytometry [30] or microfluidic devices [31, 32].

In the literature there is a growing number of articles with examples of successful applications of protein engineering and directed evolution in developing more efficient biocatalysts like glucose oxidase [30, 33], glucose dehydrogenase [34], formaldehyde dehydrogenase [35], lactate dehydrogenase [36], horseradish peroxidase [37] and laccase [38, 39] for applications in biofuel cells and biosensor systems.

Glucose Oxidase

Glucose oxidase (GOx) from *A.niger* is the most studied enzyme in electrochemistry for applications in biofuel cells and biosensors. It has a molecular mass of around 155-160 kDa in its glycosylated form and consists of two identical subunits. The K_m value for β -D-glucose has been reported between 11.0 and 41.8 mM. GOx catalyzes oxidation of glucose

by molecular oxygen to gluconic acid and hydrogen peroxide. In order to be better suitable for the application in miniature biofuel cells, glucose oxidase has been evolved for higher activity and stability at physiological conditions (pH 7.4, 4 mM glucose) and better activity with artificial electron mediators like ferrocene. A ferrocene-based assay for glucose oxidase was used for screening approximately 2000 GOx mutants. A double mutant of GOx (T30S, I94V) has increased k_{cat} compared to wt (69.5 1/s WT; 137.7 1/s T30S I94V) and increased pH and thermal resistance [33]. In another directed evolution experiment, an ultrahigh throughput screening system based on emulsion technology and FACS (fluorescent activated cell sorter) was used for screening a high error prone PCR GOx gene library containing 10^5 different mutants (30). Mutant M12 contained five mutations (N2Y, K13E, T30V, I94V, K152R) and 3.3 times increased specificity constant compared to wt (2.49 mM/s WT; 8.26 mM/s M12).

Glucose Dehydrogenase

Using directed evolution techniques (gene shuffling approach), glucose dehydrogenase from *Bacillus megaterium* was improved in its thermal stability. The improved mutant contained two amino acid substitutions, Glu170Lys and Gln252Leu [34]. To select active variants high-throughput screening was performed in two steps: a filter-based prescreen of clones grown on agar plates using as a redox system 5-ethylphenazinium ethylsulfate and tetrazolium salt and an NADH based quantification assay in microtiter plates. A crystal structure of the double mutant showed that these two residues strengthen the subunit-subunit interactions by stabilizing a hydrophobic cavity.

Formaldehyde Dehydrogenase

By substituting only one residue Ser 318 to Gly, the formaldehyde dehydrogenase from *Pseudomonas putida* was improved in activity by 1.7 times [35]. The enzymatic assay was done by placing nylon membranes soaked with detergent and p-nitroblue tetrazolium on diformazan agar plates. The positive colonies that developed blue colour were further analysed by the NADH-based assay in microtiter plates. The obtained mutant unfortunately decreased its thermal residence.

Lactate Dehydrogenase

The lactate dehydrogenase from *Bacillus stearmophilus* is a thermostable L-2-hydroxyacid dehydrogenase used in biofuel cells. It is allosterically activated by fructose 1,6-bisphosphate (FBP) resulting in a 100-fold drop in K_m and 2.5-fold drop in k_{cat} due to the tetramerization of the dime-

ric form. After three rounds of family shuffling and screening 3000 clones variants of lactate dehydrogenase, a mutant was found that could form a tetrameric oligomer in the absence of FBP (36). The obtained mutant had three substitutions (Arg118Cys, Gln203Leu, Asn307Ser) and K_m for pyruvate was reduced to 0.07 mM.

Horseradish Peroxidase

A plant horseradish contains several peroxidase (HRP) isoforms and C isoenzyme is the most abundant. Thermal stability and resistance to peroxide inactivation was improved for this enzyme using the directed evolution [37]. Increased activity and changed specificity and enantioselectivity were also obtained by directed evolution [37, 40, 41]. Using the emulsion technology and microfluidic devices, HRP also evolved for 7-fold increase in activity [31]. Such high increase in activity was achieved due to the screening of big gene libraries 10^7 in multiple rounds of directed evolution. This is one of the best examples that can be done by directed evolution if there is a good high throughput screening system.

Laccase

Laccases belong to the group of copper containing enzymes that can oxidize various phenols by oxygen. It has been successfully expressed in yeasts for directed evolution [42]. Using *in vivo* the recombination approach, the thermostability of versatile (VL) and high redox potential laccases (HRPL) was improved [39]. The activity at 65°C for VP was improved 3-fold while at 75°C the improvement was over 10-fold. The HRPL with evolved thermostability was subjected to further rounds of directed evolution and the activity of the best mutant OB-1 had 34000-fold enhanced activity [39].

Military Application of Nanobiocatalysts

Enzyme Logic Systems for Battlefield Injuries

There is a growing interest in the armies worldwide for developing a field hospital-on-a-chip that could monitor a soldier's injuries and administer medications. The Office of Naval Research is funding a program entitled „Integrated Sense and Treat Enzyme Logic Systems for Battlefield Injuries“ that if successful would provide U.S. soldiers with a wearable device to constantly monitor vital signs and help treat wounds. These microfluidic laboratories on-a-chip would allow unskilled personnel to perform specialized tests in the field. The chip would fluids like blood and sweat for the „biomarkers“ of common battlefield

injuries like shock or fatigue and then automatically inject the appropriate drugs. Preliminary results in these field with enzymatic logical gates are making this approach quite realistic [24, 43].

Information Security: Biomolecular keypad lock systems, steganography and encrypting

The computing networks composed of enzyme logical gates can be also used for mimicking a biomolecular keypad lock [44, 45]. A designed biochemical reaction chain was composed of several enzymatic reactions: hydrolysis of sucrose to glucose, oxidation of glucose to oxygen and then oxidation of ABTS dye to green product [46]. These reaction steps were catalysed by invertase, glucose oxidase and microperoxidase. The enzymes were immobilized on glass beads. The experiment was performed when the order of the enzyme-encoded input signals varied in 6 different combinations. Only one correct order of the input signals resulted in output 1 (generation of green product). A similar enzyme-based keypad lock was integrated with the biofuel cell where only a correct „password“ (specific order of adding enzymes) resulted in the activation of the biofuel cell, while all other „wrong“ permutations of the enzyme inputs preserved the „OFF“ state of the biofuel cell [45].

Keypad Lock Security, Steganography and Encrypting Based on Immunochemical Systems

A keypad lock device can also be made using an immuno-based biorecognition system. Such a device was integrated with a switchable biofuel cell that was giving power output only after the correct input of the „password“ encoded in the antibody-sequence.

Steganography and encrypting was also demonstrated by using immunochemistry systems. IgG antibodies were used as invisible ink developed with complementary antibodies labelled with enzymes producing color spots [47]. This approach in the future could provide information protection and watermark-technology and scaling down the encoded text to a micro size is also feasible with the use of nanotechnology.

Conclusion

The development of nanotechnology, protein engineering and novel concepts in molecular biocomputing have opened new possibilities in the manufacture and design of biofuel cells and biosensor systems. These

technologies will help in continuous monitoring of human health conditions and increase survival rate under shock conditions. Novel concepts in molecular biocomputing could also provide new ways of information storage and protection.

Literature

- [1] Kim, J., Kim, B. C., Lopez-Ferrer, D., Petritis, K., and Smith, R. D. (2010) Nanobiocatalysis for protein digestion in proteomic analysis, *Proteomics* 10, 687-699.
- [2] Lost, R. M., Madurro, J. M., Brito-Madurro, A. G., Nantes, I. L., Caseli, L., and Crespilho, F. N. (2011) Strategies of Nano-Manipulation for Application in Electrochemical Biosensors, *Int J Electrochem Sc* 6, 2965-2997.
- [3] Wang, P., Kim, J. B., Jia, H. F., and Zhao, X. Y. (2005) Nanobiocatalysts for biofuel cells, *Abstr Pap Am Chem S* 230, U1662-U1663.
- [4] Schwaneberg, U., Guven, G., and Prodanovic, R. (2010) Protein Engineering - An Option for Enzymatic Biofuel Cell Design, *Electroanal* 22, 765-+.
- [5] Akers, N., Gellett, W., Kesmez, M., Schumacher, J., and Minteer, S. D. (2010) Biofuel Cells for Portable Power, *Electroanal* 22, 727-731.
- [6] Davis, J. B., and Yarbrough, H. F., Jr. (1962) Preliminary Experiments on a Microbial Fuel Cell, *Science* 137, 615-616.
- [7] Lee, J. H., Kim, H., Lee, I., Kwon, Y., Kim, B. C., Ha, S., and Kim, J. (2011) Immobilization of glucose oxidase into polyaniline nanofiber matrix for biofuel cell applications, *Biosens Bioelectron* 26, 3908-3913.
- [8] Moon, S. H., Shim, J., and Kim, G. Y. (2011) Covalent co-immobilization of glucose oxidase and ferrocenedicarboxylic acid for an enzymatic biofuel cell, *J Electroanal Chem* 653, 14-20.
- [9] Kar, P., Wen, H., Li, H. Z., Minteer, S. D., and Barton, S. C. (2011) Simulation of Multistep Enzyme-Catalyzed Methanol Oxidation in Biofuel Cells, *J Electrochem Soc* 158, B580-B586.
- [10] Minteer, S. D., Addo, P. K., and Arechederra, R. L. (2010) Evaluating Enzyme Cascades for Methanol/Air Biofuel Cells Based on NAD(+)-Dependent Enzymes, *Electroanal* 22, 807-812.
- [11] Ramanavicius, A., Kausaite, A., and Ramanaviciene, A. (2008) Enzymatic biofuel cell based on anode and cathode powered by ethanol, *Biosens Bioelectron* 24, 761-766.
- [12] Treu, B. L., and Minteer, S. D. (2005) Improving the lifetime, simplicity, and power of an ethanol biofuel cell by employing ammonium treated Nafion membranes to immobilize PQQ-dependent alcohol dehydrogenase., *Abstr Pap Am Chem S* 229, U1120-U1121.
- [13] Zhang, Y. H. P., Zhu, Z. G., Wang, Y. R., and Minteer, S. D. (2011) Maltodextrin-powered enzymatic fuel cell through a non-natural enzymatic pathway, *J Power Sources* 196, 7505-7509.

- [14] Gorton, L., Tasca, F., Harreither, W., Ludwig, R., and Gooding, J. J. (2011) Cellobiose Dehydrogenase Aryl Diazoniun Modified Single Walled Carbon Nanotubes: Enhanced Direct Electron Transfer through a Positively Charged Surface, *Anal Chem* 83, 3042-3049.
- [15] Willner, I., Yehezkeli, O., Tel-Vered, R., and Reichlin, S. (2011) Nano-engineered Flavin-Dependent Glucose Dehydrogenase/Gold Nanoparticle-Modified Electrodes for Glucose Sensing and Biofuel Cell Applications, *Acs Nano* 5, 2385-2391.
- [16] Vazquez-Duhalt, R., Martinez-Ortiz, J., and Flores, R. (2011) Molecular design of laccase cathode for direct electron transfer in a biofuel cell, *Biosens Bioelectron* 26, 2626-2631.
- [17] Kokoh, K. B., Habrioux, A., Napporn, T., Servat, K., and Tingry, S. (2010) Electrochemical characterization of adsorbed bilirubin oxidase on Vulcan XC 72R for the biocathode preparation in a glucose/O₂ biofuel cell, *Electrochim Acta* 55, 7701-7705.
- [18] Ferapontova, E. E., Gomez, C., and Shipovskov, S. (2010) Peroxidase biocathodes for a biofuel cell development, *J Renew Sustain Ener* 2.
- [19] Su, L. Y., Hawkrige, F. M., and Rhoten, M. C. (2004) Electroreduction of oxygen by cytochrome c oxidase immobilized in electrode-supported lipid bilayer membranes, *Chem Biodivers* 1, 1281-1288.
- [20] Radotic, K., Laketa, D., Bogdanovic, J., Prodanovic, R., and Kalauzi, A. (2010) The effect of pH on the activity of soluble peroxidase in needles of Serbian spruce (*Picea omorika* (Panc.) Purkinje): application of a mathematical model, *Gen Physiol Biophys* 29, 122-128.
- [21] Mano, N., Mao, F., and Heller, A. (2004) A miniature membrane-less biofuel cell operating at +0.60 V under physiological conditions, *Chembiochem* 5, 1703-1705.
- [22] Mano, N., Mao, F., and Heller, A. (2002) A miniature biofuel cell operating in a physiological buffer, *J Am Chem Soc* 124, 12962-12963.
- [23] Yu, E. H., Prodanovic, R., Guven, G., Ostafe, R., and Schwaneberg, U. (2011) Electrochemical Oxidation of Glucose Using Mutant Glucose Oxidase from Directed Protein Evolution for Biosensor and Biofuel Cell Applications, *Appl Biochem Biotechnol*.
- [24] Halamek, J., Windmiller, J. R., Zhou, J., Chuang, M. C., Santhosh, P., Strack, G., Arugula, M. A., Chinnapareddy, S., Bocharova, V., Wang, J., and Katz, E. (2010) Multiplexing of injury codes for the parallel operation of enzyme logic gates, *Analyst* 135, 2249-2259.
- [25] Manesh, K. M., Halamek, J., Pita, M., Zhou, J., Tam, T. K., Santhosh, P., Chuang, M. C., Windmiller, J. R., Abidin, D., Katz, E., and Wang, J. (2009) Enzyme logic gates for the digital analysis of physiological level upon injury, *Biosens Bioelectron* 24, 3569-3574.
- [26] Halamek, J., Bocharova, V., Chinnapareddy, S., Windmiller, J. R., Strack, G., Chuang, M. C., Zhou, J., Santhosh, P., Ramirez, G. V., Arugula, M. A., Wang, J., and Katz, E. (2010) Multi-enzyme logic network architectures for assessing injuries: digital processing of biomarkers, *Mol Biosyst* 6, 2554-2560.

- [27] Melnikov, D., Strack, G., Zhou, J., Windmiller, J. R., Halamek, J., Bucharova, V., Chuang, M. C., Santhosh, P., Privman, V., Wang, J., and Katz, E. (2010) Enzymatic AND logic gates operated under conditions characteristic of biomedical applications, *J Phys Chem B* 114, 12166-12174.
- [28] Bi, S., Yan, Y., Hao, S., and Zhang, S. (2010) Colorimetric logic gates based on supramolecular DNAzyme structures, *Angew Chem Int Ed Engl* 49, 4438-4442.
- [29] Katz, E., and Privman, V. (2010) Enzyme-based logic systems for information processing, *Chem Soc Rev* 39, 1835-1857.
- [30] Schwaneberg, U., Prodanovic, R., Ostafe, R., and Scacioc, A. (2011) Ultrahigh Throughput Screening System for Directed Glucose Oxidase Evolution in Yeast Cells, *Comb Chem High T Scr* 14, 55-60.
- [31] Agresti, J. J., Antipov, E., Abate, A. R., Ahn, K., Rowat, A. C., Baret, J. C., Marquez, M., Klibanov, A. M., Griffiths, A. D., and Weitz, D. A. (2010) Ultrahigh-throughput screening in drop-based microfluidics for directed evolution (vol 170, pg 4004, 2010), *P Natl Acad Sci USA* 107, 6550-6550.
- [32] Weitz, D. A., Agresti, J. J., Antipov, E., Abate, A. R., Ahn, K., Rowat, A. C., Baret, J. C., Marquez, M., Klibanov, A. M., and Griffiths, A. D. (2010) Ultrahigh-throughput screening in drop-based microfluidics for directed evolution, *P Natl Acad Sci USA* 107, 4004-4009.
- [33] Zhu, Z., Wang, M., Gautam, A., Nazor, J., Momeu, C., Prodanovic, R., and Schwaneberg, U. (2007) Directed evolution of glucose oxidase from *Aspergillus niger* for ferrocenemethanol-mediated electron transfer, *Biotechnol J* 2, 241-248.
- [34] Baik, S. H., Ide, T., Yoshida, H., Kagami, O., and Harayama, S. (2003) Significantly enhanced stability of glucose dehydrogenase by directed evolution, *Appl Microbiol Biot* 61, 329-335.
- [35] Fujii, Y., Yamasaki, Y., Matsumoto, M., Nishida, H., Hada, M., and Ohkubo, K. (2004) The artificial evolution of an enzyme by random mutagenesis: The development of formaldehyde dehydrogenase, *Biosci Biotech Bioch* 68, 1722-1727.
- [36] Allen, S. J., and Holbrook, J. J. (2000) Production of an activated form of *Bacillus stearothermophilus* L-2-hydroxyacid dehydrogenase by directed evolution, *Protein Eng* 13, 5-7.
- [37] Khajeh, K., Asad, S., and Ghaemi, N. (2011) Investigating the Structural and Functional Effects of Mutating Asn Glycosylation Sites of Horseradish Peroxidase to Asp, *Appl Biochem Biotech* 164, 454-463.
- [38] Farinas, E. T., Gupta, N., and Lee, F. S. (2010) Laboratory evolution of laccase for substrate specificity, *J Mol Catal B-Enzym* 62, 230-234.
- [39] Alcalde, M., Mate, D., Garcia-Burgos, C., Garcia-Ruiz, E., Ballesteros, A. O., and Camarero, S. (2010) Laboratory Evolution of High-Redox Potential Laccases, *Chem Biol* 17, 1030-1041.
- [40] Klibanov, A. M., Antipov, E., Cho, A. E., and Wittrup, K. D. (2008) Highly L and D enantioselective variants of horseradish peroxidase discovered by an ultrahigh-throughput selection method, *P Natl Acad Sci USA* 105, 17694-17699.
- [41] Tidor, B., Lipovsek, D., Antipov, E., Armstrong, K. A., Olsen, M. J., Klibanov, A. M., and Wittrup, K. D. (2007) Selection of horseradish peroxidase variants with enhanced enantioselectivity by yeast surface display, *Chem Biol* 14, 1176-1185.

[42] Alcalde, M., Bulter, T., Zumarraga, M., Garcia-Arellano, H., Mencia, M., Plou, F. J., and Ballesteros, A. (2005) Screening mutant libraries of fungal laccases in the presence of organic solvents, *J Biomol Screen* 10, 624-631.

[43] Zhou, J., Halamek, J., Bocharova, V., Wang, J., and Katz, E. (2011) Bio-logic analysis of injury biomarker patterns in human serum samples, *Talanta* 83, 955-959.

[44] Pu, F., Liu, Z., Yang, X., Ren, J., and Qu, X. (2011) DNA-based logic gates operating as a biomolecular security device, *Chem Commun (Camb)* 47, 6024-6026.

[45] Halamek, J., Tam, T. K., Strack, G., Bocharova, V., Pita, M., and Katz, E. (2010) Self-powered biomolecular keypad lock security system based on a biofuel cell, *Chem Commun (Camb)* 46, 2405-2407.

[46] Strack, G., Ornatska, M., Pita, M., and Katz, E. (2008) Biocomputing security system: concatenated enzyme-based logic gates operating as a biomolecular keypad lock, *J Am Chem Soc* 130, 4234-4235.

[47] Kim, K. W., Bocharova, V., Halamek, J., Oh, M. K., and Katz, E. (2011) Steganography and encrypting based on immunochemical systems, *Biotechnol Bioeng* 108, 1100-1107.

NANOBIOKATALIZATORI ZA BIOGORIVNE ĆELIJE I BIOSENZORNE SISTEME

OBLAST: hemijske tehnologije

Rezime:

U ovom preglednom članku je sumirana primena enzima u proizvodnji i dizajnu biogorivnih ćelija i biosenzora. Naglasak u pregledu literature je stavljen na tehnike proteinskog inženjeringa, koje se koriste za poboljšanje osobina enzima u nanobiokatalizatorima kao što su orijentacija kod imobilizacije, stabilnost, aktivnost i efikasnost transfera elektrona između imobilizovanog enzima i elektrode. Na kraju pregleda je dato nekoliko primera moguće primene u vojsci.

Nanobiokatalizatori su biokatalizatori u obliku enzima ili ćelija imobilizovani na nanomaterijalima.

Koriste se kao sastavni elementi gorivnih ćelija u vidu imobilizovanih oksidoreduktaza na elektrodama. Na anodi se uz pomoć enzima oksiduju hemijska jedinjenja i elektroni predaju elektrodi, dok se na katodi elektroni uz pomoć druge oksidoreduktaze prebacuju sa elektrode na vodu ili kiseonik. Enzimi koji se koriste na anodi su glukoza oksidaza, formaldehid dehidrogenaza, alkohol dehidrogenaza i druge oksidaze šećera. Na katodi se uglavnom koriste lakaze, bilirubin oksidaza, peroksidaze i citohrom c oksidaza. Zahvaljujući razvoju nanotehnologije razvijaju se i minijaturne biogorivne ćelije koje proizvode električnu energiju za implantirane medicinske uređaje (insulinske pumpe, pejsmejkere, biosenzore) koristeći glukozu i kiseonik iz ljudske krvi.

Biosenzori predstavljaju uređaje koji se sastoje iz biološke komponente, transducera i električne komponente. Oni pretvaraju koncen-

traciju hemijske supstance u električni signal i koriste se za analitiku. Kao biološka komponenta se mogu koristiti enzimi, monoklonska antitela, nukleinske kiseline i lipidi.

Enzimski logička kola predstavljaju kombinaciju različitih biosenzora (enzimskih reakcija) koji mere nekoliko ulaznih parametara i na osnovu njih daju odgovarajući izlazni signal. Koristeći znanja kompjuterske tehnologije enzimskim logičkim kolima mogu se simulirati AND, OR, XOR, NOR, NAND, INHIB i XNOR logička kola.

Za poboljšanje osobina biokatalizatora u cilju efikasnije primene u bioelektrokatalizi koriste se tehnike proteinskog inženjeringa kao što su racionalni dizajn i dirigovana evolucija. Dirigovana evolucija koristi iterativne korake mutiranja i selekcije, kako bi biokatalizator evoluirao u pravcu koji nam je potreban. Najsporiji stupanj u ovoj tehnologiji predstavlja „skrining“, te se u novije vreme pomoću protočne citometrije i mikrofluidike pokušavaju razviti nove metode visoko propusnog skrininga. U literaturi opisani primeri dirigovane evolucije glukoza oksidaze, glukoza dehidrogenaze, formaldehid dehidrogenaze, laktat dehidrogenaze, peroksidaze i lakaze.

Kombinacijom enzimskih logičkih kola i mikrofluidne tehnologije se pokušavaju napraviti laboratorije na čipu koje bi omogućile kontinuirano praćenje zdravstvenog stanja vojnika na bojnopolju i u slučaju šoka (ranjavanja) primenu odgovarajuće terapije u toku prvih 30 minuta od povrede. To bi obezbedilo veći stepen preživljavanja vojnika u ratu. Takođe upotrebom enzimskih logičkih kola i antitela moguće je postići uskladištenje i šifrovanje informacija, kao i zaštitu lozinkom, odgovarajućih elektronskih uređaja kao što su biogorivne ćelije.

Razvoj nanotehnologije, proteinskog inženjeringa i molekularnog računarstva otvara vrata novim mogućnostima u proizvodnji i dizajnu biogorivnih ćelija i bisenzorskih sistema, kao i u skladištenju i zaštiti informacija.

Ključne reči: nanobiotehnologija, enzimski logička kola, dirigovana evolucija, visoko propusni skrining, mikrofluidika, glukoza oksidaza, vojska, kriptografija.

Datum prijema članka: 28. 09 2011

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 09. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 30. 09. 2011.

ANALIZA EFIKASNOSTI MOGUĆIH MODELA OPSLUŽIVANJA NA PUMPNIM STANICAMA PRIMENOM TEORIJE MASOVNOG OPSLUŽIVANJA

Ilić M. *Slaviša*, Vojska Srbije,
Komanda za obuku, Odeljenje za logistiku, Beograd,
Andrejić D. *Marko*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,
Katedra logistike, Beograd

OBLAST: matematika (operaciona istraživanja)

Rezime:

U radu je izvršena analiza efikasnosti mogućih modela opsluživanja na pumpnim stanicama, primenom matematičkog modela teorije masovnog opsluživanja. Na osnovu stvarnih prikupljenih podataka i statističke analize očekivanog intenziteta dolazaka i opsluživanja vozila na pumpnim stanicama, izvršeno je matematičko modelovanje realnih procesa opsluživanja i kvantifikovanje određenih parametara, u smislu sagledavanja slabosti postojećih modela i prednosti mogućih automatizovanih modela opsluživanja.

Key words: optimizacija, teorija masovnog opsluživanja, pumpna stanica, racionalizacija, automatizacija.

Uvod

Razvoj nauke, tehnike, ekonomije i vojnih nauka uslovljava projektovanje složenih sistema i primenu automatizacije u svim oblastima ljudske delatnosti. Život u savremenom industrijskom društvu praćen je stalnim rastom industrijske proizvodnje, stanovništva i potrošnje i podrazumeva svakodnevno čekanje u redu da bi se obavila neka aktivnost ili primila usluga, što je dovelo do formiranja teorije masovnog opsluživanja.

Jedan od aktuelnih logističkih problema u Vojski Srbije, gde je moguća primena matematičkog modelovanja teorije masovnog opsluživanja, jeste optimizacija postojećeg sistema opsluživanja vojnih motornih vozila i drugih potrošača sa pogonskim gorivom (u daljem tekstu: gorivo) na pumpnim stanicama (u daljem tekstu: PSt).

Optimizacija ovog sistema masovnog opsluživanja (gorivom na PSt), sa aspekta njegove efektivnosti i ekonomičnosti, a uz upotrebu savremenih tehnika, metoda, softvera i opreme [1], trebalo bi da se odvija po sledećem:

- efikasnije opsluživanje vojnih m/v i dobijanje pouzdanih podataka o parametrima stanja i izdavanja goriva;
- smanjenje broja aktivnih PSt u kasarnama za redovnu popunu vojnih m/v i čuvanje mimodopskih zaliha goriva, a time i troškova vezanih za njihov rad i tehničko održavanje opreme na PSt;
- smanjenje broja angažovanih lica na manipulaciji, opsluživanju i održavanju pogonske opreme;
- smanjenje potrošnje goriva prouzrokovanih transportnim, manipulativnim i evaporativnim gubicima;
- distributeri bolje popunjavaju mimodopske zalihe goriva, po nižoj nabavnoj ceni i nižim ukupnim troškovima;
- centralizovano i automatizovano praćenje stanja i izdavanja goriva po jedinicama, potrošačima i lokacijama, uz primenu kvalitetnog informacionog sistema [2] računarskih sistema za upravljanje i nadzor.

Osnovni pojmovi teorije masovnog opsluživanja

Teorija masovnog opsluživanja je deo teorije verovatnoće koja koristi njene modele i matematički aparat, radi rešavanja mnogih praktičnih zadataka gde se opslužuje veliki broj klijenata. Bavi se analizom pojava, sa zadatkom da omogući projektovanje sistema i upravljanje istim, na način koji daje najbolje efekte sa stanovišta kriterijuma optimizacije [3].

Značaj teorije masovnog opsluživanja leži u mogućnosti da se izvrši matematičko modelovanje realnih procesa opsluživanja i kvantifikovanje određenih parametara procesa, kao što su: brzina opsluživanja, vreme čekanja u redu na opsluživanje, dužina reda, broj mesta na kojima se opslužuje, vreme opsluživanja... Takvi modeli omogućavaju analizu procesa opsluživanja i rešavanje organizacionih pitanja opsluživanja, u smislu poboljšanja navedenih parametara bitnih za rad sistema koji vrši opsluživanje i optimizaciju rada sistema. Primena ovih modela na rešavanje problema u praksi donosi veliku korist društvu: pozitivni ekonomski efekti, povećanje pouzdanosti izvršenja zadataka i organizacije opsluživanja, predviđanje ponašanja sistema u različitim situacijama ...

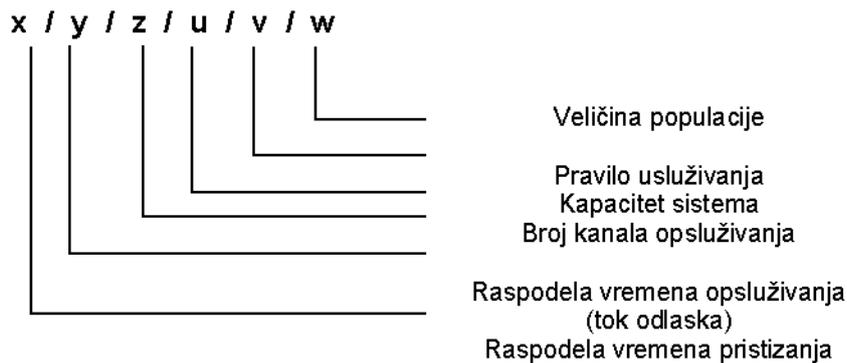
Sistem masovnog opsluživanja ili *Sistem sa redovima čekanja* obuhvata ulazni potok korisnika (klijenata) i kanale opsluživanja. Pod analizom sistema masovnog opsluživanja podrazumeva se analiza ulaznog potoka ko-

risnika, vremena čekanja korisnika u redu, vremena opsluživanja i izlaznog potoka korisnika. Većina sistema masovnog opsluživanja može se predstaviti šemom koja je prikazana na slici 1. Najčešće u sistem opsluživanja pristupa po jedan korisnik. U takvim slučajevima potok klijenata je *ordinaran*. Ako u sistem pristupa više korisnika odjednom, potok je *neordinaran*.

Osnovni tipovi sistema masovnog opsluživanja, a u zavisnosti od ponašanja korisnika pri nailasku na zauzete kanale opsluživanja, jesu:

- sistemi sa čekanjem korisnika u redu,
- sistemi sa otkazima korisnika od opsluživanja i
- kombinovani sistemi.

Raznovrsnost sistema masovnog opsluživanja zahteva efikasan način klasifikacije i obeležavanja sistema. U najčešćoj upotrebi je Kendall-Lijeva notacija (D. G. Kendall – A. M. Lee). Označavanje sistema masovnog opsluživanja u ovoj notaciji sastoji se od šest obeležja (znakova). Prva tri znaka uveo je Kendal 1953, a sledeća tri Li 1966. godine) [4].



Slika 1 – Označavanje sistema masovnog opsluživanja po Kendall-Lee notaciji
Figure 1 – Large-scale queuing system representation by the Kendall-Lee notation

Znak *x* definiše tip raspodele vremena pristizanja korisnika u sistem za opsluživanje, a oznaka *y* tip raspodele dužine vremena (trajanja) opsluživanja korisnika u sistemu za opsluživanje. Za ova dva znaka u upotrebi su sledeće oznake:

- *M* – Puasonov tok ili eksponencijalna raspodela;
- *Ek* – Erlangov tok ili gama raspodela;
- *D* – deterministički tok;
- *G* – opšti (bilo koji) tok.

Znak *z* označava broj kanala opsluživanja u sistemu i on je ceo broj. Znak *u* obeležava kapacitet sistema usluživanja, odnosno ukupan broj korisnika koji mogu stati u sistem. Kapacitet sistema predstavlja zbir korisnika koji čekaju opsluživanje i korisnika koji se opslužuju.

Pravilo (disciplina) usluživanja obeležava se znakom v i određuje redosled opsluživanja korisnika koji ulaze u sistem. U upotrebi su sledeće oznake:

- *SIRO (Stochastic In Random Out)* – slučajan izbor korisnika iz reda;
- *FIFO (First In First Out)* – redosled opsluživanja određen je redosledom pristizanja, po pravilu „prvi prispeli – prvi opslužen“;
- *LIFO (Last In First Out)* – najpre se uslužuju korisnici koji su poslednji prispeli u red, po pravilu „poslednji prispeo – prvi opslužen“;
- *PRI (Prioritu)* – redosled usluživanja određen na osnovu prioriteta.

Poslednja oznaka w obeležava veličinu populacije korisnika i predstavlja ceo broj. Ako vreme između dva dolaska korisnika ne zavisi od toga koliko se klijenata već nalazi u sistemu (čeka u redu i na opsluživanju), onda se usvaja stav da je veličina izvorne populacije korisnika neograničena. Često se pri označavanju sistema masovnog opsluživanja izostavljaju poslednje tri oznake (y, v, w) ili neke od njih. U tim slučajevima smatra se (respektivno): da je kapacitet sistema neograničen, da je disciplina opsluživanja tipa *FIFO* i da je izvorna populacija neograničena.

Uz svu raznolikost objekata, zahteva za opsluživanjem i načina zadovoljavanja zahteva za opsluživanjem, postoje određeni pojmovi i karakteristike koje su zajedničke za sve vrste ili pojedine grupe sistema masovnog opsluživanja. Pre nego što pristupimo njihovom razmatranju, definišaćemo osnovne pojmove i oznake koje se koriste u matematičkom modeliranju. Matematički modeli kojima se analiziraju pojave i procesi u sistemu masovnog opsluživanja [4], koriste sledeće pojmove i oznake:

n – stanje sistema, broj klijenata na usluživanju i u redu čekanja;

$N(t)$ – broj klijenata u sistemu usluživanja u trenutku $t, t \geq 0$.;

$P_n(t)$ – verovatnoća da se tačno n klijenata nalazi u sistemu usluživanja u trenutku t pod uslovom da je poznat njihov broj u trenutku $t = 0$.;

P_n – verovatnoća da se u ustaljenom režimu u sistemu nalazi n korisnika;

λ – intenzitet dolaska (očekivan broj dolazaka u jedinici vremena);

μ – intenzitet usluživanja (očekivan broj korisnika kojima se završava usluga u jedinici vremena);

s – broj kanala usluživanja (broj mesta usluživanja, broj servera...)

λ_n – intenzitet toka dolazaka novih korisnika kada se u sistemu već nalazi n korisnika (očekivan broj dolazaka u jedinici vremena);

μ_n – intenzitet usluživanja kada se u sistemu već nalazi n korisnika (očekivan broj korisnika kojima se završava usluga u jedinici vremena); ovaj parametar predstavlja kombinovani (srednji) intenzitet usluživanja kojim zauzeti kanali završavaju usluge korisnicima.

L_q – očekivan broj klijenata u sistemu, očekivana dužina reda;

W – vreme koje korisnik provede u sistemu (slučajna veličina, uključuje vreme čekanja u redu i vreme opsluživanja);

$\bar{W} = E(w)$ – matematički očekivano vreme zadržavanja korisnika u sistemu.

w_q – vreme čekanja u redu za jednog korisnika (ne uzima u obzir vreme usluživanja);

$P\{A\}$ – verovatnoća događaja A i

$P\{A/B\}$ – verovatnoća događaja A pod uslovom da se desio događaj B .

U realnim slučajevima, proces pristupanja korisnika je retko stacionaran. Proces je moguće posmatrati u dovoljno malim intervalima u kojima je on stacionaran. U tom slučaju, za svaki odsečak izračunavamo srednji intenzitet potoka λ koji se može razlikovati za pojedine odsečke, dok se sama priroda procesa ne menja.

Najčešći potoci događaja koji se efikasno koriste (pretpostavljaju) za rešavanje praktičnih zadataka TMO su **Prosti stacionarni Puasonovi potoci** događaja, jer poseduju sledeće osobine:

- ordinarnost,
- odsustvo posledica (pojava jednog događaja ne povlači za sobom pojavu drugih, nezavisni događaji) i
- stacionarnost.

Kada je intenzitet dolaska λ konstantan ili kada se može izračunati srednji intenzitet dolaska λ_{sp} , primenjuje se formula koja povezuje očekivan broj klijenata sistemu (u redu i na opsluživanju) L , intenzitet otkaza λ i očekivano zadržavanje korisnika u sistemu (u redu i na opsluživanju) \bar{W} . U teoriji se ova formula naziva **Litlova formula** (J. D. C. Little dokazao 1961) i ima sledeći oblik:

$$L = \lambda \cdot \bar{W} \quad (1)$$

Očekivani broj klijenata u sistemu (L) jednak je proizvodu intenziteta dolazaka (λ) i matematički očekivanog zadržavanja klijenata u sistemu ($\bar{W} = E(w)$).

Analogno ovoj formuli, može se izvesti formula za očekivan broj korisnika u redu (L_q), odnosno, za dužinu reda i očekivano vreme zadržavanja u redu (W_q):

$$L_q = \lambda W_q \quad (2)$$

Pretpostavimo li da je intenzitet usluživanja (μ) konstantan, odnosno da je matematičko očekivanje vremena usluživanja konstanta, onda se očekivano ukupno vreme zadržavanja korisnika u sistemu može izračunati formulom:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

Ove formule daju matematičku vezu četiri značajne veličine TMO:

- broj korisnika u sistemu,
- očekivano zadržavanje korisnika u sistemu,
- broj korisnika u redu i
- očekivano zadržavanje korisnika u redu.

Primena teorije masovnog opsluživanja za vrednovanje i optimizaciju modela

Rešavanje aktuelnog problema u praksi primenom logičnog matematičkog modela operacionih istraživanja, prikazaće se modelovanjem realnih sistema masovnog opsluživanja (u daljem tekstu: SMO) sa gorivom na PSt, po sledećem:

- model broj 1.: postojeći model SMO gorivom na PSt kasarne „General Pavle Jurišić Štum“ Požarevac;
- model broj 2.: postojeći model SMO gorivom na PSt kasarne „Pantelej“ Niš;
- model broj 3.: postojeći model SMO gorivom na PSt „Jugopetrol“ broj 5. u Požarevcu, za civilna m/v;
- model broj 4.: mogući model SMO gorivom na automatizovanoj civilnoj PSt, na kojoj se vrši opsluživanje civilnih i vojnih m/v.

Prilikom analize prikazanih SMO, polazi se od pretpostavki da su osnovni parametri (broj pristiglih vozila u jedinici vremena i vreme trajanja između dolazaka dva vozila) pod velikim uticajem faktora slučajnosti, pa možemo da izvršimo određena pojednostavljenja i modeliranje kako bi prikazani problemi bili rešivi matematičkim aparatom teorije masovnog opsluživanja [3, 4].

Opsluživanje vozila na PSt u kasarni „General Pavle Jurišić Šturm“ Požarevac

Statističkom analizom očekivanog intenziteta dolazaka vozila na PSt i opsluživanja vojnih m/v (u praksi se koristi termin izdavanje goriva ili tankiranje vozila – potrošača gorivom) u periodu od 1. januara 2006. do 30. juna 2006, a na osnovu stvarnih statističkih podataka dobijenih iz LIP GiM, koji su prikazani u tabeli br. 1, uz zanemarivanja tankiranja vozila koja su bila u januaru (kao netipično, zbog praznika), dobijeno je da prosečno u toku meseca dolaze 173 m/v na PSt radi popune sa pogonskim sredstvima. Prosečni godišnji utrošak goriva na PSt je 80.000 l dizel-goriva D-2 i 15.000 l motornog benzina MB-95 [5].

Podaci o intenzitetu dolazaka vozila na PSt za tankiranje
Intensity of vehicle arrivals at gas stations

Tabela 1

Table 1

R. b.	Vrsta PgMS	Intenzitet dolazaka vozila-tankiranja na PSt za period od 01. 01. do 30. 06. 2006. god.					
		Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun
1.	Dizel D2	48	90	85	78	101	73
2.	Benzin MB86	10	26	14	17	23	27
3.	Benzin MB95	27	30	46	31	42	41
4.	Maziva	6	26	24	28	34	27
UKUPNO		91	172	169	156	200	168

Ako prosečno u mesecu ima 21 radni dan, znači da se prosečno dnevno na PSt tankira 8,24 m/v. Pošto su retka tankiranja neradnim danom i popodne (samo po odobrenju dežurnog oficira kasarne, tankira dežurni vojnik manipulant), ona se zanemaruju, uzeto je da pumpna stanica radi dnevno 7 sati (smotra od 07.30 do 08.00 časova i pauza za doručak od 10.00 do 10.30 časova), tako da je dobijeno da je na PSt očekivani intenzitet dolazaka vozila od 1,18 vozila na sat ($\lambda = 1,18$ voz/sat). Srednje vreme opsluživanja jednog vozila (izdavanje goriva i ažuriranje propisane dokumentacije) na PSt je 4 minuta ($T_{sr} = 4$ min). Na PSt, na izdavanju goriva rade jedan manipulant (vojnik po ugovoru, VPU) i podoficir koji je rukovalac goriva. U praksi se realizuje jednokanalno opsluživanje ($s = 1$) a red za čekanje m/v nije ograničen ($m = \infty$). Možemo smatrati da ima beskonačno mnogo mesta u redu. Stacionarni režim rada postoji, jer je $\rho < 1$.

Ilić, S. i dr., Analiza efikasnosti mogućih modela opsluživanja na pumpnim stanicama primenom teorije masovnog opsluživanja, pp. 93–115

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o modelu br. 1. kao SMO, potrebno je analizirati SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost PSt (opreme i poslužioaca koji rade) i predložiti načine moguće optimizacije, tj. poboljšanja iskoristivosti kapaciteta PSt (manipulanata i pogonske opreme).

REŠENJE:

Ovaj model, označen prema Kendalu $M(\lambda)/M(\mu)/1/\infty$, može se razmatrati kao čist SMO sa čekanjem sa jednim kanalom, gde broj mesta u redu i vreme čekanja u redu nisu ograničeni. Može se razmatrati kao prost Pausonov potok sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada, dolasci vozila na opsluživanje su slučajni tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene matematičke relacije za određivanje osnovnih parametara SMO. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 1$ – jednocanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda_{sr} = 8,24$ vozila/dan – 1,18 vozila/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 4$ minuta – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m \rightarrow \infty$ – neograničena dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, prema formulama iz tabele literature [1], pretpostavljajući stacionarni režim rada, dobijaju se karakteristike sistema date u nastavku.

1. Intenzitet opsluživanja vozila (μ)

$$\mu = \frac{1}{T_{sr}} = \frac{60}{4} = 15 \text{ voz/sat} \quad (4)$$

2. Parametar – faktor opsluživanja (ρ)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1,18}{15} = 0,07867 \quad (5)$$

3. Verovatnoće opsluživanja (p)

U slučaju $m \rightarrow \infty$, ($\rho < 1$) verovatnoće opsluživanja imaju sledeće vrednosti:

$$p_{ops} \rightarrow 1, \text{ onda je } p_{otk} = 0, \quad (6)$$

$$p_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{m+2}} \rightarrow 1-\rho \quad (7)$$

$$p_0 = 1 - 0,07867 = 0,92133 \approx 92,13\%;$$

$$p_n = \rho^n (1-\rho), n=0, 1, 2, \dots, m+1. \text{ – verovatnoće različitih } n\text{-stanja.} \quad (8)$$

$p_1 = \rho^1(1 - \rho) = 0,07867 \times 0,92133 = 0,07248 = 7,25\%$ – verovatnoća da će biti jedno vozilo na opsluživanju na PSt,

$p_2 = \rho^2(1 - \rho) = 0,07867^2 \times 0,92133 = 0,0057 = 0,57\%$ – verovatnoća da će biti dva vozila na opsluživanju na PSt,

$p_3 = 0,000448582 = 0,045\%$ – verovatnoća da će biti tri vozila na opsluživanju na PSt,

$p_4 = 0,00353\%$ – verovatnoća da će četiri vozila biti na opsluživanju na PSt.

4. Verovatnoća otkaza (neopsluživanja)

$P_{otkaza} = 0$ – verovatnoća otkaza m/v u toku radnog vremena, uz pretpostavku da je manipulant uvek na PSt.

$P_{opsluziv} = 1 - P_{otkaza} = 1 = 100\%$ – verovatnoća opsluživanja predstavlja relativnu propusnu moć SMO, podatak koji nam pokazuje kolika je verovatnoća usluživanja svih pristiglih vm/v na PSt.

5. Apsolutna propusna sposobnost sistema (A) je

$$A = \lambda \cdot P_{opsluz} = 1,18 \text{ voz/sat} \times 1 = 1,18 \text{ voz/sat} \quad (9)$$

6. Očekivani broj vozila u redu (L_q)

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,07867^2}{1 - 0,07867} = \frac{0,00619}{0,92133} = 0,00672 \text{ vozila} \quad (10)$$

7. Očekivani broj vozila u SMO (L)

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,07867}{0,92133} = 0,08539 \text{ vozila} \quad (11)$$

8. Očekivano vreme čekanja u redu (W_q)

$$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda} = \frac{0,07867}{15 - 1,18} = 0,005692 \text{ sati} = 0,34 \text{ minuta} = 20,5 \text{ sekunde} \quad (12)$$

9. Očekivano vreme zadržavanja vozila u sistemu SMO (W)

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{15 - 1,18} = 0,07236 \text{ sata} = 4,34 \text{ minuta} \quad (13)$$

Ako proverimo preko Litlove formule isto dobijamo

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{0,08539}{1,18} = 0,07236 \text{ sata} = 4,34 \text{ minuta} \quad (14)$$

10. Verovatnoća nezauzetosti Pumpne stanice (p_0)

Verovatnoća nezauzetosti kanala – PSt jednaka je verovatnoći neopsluživanja (nema vozila na PSt)

$p_0 = 0,92133 \approx 92,13\%$ – što predstavlja potpunu neiskorišćenost kapaciteta PSt (opreme i ljudstva);

11. Očekivani broj zauzetih kanala PSt (s_z)

$$s_z = L_{opsl} = \rho \cdot p_{opsl} = 0,07867 \times 1 = \rho = 0,07867 \quad (15)$$

12. Verovatnoća zauzetosti kanala, iskorišćenosti PSt (opreme i ljudstva),

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{opsl}}{s} = \frac{0,07867}{1} = 0,07867 = 7,87\% \quad (16)$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 7,87%, izuzetno je nizak, nezadovoljavajući. Ako uzmemo u obzir da u praksi na ovoj PSt rade i mogu da se angažuju i dva poslužioaca (rukovaalac podoficir i VPU manipulant), tj. dva kanala za opsluživanje uz isti dolazni potok vozila ($\lambda - 1,18$ voz/sat), dobili bismo još niži, lošiji rezultat iskorišćenja ljudstva – poslužioaca i pumpnih automata na PSt od 1,97 %.

Na osnovu dobijene vrednosti od 7,87 % (daleko niža od 50 %) iskorišćenosti kapaciteta na PSt i nemalih ukupnih troškova za plate angažovanog osoblja (rukovaoca i manipulanta) na prijemu i izdavanju p/s na PSt kao i troškova tehničkog održavanja i baždarenja pumpnih automata i druge opreme na PSt, zaključujemo da je ekonomska opravdanost SMO na postojećem opisanom modelu PSt izuzetno niska, nezadovoljavajuća i da je dalji opstanak i primena ovakvog modela neracionalna.

Optimizacija ovog modela opsluživanja vojnih m/v sa gorivom, odnosno moguća rešenja ovog problema, bila bi sledeća:

- 1) da PSt ne radi osam sati dnevno, tj. puno radno vreme, već da se odredi samo sat dnevno (npr. od 08.00 do 09.00 časova) za realizaciju tankiranja, a da taj posao radi jedno lice, npr. rukovaalac r/d, kao dodatnu dužnost uz svoj redovni posao;
- 2) zbog neracionalnosti i neekonomičnosti ne koristiti PSt u kasarni za popunu potrošača gorivom (*koristiti samo kao smeštajni prostor za čuvanje goriva u trupnim ratnim rezervama*), već njihovu popunu vršiti na određenoj civilnoj „Jugopetrolovoj“ PSt u gradu, s obzirom na to da i ovako kupujemo – snabdevamo se sa gorivom koje nam prodaje i distribuira „Jugopetrol“ (obradićemo kao poseban SMO, model br. 4).

Opsluživanje vozila na PSt u kasarni „Pantelej“ Niš

Statističkom analizom očekivanog intenziteta dolazaka vozila na PSt i opsluživanja vojnih m/v u periodu od 1. januara 2008. do 30. maja 2008, a na osnovu stvarnih podataka dobijenih iz LIP GiM, dobijeno je da prosečno u toku meseca dolaze 474 m/v na PSt kasarne „Pantelej“ (prolazna PSt u garnizonu) radi popune sa pogonskim sredstvima. Godišnji utrošak goriva na PSt je 300.000 L dizel-goriva D-2 i 50.000 L motornog benzina MB-95.

Ako prosečno u mesecu ima 21 radni dan, znači da se prosečno dnevno na PSt tankira 22,57 m/v. S obzirom na to da je PSt prolazna za garnizon Niš, tankira se u dve smene (radno vreme PSt: od 07.00 do 11.00 časova i od 15.00 do 19.00 časova), pumpna stanica radi dnevno osam sati, tako da je dobijeno da je na PSt očekivani intenzitet dolazaka vozila od 2,82 vozila na sat ($\lambda = 2,82$ voz/sat). Srednje vreme opsluživanja jednog vozila (izdavanje goriva i ažuriranje propisane dokumentacije) na PSt je 4 minuta ($T_{sr} = 4$ min). Na PSt, na izdavanju goriva radi u obe smene po jedan manipulanta (ukupno dva vojnika po ugovoru, VPU) i podoficir koji je rukovalac goriva. U praksi se realizuje jednokanalno opsluživanje ($s=1$), a red za čekanje m/v nije ograničen ($m = \infty$). Možemo smatrati da ima beskonačno mnogo mesta u redu. Stacionarni režim ra-
da postoji, jer je $\rho < 1$.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o modelu br. 2. kao SMO, potrebno je analizirati ovaj SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost PSt (opreme i poslužilaca koji rade) i predložiti načine moguće optimizacije, tj. poboljšanja iskoristivosti kapaciteta PSt (manipulanata i pogonske opreme).

REŠENJE:

Ovaj model, označen prema Kendalu $M(\lambda)/M(\mu)/1/\infty$ kao i prethodni model, može se razmatrati kao SMO sa čekanjem sa jednim kanalom, gde broj mesta u redu i vreme čekanja u redu nisu ograničeni. Može se razmatrati kao prost Pausonov potok sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada, dolasci vozila na opsluživanje su slučajni tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene matematičke relacije za određivanje

osnovnih parametara SMO. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 1$ – jednokanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda_{sr} = 2,82$ voz/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 4$ minuta – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m \rightarrow \infty$ – neograničena dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, prema formulama iz tabele literature [1], pretpostavljajući stacionarni režim rada, dobijaju se karakteristike sistema, analogno matematičkom modelu datom za prethodni model SMO, tako da proračun nije prikazan u nastavku, već su rezultati za model 2. prikazani u tabeli 2.

Verovatnoća zauzetosti kanala, iskorišćenosti PSt (opreme i ljudstva),

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{opsl}}{s} = \frac{0,1881}{1} = 0,1881 = 18,81\% \quad (17)$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila u vrednosti od 18,81% je nizak, ali s obzirom na to da je 2,4 puta veći nego u modelu br. 1. i da se na PSt opslužuju borbena vozila (guseničari), predmetna PSt je perspektivna za dalju upotrebu. Troškovi tehničkog održavanja za ovaj model su načelno isti kao i za prethodni model, troškovi za plate su veći za jednog zaposlenog manipulanta.

Optimizacija ovog modela opsluživanja vojnih m/v gorivom, odnosno moguća rešenja ovog problema, bila bi sledeća:

- 1) modernizacija pumpne stanice (zamena starih pumpnih automata sa savremenim, uvođenje automatizacije izdavanja i praćenja stanja);
- 2) povećanje iskorišćenja kapaciteta PSt, oslanjanjem više jedinica (veći broj korisnika za opsluživanje).

Tabela 2
Modeli sistema masovnog opsluživanja (SMO) na pumpnim stanicama za popunu vozila gorivom
Table 2

Models of large-scale queuing systems for fuel filling at gas stations

Modeli SMO na pumpnim stanicama za popunu vozila gorivom

- 1) Model br. 1.: M/M/1/FIFO/∞. PSt u kasarni "G.P. Jurišić Šturm" Požarevac
 2) Model br. 2.: M/M/1/FIFO/∞. PSt u kasarni "Pantelejš" Niš
 3) Model br. 3.: M/M/2/FIFO/5. PSt "Jugopetrol" Požarevac (za civilna vozila)
 4) Model br. 3.: M/M/2/FIFO/5. PSt "Jugopetrol" Požarevac (za civilna i vojna motorna vozila, gde je izvršena automatizacija)

Poznati parametri SMO	model br. 1.	model br. 2.	model br. 3.	model br. 4.
Broj kanala, s	1	1	2	2
Intenzitet toka dolazaka vozila, λ (voz/sat)	1,18	2,82	22	23,25
Očekivano vreme opsluživanja jednog vozila, t_{sr} (min)	4	4	2,5	2,5
Dužina reda čekanja, m	бескон.	бескон.	5	5
Dobijeni parametri SMO	model br. 1.	model br. 2.	model br. 3.	model br. 4.
Intenzitet opsluživanja, μ (voz/sat)	15	15	24	24
Faktor opsluživanja 1 kanala, p	0,08	0,19	0,92	0,97
Faktor opsluživanja višekanalnog SMO, p			0,46	0,48
Očekivani broj zauzetih kanala, S_z	0,08	0,19	0,91	0,96
Verovatnoća neopsluživanja, p_0	0,92	0,81	0,37	0,35
Verovatnoća zauzetosti kanala, p_s	0,07	0,15	0,16	0,16
Očekivani broj vozila u redu, L_g	0,01	0,04	0,23	0,27
Očekivani broj vozila u SMO, L	0,09	0,23	1,14	1,23
Očekivano vreme čekanja u redu, W_q (min)	0,34	0,93	0,62	0,70
Očekivano vreme zadržavanja u SMO, W (min)	4,34	4,93	3,12	3,20
Očekivani procenat nezauzetosti PSt, (%)	92,13	81,20	37,24	34,88
Očekivani procenat iskorisćenosti PSt, (%)	7,87	18,80	45,69	48,23
Godišnji troškovi uštede VS (din)	0	0		1000000
RANG modela po optimalnosti za VS	III	II		I
Verovatnoća opsluživanja, ovisno od broja m u SMO, P_n	model br. 1.	model br. 2.	model br. 3.	model br. 4.
p_0	0,92	0,81	0,37	0,35
p_1	0,07	0,15	0,34	0,34
p_2	0,01	0,03	0,16	0,16
p_3	0,00	0,01	0,07	0,08
p_4	0,00	0,00	0,03	0,04
p_5			0,02	0,02
p_6			0,01	0,01
p_7			0,00	0,00
potkaza	0,00	0,00	0,00	0,00

Opsluživanje civilnih vozila na PSt „JUGOPETROL“ u Požarevcu

Na ispitivanj PSt kao modelu broj 3, na dva kanala za opsluživanje potrošača sa gorivom, rade dva poslužioaca ($s=2$) svakog dana u nedelji, u trajanju od 14 sati dnevno (od 06.00 do 20.00 časova), u dve smene. Na prilazu

Ilić, S. i dr., Analiza efikasnosti mogućih modela opsluživanja na pumpnim stanicama primenom teorije masovnog opsluživanja, pp. 93–115

pumpnim automatima PSt može da bude parkirano još pet vozila ($m=5$). Na osnovu praćenja i izjave poslužioaca, ustanovljeno je da prosečni očekivani dolazak vozila na PSt za popunu je 22 vozila/sat, a srednje vreme popune – opsluživanja jednog vozila gorivom je 2,5 minuta. Ako je parkirano pat vozila ispred PSt onda se šesto m/v ne može zaustaviti na parkiralištu PSt u red za čekanje popune, već dobija otkaz i mora produžiti vožnju neopsluženo.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o modelu br. 3. kao SMO potrebno je analizirati ovaj SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost PSt (opreme i poslužioaca koji rade).

REŠENJE:

Ovaj model, označen prema Kendalu $M(\lambda)/M(\mu)/2/5$, može se razmatrati kao mešoviti SMO sa dva kanala, gde je broj mesta u redu sa čekanjem ograničen na pet, gde nailazi prost Pausonov potok korisnika sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada. Dolasci vozila na opsluživanje su slučajna promenljiva tako da važi Eksponecijalna raspodela i prihvaćene su matematičke relacije za određivanje osnovnih parametara SMO. Stacionarni režim rada postoji, jer je $\alpha < 1$. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 2$ – višekanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda = 22$ voz/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 2,5$ min. – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m = 5$ – dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, prema fomulama iz tabele literature [3], dobijaju se karakteristike sistema date u nastavku.

1. Intenzitet opsluživanja vozila (μ)

$$\mu = \frac{1}{T_{sr}} = \frac{60}{2,5} = 24 \text{ voz/sat} \quad (18)$$

2. Parametar – faktor opsluživanja po kanalu (ρ)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{22}{24} = 0,91667 \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{\rho}{s} = \frac{0,91667}{2} = 0,4583 \text{ – faktor opsluživanja višekanalnog SMO} \quad (20)$$

3. Verovatnoće opsluživanja

Ako je m broj mesta u redu, onda u sistemu može biti od 0 do $s + m + 2$ stanja, zavisno od broja klijenata – vozila na PSt. Verovatnoća opsluživanja ovih događaja u ustaljenom – stacionarnom režimu rada određuju se sledećim relacijama.

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^s \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^s}{s!} \cdot \alpha \cdot \frac{1 - \alpha^m}{1 - \alpha}}, \text{ za } n=0, 1, \dots, s \text{ (} n \text{ je broj vozila na PSt)} \quad (21)$$

$$p_0 = \frac{1}{1 + 0,91667 + \frac{0,91667^2}{2} + \frac{0,91667^2}{2} \cdot 0,45833 \cdot \frac{1 - 0,45833^5}{1 - 0,45833}}$$

$$p_0 = \frac{1}{2,685} = 0,37242 = 37,24\% \text{ – verovatnoća neopsluživanja (ne-}$$

zauzetosti) na PSt, da neće biti nijednog m/v na PSt za tankiranje, neće biti čekanja u redu;

– verovatnoće za stanje X_1 (jedno vozilo na PSt) i X_2 (dva vozila na PSt), do stanja x_s ;

$$p_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot p_0, \text{ za } n=1, 2. (s=2), \rho = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (22)$$

$$p_1 = 0,91667 \cdot 0,37242 = 0,34139 = 34,14\%$$

$$p_s = p_2$$

$$p_2 = \frac{0,91667^2}{2!} \cdot 0,37242 = 0,15647 = 15,647\%$$

– verovatnoće za stanja od X_3 do X_{2+m} (od stanja x_{s+1} do x_{s+m} vozila, $m - 5$);

$$p_{s+r} = \alpha^r \cdot p_s = \alpha^r \cdot \frac{\rho^s}{s!} p_0, \quad r = 1, 2, \dots, m; \quad \alpha = \frac{\rho}{s} = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (22)$$

$$p_3 = 0,4583 \cdot 0,15647 = 0,0717 = 7,17\%, p_4 = 0,03286 = 3,286\%,$$

$$p_5 = 0,01506 = 1,506\%,$$

$$p_6 = 0,0069 = 0,69\%, p_7 = 0,003163 = 0,32\%.$$

4. Verovatnoća otkaza

Verovatnoća otkaza m/v, pod uslovom da su dva m/v na tankiranju i da je svih pet mesta u redu za čekanje zauzeto, nema mesta za čekanje

$$P_{otk} = p_{s+m} = p_7 = 0,003136 = 0,32\%. \quad (23)$$

5. Verovatnoća opsluživanja

$$p_{opsluziv} = 1 - p_{otkaza} = 1 - 0,0032 = 0,9968 = 99,68 \% \quad (24)$$

Verovatnoća opsluživanja ($p_{opsluziv}$) predstavlja **relativnu propusnu moć SMO**, podatak koji nam pokazuje koliko bi vozila bilo usluženo u odnosu na broj vozila koja bi pristigla i želela uslugu.

U ovom primeru pod datim uslovima, znači od ukupnog broja vozila koja budu želela i došla na uslugu, biće uslužena skoro sva vozila – 99,68 %.

6. Apsolutna propusna sposobnost sistema (A) je

$$A = \lambda \cdot p_{opsl} = 22 \text{ voz/sat} \times 0,9968 = 21,93 \text{ voz/sat} \quad (25)$$

7. Očekivani broj vozila u redu (L_q)

$$L_q = p_s \cdot \alpha \cdot \frac{1 - \alpha^m [m(1 - \alpha) + 1]}{(1 - \alpha)^2}, \text{ za } \alpha \neq 1 \quad (26)$$

$$L_q = 0,15647 \cdot 0,45833 \cdot \frac{1 - 0,45833^5 \cdot [5 \cdot (1 - 0,45833) + 1]}{(1 - 0,45833)^2}$$

$$L_q = 0,071714895 \cdot \frac{0,924998}{0,293406} = 0,2261$$

9. Očekivani broj zauzetih kanala (s_z)

$$s_z = \rho \cdot p_{opsl} = 0,91667 \cdot 0,9968 = 0,9137 \text{ vozila} \quad (27)$$

10. Očekivani broj vozila u SMO na PSt (L)

$$L = s_z + L_q = 0,9137 + 0,2261 = 1,14 \text{ vozila} \quad (28)$$

11. Očekivano vreme čekanja na uslugu, koje vozilo provede u redu (W_q)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0,2261}{22} = 0,010277 \text{ sati} = 0,6166 \text{ minuta} = 37 \text{ sekund} \quad (29)$$

12. Očekivano vreme zadržavanja vozila u sistemu SMO (W)

$$W = W_q + T_{sr} = 0,6166 \text{ min} + 2,5 \text{ min} = 3,1166 \text{ minuta} = 3 \text{ minuta i 7 sekundi} \quad (30)$$

Ako proverimo preko Litlove formule isto dobijamo

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1,14}{22} = 0,05182 \text{ sata} = 3,11 \text{ minuta} = 3 \text{ minuta i 7 sekundi} \quad (31)$$

13. Verovatnoća nezauzetosti Pumpne stanice

Verovatnoća nezauzetosti Pumpne stanice u odnosu na ukupno vreme rada jednaka je verovatnoći neopsluživanja (nema vozila na PSt)

$p_0 = 0,37242 \approx 37,24\%$ – što predstavlja slabu iskorišćenost kapaciteta PSt (opreme i ljudstva);

14. Očekivani broj zauzetosti PSt (s_z)

Očekivani broj zauzetosti kanala, tj. očekivani srednji broj vozila na PSt, izračunava se

$$s_z = L_{opsl} = \rho \cdot p_{opsl} = 0,91667 \times 0,9968 = 0,9137 \quad (32)$$

15. Verovatnoća zauzetosti kanala, iskorišćenosti PSt (K_z),

U odnosu na ukupno radno vreme PSt, verovatnoću zauzetosti kanala (PSt, opreme i poslužioca), tj. koeficijent zauzetosti kanala može da se dobije i na sledeći način

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{opsl}}{s} = \frac{0,9137}{2} = 0,45685 = 45,685\% = K_z \quad (33)$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 46%, znatno je veći nego na vojnim PSt. Zaključujemo da je ekonomičnost i efektivnost SMO na postojećem opisanom modelu PSt mnogo bolja u odnosu na postojeće opisane modele br. 1 i br. 2, ali je i ona nezadovoljavajuća i ima mesta za racionalizaciju i poboljšanje, tj. dodatno angažovanja kapaciteta PSt, ljudi i opreme. Optimizacija ovog modela opsluživanja, poboljšanje iskorišćenja ljudstva – poslužilaca i pumpnih automata na PSt, može ići u dva pravca:

- 1) povećanje intenziteta dolaznog potoka vozila, angažovanjem istih i za popunu vojnih m/v ili pak za davanje i drugih usluga,
- 2) smanjenje broja kanala – poslužilaca u SMO.

Opsluživanje civilnih i vojnih vozila na civilnoj PSt, na kojoj je automatizovano izdavanje i praćenje stanja goriva

Model broj 4. je pretpostavljena civilna, moderna, automatizovana PSt u Požarevcu, sa sledećim karakteristikama:

- dva kanala za opsluživanje potrošača i dva poslužioca ($s=2$);
- opslužuje se svakog dana u nedelji, u trajanju od 14 sati dnevno (od 06.00 do 20.00 časova);
- pretpostavlja se isti prosečni očekivani dolazak civilnih vozila na PSt, kao u modelu broj 3, 22 vozila/sat, i pretpostavlja se intenzitet dolazaka vojnih m/v za popunu na civilnu PSt od 1,25 vozila/sat u toku radnog vremena (od 07.00 do 15.00 časova);

- pretpostavlja se da je srednje vreme popune – opsluživanja jednog vozila sa gorivom i dalje 2,5 minuta;
- na prilazu pumpnim automatima PSt može da bude parkirane još pet vozila ($m=5$);
- ako je parkirano pet vozila ispred pumpe onda se šesto ne može zaustaviti na parkiralištu PSt u red za čekanje popune, već dobija otkaz i mora produžiti vožnju neopsluženo.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o pretpostavljenom modelu br. 4. kao SMO, potrebno je analizirati ovaj SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost pumpne stanice (opreme i poslužilaca koji rade).

REŠENJE:

Ovaj model može se razmatrati kao i prethodni model, SMO sa dva kanala, gde je broj mesta u redu sa čekanjem ograničen na pet, gde nailazi prost Pausonov potok korisnika sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada. Dolasci vozila na opsluživanje su slučajna promenljiva tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene su matematičke relacije za određivanje osnovnih parametara SMO. Stacionarni režim rada postoji, jer je $\alpha < 1$. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 2$ – višekanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda = 23,25$ voz/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 2,5$ min. – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m = 5$ – dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, čija bi Kendalova oznaka bila $M(\lambda)/M(\mu)/2/5$ i formula iz tabele literature [1], dobijaju se karakteristike sistema analogne prethodnom modelu br. 3, tako da proračun nije prikazan u nastavku, već su rezultati za model 4. prikazani u tabeli 2.

Verovatnoća zauzetosti, iskorišćenosti PSt (opreme i ljudstva), tj. koeficijent zauzetosti kanala (K_z), izračunava se

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{ops}}{s} = \frac{0,9625}{2} = 0,4813 = 48,13\% = K_z$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 48%, veći je u odnosu na prethodni model br. 3. Može se zaključiti da je ekonomičnost i efektivnost SMO na postojećem opisanom modelu PSt bolja u odnosu na postojeća tri modela u praksi, posle automatizacije na PSt. Primenom konkretnog rešenja bila bi znatno poboljšano praćenje kvantitativnog stanja goriva i smanjila se mogućnost nastajanja ljudske greške, obmane i otuđenja.

Analiza modela opsluživanja na pumpnim stanicama primenom teorije masovnog opsluživanja

Analizom efikasnosti opisanih modela PSt, primenom metoda [7] operacionih istraživanja [1], a posebno saznanja teorije masovnog opsluživanja, može se doći do mnogih saznanja koja mogu biti od velike koristi za poboljšanje funkcionisanja realnih sistema, u našem slučaju, usluživanja vojnih m/v sa gorivom na PSt, a s ciljem projektovanja modela u kome je odnos između nivoa efikasnosti i troškova najprihvatljiviji. U tabeli 2 dat je prikaz rezultata automatizovanog proračuna parametara sva četiri analizirana modela SMO, na osnovu poznatih podataka. Uporedni pregled najbitnijih kvantitativnih parametara efikasnosti dat je u tabeli 3.

Tabela 3

Uporedni pregled parametara efikasnosti modela sistema masovnog opsluživanja (SMO) vojnih m/v na pumpnim stanicama

Table 3

Comparison of the parameters of the effectiveness of the described large-scale queuing system models for military vehicles at gas stations

Dobijeni parametri SMO	Model br. 1.	Model br. 2.	Model br. 3.	Model br. 4.
1	2	3	4	5
Očekivano vreme zadržavanja u SMO, W (min)	4,34	4,93	3,12	3,19
Očekivani procenat nezauzetosti PSt, p_0 (%)	92,13	81,19	37,24	34,88
Očekivani procenat iskorišćenosti PSt, p_{zk} (%)	7,87	18,81	45,69	48,13
Godišnji utrošak – izdavanje goriva na PSt	80.000 L D- ₂ 15.000 L MB	300.000 L D- ₂ 50.000 L MB	/ /	smanjenje potrošnje, izdavanjem samo do ugovorene – odobrene kvote goriva
RANG Modela:	III	II		I

Na osnovu parametara efikasnosti proučavanih modela SMO datih u tabeli 3 i već izloženog može se zaključiti sledeće [3]:

- model br. 1. ima izuzetno nizak procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt od 7,87%, pa je dalji opstanak i primena ovakvog modela neracionalna;
- model br. 2. sa procentom iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 18,81%, koji je 2,4 puta veći nego u modelu br. 1, a s obzirom na to da se na predmetnoj PSt opslužuju borbena vozila (guseničari), ista je perspektivna za dalju upotrebu;

- model broj 4, predstavljao bi optimalni model opsluživanja vojnih vozila na PSt, s obzirom na sledeće:
 - najveća efikasnost i iskorišćenosti kapaciteta PSt (48,3%);
 - ostvaruju se najveće uštede, zbog manjih troškova (za plate dva zaposlena, trošak za tehničko održavanje opreme, manji transportni troškovi i nema evaporativnog rastura goriva prilikom manipulacije, transporta i skladištenja);
 - tendencija oslonca na civilne kapacitete društva i smanjenje broja zaposlenih u VS.

Zaključak

U sadašnjim restriktivnim uslovima finansiranja i reforme VS, s ciljem pravovremenog obezbeđenja realnih potreba sa gorivom, njenog funkcionisanja i obavljanja namenskih zadataka, uz smanjenje ukupnih troškova, neophodno je uz primenu naučnih metoda projektovati optimalni model masovnog opsluživanja potrošača sa gorivom na PSt. Optimizacija postojećih modela masovnog opsluživanja na PSt, sa aspekta efikasnosti i ekonomičnosti, ogledala bi se u racionalizaciji i modernizaciji postojećih vojnih kapaciteta i većim oslanjanjem na razvijene nacionalne kapacitete.

Osloncem na automatizovane civilne PSt (model broj 4), kao novim budućim konceptom popune vojnih m/v pogonskim gorivom, ostvarili bi se sledeći rezultati:

- pouzdano i efikasnije snabdevanje vojnih m/v sa gorivom na PSt;
- dobijanje tačnih i automatizovanih podataka o parametrima stanja goriva (nivo – zapremina, temperatura, nivo vode) i izdavanju goriva u određenom sektoru – lokaciji, po vozilu i vozaču;
- znatno smanjenje ukupnih troškova u sistemu snabdevanja gorivom u VS, po sledećem:
 - manji troškovi za plate angažovanog osoblja na PSt;
 - smanjenje nepotrebnih distribucija goriva do PSt (utrošak goriva za transport, amortizacija angažovanih vojnih m/v, dnevnice za angažovano ljudstvo);
 - smanjenje godišnje potrošnje goriva do 10% (efekat se ostvaruje zadatim kvotama i limitima točenja goriva, preko kojih automatizovani sistem ne dozvoljava točenje goriva);
 - manji troškovi za tehničko održavanje i baždarenja pogonske opreme vezanih za rad vojnih PSt;
 - manji evaporativni dozvoljeni gubici goriva (isparavanje) prouzrokovani transportnim, manipulativnim i skladišnim rasturom, te mogućim neopravdanim gubicima (ljudska greška, isticanje, otuđenje);

- postojeći smeštajni kapaciteti za gorivo na PSt u kasamama koristili bi se za smeštaj i čuvanje trupnih RMR uz jedinicu;
- smanjenje potencijalnih opasnosti za životnu sredinu i odgovornosti vezanih za posjedovanje velikog broja PSt (bez upotrebnih dozvola);
- povraćaj novca prodajom viška tehničke opreme sa neiskorišćenih vojnih PSt civilnim strukturama ili izdavanje u zakup;
- neosporivo i efikasno praćenje izdavanja goriva, utroška i realizacije naplaćivanja;
- poboljšanje pozicije pregovaranja o ceni goriva sa „Jugopetrolom“, jer se troškovi distribucije i znavljanja smanjuju i moguće su kompenzacije – izdati im smeštajni prostor i opremu na korišćenje.

Literatura

[1] Andrejić, M., „Metode i softver za podršku planiranju u logističkim organizacionim sistemima“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 49, No. 1, pp 36–52, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2001.

[2] Andrejić, M., Milenković, M., Sokolović, S., „Logistički informacioni sistem“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 1, pp 33–61, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd 2010.

[3] Stojiljković, M., Vukadinović, S.: „Operaciona istraživanja“, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1984.

[4] Nikolić, I., Borović, S.: „Metode i softver za operaciona istraživanja“, CD ROM, FON, Beograd, 2001. g.;

[5] Ilić, S., „Praćenje kvantitativnog stanja mimodopskih zaliha pogonskih sredstava na pumpnim stanicama“, magistarski rad, VA, Beograd, 2009.

[6] Nikolić, N., „Istraživanje modela i metoda masovnog opsluživanja za primenu u vojnim procesima“, doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd, 2005.

[7] Andrejić, M., Ljubojević, S., „Operaciona istraživanja u funkciji podrške odlučivanju u sistemu odbrane“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 57, No. 3, pp 15–28, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd 2009.

[8] Andrejić, M., Novaković, S., Majstorović, A., „Planiranje u vojnim organizacionim sistemima“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 56, No. 1, pp 13–31, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd 2008.

[9] Andrejić, M., „Uvod u logistiku“, udžbenik za osnovne akademske studije, SLJR – Vojna akademija, Beograd, 2010.

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF POSSIBLE QUEUING MODELS AT GAS STATIONS USING THE LARGE-SCALE QUEUING THEORY

FIELD: Mathematics (Operations Research)

Summary:

This paper analyzes the effectiveness of possible models for queuing at gas stations, using a mathematical model of the large-scale queuing theory. Based on actual data collected and the statistical analysis of the expected intensity of vehicle arrivals and queuing at gas stations, the mathematical modeling of the real process of queuing was carried out and certain parameters quantified, in terms of perception of the weaknesses of the existing models and the possible benefits of an automated queuing model.

Introduction

One of the current logistic problems in the Army of Serbia where the application of the mathematical modeling of the large-scale queuing theory is possible is the optimization of the existing inefficient and uneconomic systems supplying fuel to military vehicles and other consumers at gas stations.

The basic concepts of the large-scale queuing theory

The theory of large-scale queuing is a part of the probability theory. It uses its models and mathematical tools to solve many practical problems where a large number of clients are served. It deals with the analysis of phenomena with the task to facilitate system design and management, in a way that gives the best effect from the viewpoint of optimization criteria. The importance of the large-scale queuing theory lies in its ability to perform mathematical modeling of real processes of queuing and the quantification of specific process parameters such as service rate, time waiting in the queue to be served, queue length, number of service pools, service time, etc.

Application of the large-scale queuing theory for model evaluation and optimization

Solving a current problem in the practice by using a logical mathematical model of operations research will be shown through the modeling of real large-scale serving systems at gas stations. In the analysis of the presented massive queuing systems, we started from the presumption that the main parameters (the number of incoming vehicles per unit time and the inter-arrival times) are highly influenced by coincidence factors. Therefore, simplification and modeling were applied to facilitate solving the problems by the mathematical method of the large-scale queuing theory.

The analysis of queuing models at gas stations based on the large-scale queuing theory

The analysis of the effectiveness of the given gas station models and the operational research methods, the large-scale queuing theory in particular, can be highly beneficial in improving the functioning of real systems, fuel supply for military vehicles at gas stations in this case, aiming at designing the best cost-effective model. The paper gives a tabular overview of the most important parameters of the effectiveness of the described large-scale queuing system models for military vehicles at gas stations

Conclusion

Given the present restrictive terms of financing and reforming the Serbian Army in order to timely satisfy real needs for fuel supply within the overall Army's functioning while reducing overall costs at the same time, it is necessary to design an optimal model of a large-scale fuel consumer queuing at gas stations. The optimization of the existing models of large-scale queuing systems at gas stations, in terms of effectiveness and economy, would concern the rationalization and modernization of the existing military capacities and greater reliance on national capacities.

Key words: optimisation, large-scale queuing theory, gas station, rationalization, automation

Datum prijema članka: 03. 06. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 06. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 11. 06. 2010.

RAZRADA TEHNOLOŠKOG POSTUPKA PRI UGRADNJI I OPREMANJU INSTRUMENATA U VAZDUHOPLOVU

Đurković V. Sonja, D.O.O. „Utva“ A.I., Pančevo

OBLAST: mašinstvo

Sadržaj:

U radu je prikazan tehnološki postupak gradnje aviona malih gabarita i težine. Prikazana su opšta svojstva proizvodnje vazduhoplova, kao i posebnosti u proizvodnji vazduhoplova. Data je podela vazduhoplova i opšte karakteristike školsko-borbenog aviona lasta 95. Posebno je posmatran i analiziran tehnološki postupak sa osvrtom na tehnološke zahteve za konstrukciju alata i izradu elemenata i sklopova. Na kraju je dat zaključak sa predlogom organizacije službe tehnologije.

Key words: tehnologija gradnje vazduhoplova, završno opremanje, vazduhoplovna tehnologija.

Opšta svojstva proizvodnje vazduhoplova

Projektovanje i proizvodnja savremenih letelica predstavljaju izuzetno složen, dugotrajan i skup proces, koji zahteva angažovanje značajnih, stručnih i proizvodnih kapaciteta. Stoga razvoj i proizvodnja zauzimeju centralno mesto u tehnološkom razvoju.

Vazduhoplov predstavlja jedan od najkompleksnijih proizvoda industrije. Sama proizvodnja vazduhoplova obavlja se u *sintetičkom* proizvodnom procesu i *pojedinačnoj* proizvodnji, što je najsloženiji vid tehnološkog procesa.

Pri sintetičkom tehnološkom procesu proizvodi se dobijaju postepenim spajanjem većeg broja različitih materijala i proizvoda. Podrazumeva se da se materijali prerađuju u gotove delove, a delovi sklapaju u sklopove. Pojedinačna proizvodnja obavlja se kada se u proizvodnom procesu u isto vreme proizvodi samo jedan ili nekoliko proizvoda iste vrste, s tim što se u procesu proizvodi više raznih vrsta proizvoda.

Posebnosti u proizvodnji vazduhoplova

Pored opštih svojstava postoje i neke *posebnosti* koje se dalje odnose na pitanja organizacije proizvodnje, od istraživačko-razvojnog rada, do serijske proizvodnje i prodaje proizvoda na tržištu. Svojstva su sledeća:

1. Vazduhoplovi se, uglavnom, proizvode za unapred poznatog kupca. Samo veliki proizvođači mogu proizvoditi lake i srednje civilne letelice za slobodno tržište, tj. nepoznatog kupca.

2. Dugačka je i skupa faza istraživanja (zavisno od veličine i složenosti, kao i organizovanosti celokupne industrije, traje od 5 do 10 godina) u koju ulaze: a) definisanje zadatka, b) izrada taktičke studije, c) izrada prethodne analize, d) izrada programa realizacije, e) početni razvoj, od idejnog projekta do izrade modela, f) prototipski razvoj, sa izradom statičke probe, izrade prototipa (u većini slučajeva 2), kao i završnog ispitivanja, g) izrada „0“-te, serije, h) serijska proizvodnja.

3. Obezbeđenje pogonske grupe, opreme i repromaterijala zavisi od mogućnosti svake zemlje.

4. Svaki vazduhoplov sastavljen je od 50 000 do 250 000 delova, ne računajući zakivke, vijke, podloške i delove od žice. Ovde je neophodno uspostaviti organizaciju procesa po kojem će se ti delovi sastavljati u više hiljada većih ili manjih podsklopova, sklopova i konačno formirati proizvod.

5. Proizvodnja, po pravilu, kasni sa rokovima, pre nego što su ugovori i potpisani, pa se stalno radi užurbano. Konstruktivne promene su sasvim normalna pojava, pri čemu je nekad potrebno vršiti izmene i na alatima i dokumentaciji. Zato je neophodno imati „osnovu“ koja se odnosi na letelicu od koje se promena sprovodi, pa se tako, na primer za letelice koje imaju karakter izmene „a“ sprovodi izmena, a za sve prethodne su nepromenjene.

6. Škart ima negativan uticaj. Pored direktnih troškova, ozbiljno negativan uticaj škarta jeste remećenje plana proizvodnje. Zato se skupi elementi sa greškama moraju odvojiti od lota i čekati rešenje, tj. popravku ili odbacivanje. Postupak lansmana se ponavlja za broj odbačenih komada.

7. Kontrola kvaliteta obavlja se posle svake operacije – od izdavanja materijala do predaje i transporta. Zato se, na primer, odgovorni elementi (klasa „a“) dodatno kontrolišu, putem epruveta, praćenja „šarže“ materijala i slično.

8. Ulazak u serijsku proizvodnju odvija se na osnovu krive uhodavanja.

9. Zaključak je da za svojstva vazduhoplovne proizvodnje mora postojati veliki udeo stručnog inženjerskog kadra, koji se u srednje razvijenima zemljama kreće 15–20%, dok se za udeo zaposlenih u razvoju (ne samo inženjera) kreće 15–25% od ukupnog broja zaposlenih. Treba pomenuti da u ovaj procenat ne ulaze vazduhoplovno-tehnički instituti koji imaju po nekoliko hiljada ljudi.

Razvoj proizvoda

Razvoj vazduhoplova naraskidivo je povezan sa razvojem naprednih tehnologija, kroz uzajamnu uslovljenost. Zahtevi za boljim operativnim mogućnostima i boljim karakteristikama vazduhoplova podstiču *tehnološki razvoj*, koji će omogućiti da se oni zadovolje. Tehnološki razvoj dalje utiče na definisanje i formiranje novih generacija vazduhoplova, kao i same industrije koja ih proizvodi.

Podela vazduhoplova

Vojni vazduhoplovi dele se na:

- lovačke avione, koji pripadaju novoj generaciji, imaju povećanu pokretljivost i smanjenu vidljivost za radare,
- školsko-borbene, koji se razvijaju evolutivnim usavršavanjem sadašnjih tipova,
- transportne avione, koji se razvijaju u dva pravca, kao: strateški i taktički transportni avioni,
- borbene helikoptere, koji pripadaju novijoj generaciji i imaju velike promene u konfiguraciji.

Civilni vazduhoplovi dele se na:

- dozvučne avione, koji se razvijaju evolutivno,
- nadzvučne saobraćajne avione, koji bi uz primenu najmodernije računarske tehnike, u maksimalnoj meri koristili kompozitne materijale, kao i nove metalne i keramičke materijale u strukturi i pogonskoj grupi,
- laku opštu avijaciju, čiji je razvoj usmeren na ekonomičnost, ali je primena ograničena ekonomskim ulaganjima,
- poljoprivrednu avijaciju, koja nastavlja razvoj sa klipnih na turboelisne pogonske grupe, uz poboljšanja u opremi,
- civilne helikoptere, koji će primenjivati prilagođene verzije vojnih helikoptera.

Opšte karakteristike školsko-borbenog aviona *lasta 95*

Domaći školski avion (slika 1) proizvod je dugogodišnjeg rada naše naučnoistraživačke ustanove zadužene za razvoj i istraživanje sredstava naoružanja i vojne opreme – Vojnotehničkog instituta (VTI). Radni tim zadužen za razvoj aviona poslednjih je godina naporno i savesno radio na ovom projektu, uprkos mnogim teškoćama i preprekama na koje je nailazio. Avion je izrađen u pančevačkoj fabrici aviona „Utva“, a za njegovu svetsku promociju i probaj na svetsko tržište zadužen je „Jugoimport SDPR“.



Slika 1 – Školski avion „Lasta 95“
Figure 1 – Lasta 95 trainer-fighter aircraft

Prva faza projekta je završena. Trenutno se radi na verifikaciji rezultata i dodatnom ispitivanju, koje zajednički sprovode VTI i TOC. Kada rezultati zadovolje, sledi zvanična procedura za usvajanje *laste 95* i u naoružanje Vojske Srbije, a nakon toga serijska proizvodnja [1,3,8].

Lasta-95 je jednomotorni niskokrilac metalne konstrukcije, sa dva sedišta za pilote koja su postavljena jedno iza drugog. Uvlačeći stajni trap omogućava poletanje i sletanje sa betonskih i uređenih travnatih poletno-sletnih staza. Letelica je projektovana po postojećim svetskim standardima i opremljena savremenom elektronikom koja omogućava i GPS i radio-navigaciju. Avion je dug 7,97 m i visok 3,16 m, razmah krila mu je 9,71 m, a površina krila 12,9 m². Pokreće ga šestocilindrični motor *Lycoming AEIO-540-L1B5D*. Opremljen je pozicionim svetlima, reflektorom za sletanje, svetlom za taksiranje i protiv sudara. U budućnosti može biti opremljen sa dva spoljna potkrilna nosača naoružanja, nosivosti od po 120 kg, koji mogu da nose kontejnere sa mitraljezima, višecevnom lanserom nevođenih raketnih zrna kalibra 57 mm ili dve avio-bombe mase po 100 kg. Minimalna brzina leta iznosi 105 km/h, a maksimalna 340 km/h, dolet iznosi 1.060 km, taktički radijus opterećenog aviona je 400 km, dok je plafon leta 5.200 m. Maksimalna brzina penjanja je 8,5 m/s, a masa praznog aviona je 850 kg.

Lasta-95 ima male brzine sletanja i poletanja i oprašta greške neiskusnim pilotima. Zato je idealna pri selekciji kandidata u Vojnoj akademiji. Svojim karakteristikama i osavremenjenom opremom u potpunosti obezbeđuje obuku pilota u svim namenama: u osnovnom, figurativnom, navigacijskom i instrumentalnom letenju, osnovnim elementima noćnog letenja, instrumentalnom sletanju prve kategorije. Na njoj se mogu naučiti i osnovni elementi gađanja, raketiranja i bombardovanja [1, 8].

U daljem tekstu biće prikazane osnovne procedure ugradnje i opremanja instrumentalnih tabli u prvoj i drugoj kabini, navedeni zahtevi za izradu elemenata i ostalih nosača i potrebnih alata, kao i propratni tehnološki postupak po operacijama za dati avion. Pomenuti su i problemi koji se mogu javiti u avio-industriji, prilikom ugradnje i opremanja instrumenata.

Tehnološki zahtev za konstrukciju alata

Tehnološki zahtev za konstrukciju alata jeste zvaničan dokument koji tehnolog upućuje konstruktoru alata. Njime se zvanično saopštava svrha i način upotrebe alata u fazi tehnoloških zahvata i izrade elemenata i sklopova. Sve je to urađeno kako bi konstrukcije alata po gabaritu, geometriji, krutosti i kinematici u potpunosti ispunili tehnološke zamisli kvali-

teta sklopa, po odgovarajućoj ceni, uz postizanje što veće produktivnosti, kao i sigurnosti radnika pri radu [2,3]. Obrazac je prikazan na slici 2.

ZAHTEV IZRADU SERIJSKOG ALATA AVIONA „LASTA 95“

Rok završetka alata: Konstrukc.	Broj: Izrade:		
			
NAPOMENA:			
Prvi kraj REDUCIRA A 31/ SAE 5-35 treba da odgovara priloženom uzorku, kao i priloženoj skici sa odgovarajućim izmernenim dimenzijama (skratiti njegovu dužinu za 2 mm), a drugi reducira treba da odgovara priloženom uzorku broj 2.- (označena strana u plavoj boji, priključak sa creva sa uređaja Pitot statičkog kofera).			
Napomena: Prethodni zahtev za izradu alata ima izmenu, zbog česte upotrebe i veoma velikog habanja izraditi od čelika . Dati element je odrađen od duraluminijuma, ali ne zadovoljava standarde ispitivanja.			
1. ADAPTER za ENKODER	A 31 / SAE 5-35	3	
Veza sa teh. pregled.	Kol		
Izdanje			
Oznaka alata			
ZAHTEV POKRENIO Datum: 28.11.2010 Potpis: BURKOVIC SINJA	ZAHTEV ODOBRILO Datum: 12.11.2010 Potpis: GRBIC MIRJANA	PRIMIO ZA KONSTRUKCIJU Datum: 12.11.2010 Potpis: TURKALJ BRAGAN	PRIMIO ZA KONTROLU Datum: _____ Potpis: _____
			1 2 3

Slika 2 – Tehnološki zahtev za konstrukciju alata
Figure 2 – Technological request for tool construction

Ukoliko su uslovi izrade i primene alata komplikovani potrebni su i usmeni kontakti između tehnologa i konstruktora alata, kako bi se što bolje objasnila sama uloga alata, kao i pisani zahtev uz priloženu skicu. Zahtev se piše kao duplikat, tako da jedan primerak ostane kod konstruktora alata, a drugi se vraća tehnologu koji je i uputio zahtev. U zaglavlju

postoje sledeće rubrike: redni broj, broj crteža, izdanje, alat, veza za tehnološkim pregledom i rok alata (konstrukcije izrade) [5].

- Prva rubrika (slika 2), služi da se upiše broj koliko se zahteva alata 1, 2, 3, ..., jer se na jednoj zahtevnici, ako su alati slični, može tražiti i više alata.
- U drugu rubriku upisuje se broj crteža elementa ili sklopa za kojeg je neophodan potraživani alat.
- U rubriku „Izdanje“ upisuje se izdanje konstruktivnog crteža koji će služiti konstruktoru alata kao osnova pri konstrukciji i dimenzionisanju alata.
- U rubrici „Alat“, upisuje se šifra alata po kojoj se raspoznaje za šta se koristi taj alat, na primer: A-alat, L-linarski rad. AL-15 koristi se za formiranje (savijanje elemenata) na presi, AG-12 alat za glodanje, brojka 12 jeste ravansko kopirno glodanje.
- U rubrici „Veza za tehnološki pregled“ upisuje se oznaka tehnološke skupine kojoj element pripada.
- U rubriku „Rok završetka alata“ tehnolog treba da upisuje datum do kojeg treba da se konstruiše i izradi dotični alat, sve radi izrade višeg sklopa.

Tehnološki zahtev za izradu elemenata i sklopova

Ovaj zahtev takođe je zvanični dokumenat za izradu elemenata, podsklopova i sklopova. Saopštava informacije i zahteve tehnologu nižeg sklopa, podsklopa ili elementa, i one su jednosmeme od tehnologa koji obrađuje sklopove niže etape gradnje prema tehnologima i specijalistima koji rade tehnologiju sklopova i elemenata više etape.

Ako u izradi nekog elementa učestvuje više tehnologa, može se desiti da tehnolog (nosilac izrade elementa) koji ga finalizira opet daje zahtev drugim tehnologima. Obrazac je standardizovan i sadrži podatke: od koga ide, kome ide, o kom elementu ili sklopu je reč, šta se zahteva, kada je upućen i kada primljen, kao i potpis tehnologa koji daje i koji prima zahtev. Obrazac je prikazan na slici 3.

Tehnolozi završnog opremanja koji šalju zahtevnicu tehnologima strukture obično traže da struktura bude izrađena u takvoj tačnosti i kompletnosti koja će omogućiti što lakšu ugradnju opreme i instalacije i zadovoljenje njihovih performansi. Tako se, na primer, može zahtevati da se određeni elementi sklopa ne rade na konačnu meru, već da se krajevi prepuste i upasuju tek u završnom opremanju prema opremi ili da se odgovarajuće rupe za vezu opreme ne buše na konačnu meru. Takođe, može se tražiti da se neki elementi sklopa samo privremeno upašu, ali konačno ne vežu u sklop, itd. Bitno je naglasiti da se pri realizaciji nekog prostora može zahtevati i imitacija pojedine opreme. Znači, daje se infor-

macija o kotama i ravnima od posebnog značaja za funkciju sistema, ali i tačnosti u kojima se moraju realizovati ti prostori i kote [6, 7].

R.br	Naziv dela	NTG 286	Važi za L3	TEHNOLOŠKI ZAHTEV ZA IZRADU ELEMENTATA I IZMENU KONSTRUK. DOKUMENTACIJE		GRUPA: L3-780 Liet br. 1 od 1	Broj. zahteva 15/PS	NAPOMENA
				r.t.	Br. Ran. zaht.			
Broj crteža		OPIS ZAHTEVA						
1.	Instrumentaska tabla prednja desna	L3-760-010			Izraditi po KD ali bez bušenja otvora.		NC	Zbog ne definisano otvora za novi manovakumer i protokomer izraditi jedan komad.
2.	Instrumentaska tabla zadnja desna	L3-760-110			Izraditi po KD ali bez bušenja otvora.		NC	Zbog ne definisano otvora za novi manovakumer i protokomer izraditi jedan komad.
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								
11.								
12.								
13.								
14.								
15.								
16.								

ZAHTEV POKRENUO	ZAHTEV ODOBRIO	PRIMO ZA TEHNOLOGIJU	PRIMO ZA KONSTRUKCIJU	PRIMO ZA KONTROLU	IZMENA
Datum 27.10.09 Potpis ĐURKOVIĆ S	Datum 27.10.09 Potpis GRBIC M	Datum Potpis	Datum Potpis TURKALJ D	Datum Potpis	1 2 3 Datum Potpis

Slika 3 – Tehnološki zahtev za izradu elemenata i sklopova
Figure 3 – Technological request for the production of elements and assemblies

Tehnološki postupak

U tehnološki postupak upisuju se sve operacije za izradu i kontrolu, te u njegovoj izradi i overavanju učestvuju i tehnolozi kontrole, koji se brinu da se u postupak upišu sve potrebne kontrolne operacije. To je zvaničan dokument koji je nosilac informacija o oraganizovanju same pripreme i opremanju svih elemenata.

Svaka operacija je jasno odvojena jedna od druge i znači automatsku kontrolu urađenog posla. Najčešće kontrolne operacije su:

- kontrola izdavanja materijala,
- kontrola tvrdoće,
- kontrola prskotina penetratima,
- kontrola pravca vlakana,
- dimenzionalna i vizuelna kontrola i
- završna kontrolna komanada.

Na obrascu (prikazanom na slici 4) upisuju se provereni postupci. Kada se izrađuje prvi komad piše se tzv. „beli postupak“, na kopiji olovkom, kako bi se mogla vršiti ispravka. Primera radi, posle izrade postupka, odnosno nekog dela, svojim potpisom poslovođa i kontrolor overavaju postupak koji je rađen po propisu i koji treba da zadovolji traženi kvalitet. Po povratku „belog postupka“ iz proizvodnje, tehnolog piše serijski broj koji se kopira u potreban broj komada.

Podatke sa tehnološkog postupka koriste:

- materijalna služba,
- služba lansmana,
- planska služba,
- radionička priprema,
- radnici i
- kontrolori.

– Materijalna služba ispisuje trebovnice materijala, izrađuje i koriguje normative materijala za nabavku.

– Planska služba planira ljudske i mašinske kapacitete i terminira proizvodnju radi ugovaranja dopunskih poslova u slučaju viška raspoloživih kapaciteta ili prijema radne snage i nabavke mašina u slučaju manjka kapaciteta.

– Radionička priprema obuhvata pripremu i kompletiranje fabričkog i standardnog alata po postupcima (operacijama).

 P.G.S. "JTV" AER INDUSTRIJA R. J. PROIZVODNJA, REMONT I SERVIS VAZDUHOPLOVA			N ŠARŽA MATERIJALA			TKK	
PRIJEM PO OPERACIJAMA							
BROJ OPERACIJE	DATUM	DOBRIH	LOŠIH	OVERA KONTROLE	NAPOMENA		
DELIMIČAN PRIJEM TKK			DELIMIČAN PRIJEM MAGACINA				
KOMADA	DATUM	POTPIS	BROJ PRIJEMNICE	KOMADA	DATUM	POTPIS	
VANREDNI PRIJEM							
BROJ KONTROLNE LISTE	KOMADA	GREŠKA U OPERACIJI BR.	DATUM	POTPIS	KONTROLNU LISTU PRIMIO		
ZAVRŠNI PRIJEM TKK				PRIJEM MAGACINA			
KOMADA	DATUM	POTPIS	BROJ PRIJEMNICE	KOMADA	DATUM	POTPIS	

Slika 4 – Tehnološki zahtev za proverene postupke
 Figure 4 – Technological request for valid procedures

– Radnici dobijaju tehnološki postupak kao uputstvo za izradu po svakoj operaciji. Ako su neke operacije standardizovane i postoji pisano uputstvo za njih, onda se tehnolog samo poziva na to uputstvo, ne objašnjavajući način izvođenja zahvata. Pri izradi prototipova pišu se samo specijalne napomene (gde se treba obratiti posebna pažnja). Ove instrukcije moraju biti kratke, jasne i nedvosmislene, a obim i nivo informacije zavisi od opšteg nivoa znanja radnika koji obavlja određene operacije. Na primer, za limene delove piše se način obrezivanja i bušenja rupa, parametri sila na presama, itd., a za mašinske komade piše se režim obrade, način centriranja i stezanja komada, skice sa bitnim kotama i baznim ravnima, itd.

– Kontrolori dobijaju tehnološki postupak za prijem operacija ili delova, kao što je već bilo pomenuto, ali pošto elementi u fazi ne odgovaraju u potpunosti konstruktivnom crtežu po merama, moraju ih primati prema instrukcijama sa tehnološkog procesa.

– Službi lansmana neophodan je ovaj tehnološki postupak radi izrade „radnih naloga“ i „radnih lista“. Svaki tehnolog mora napisati *radni nalog*, koji

je važan operativno-kontrolni dokument (mora se čuvati najmanje 10 godina) i u čijem zaglavlju su upisani podaci sa tehnološkog procesa: naziv dela, naziv proizvoda, broj crteža sklopa, itd. Ispod zaglavlja navode se sve operacije od 1 do „n“ sa kratkim nazivom operacije i šifrom odeljenja gde se obavlja. Sa desne strane svaki od kontrolora udara svoj žig i potpis čime potvrđuje da je operacija ispravno urađena, te da taj deo zadovoljava. U protivnom, piše se doradnica – odbijenica (obrazac prikazan na slici 5).

pravilno!

		TEHNIČKA KONTROLA KVALITETA					Br. dokumenta	
		R. O. FABRIKA AVIONA UTVA PANČEVO					№ 013291	
ODBIJENICA			DORADNICA			Razlog		
NEPOTREBNO PRECRITATI								
Sifra dela	Tip RN	RJ	Program	Artikal	Lot	Ser. br.	Red. br. rn.	Oper. skar.
Naziv dela		Br. crteža		IT	Kom.	Na teret RJ		
<i>INSTRUMENTI</i>				<i>2</i>	<i>2</i>			
Razlog odbijanja ili dorade:								
<i>YI-408.</i>								
<i>- SA AVIONA S-007 SKINUTI NEISPRAVNE INSTRUMENTE.</i>								
<i>- AKCELEROMETAR U PRIOB KABINI I POKAZIVAE TEMPERATURE</i>								
<i>IZOLVNIH GASOVA I TGC.</i>								
<i>- UGRADITI NOVE.</i>								
<i>TEHNIČKA MONTAŽE</i>								
<i>2.10.10.</i>								
Kontrolor	Datum	Rukovod. RJ	Datum	Glavnišpeker	Datum			
<i>[Signature]</i>	<i>02.10.2010.</i>	<i>[Signature]</i>		<i>[Signature]</i>				
Konstrukcija	Datum	Tehnologija	Datum	Konst. alata	Datum			

OFK-04-01

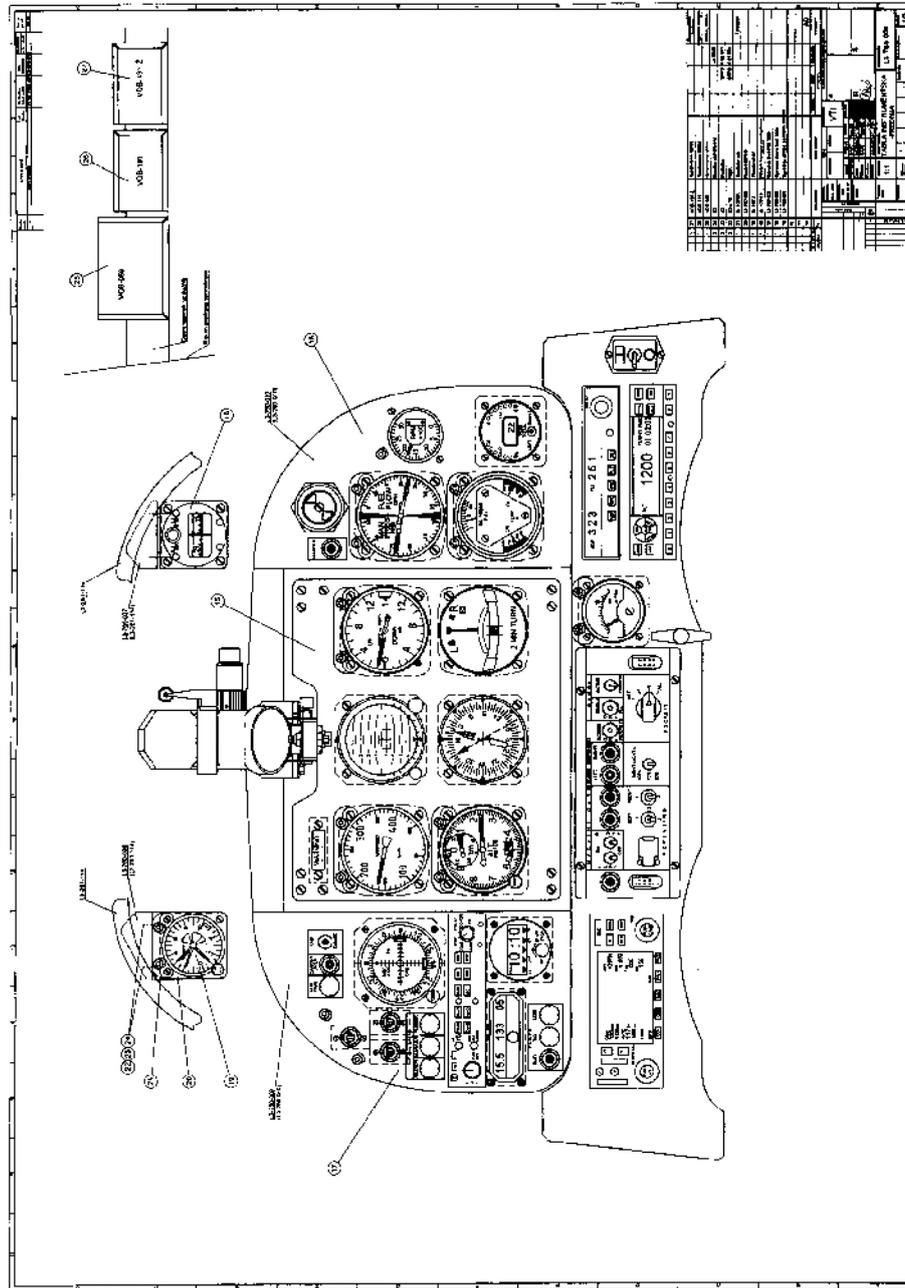
Tehnološka (OKT ili razvoj)

Slika 5 – Izgled doradnice-odbijenice

Figure 5 – Layout of the document processing-rejection

Radna lista jeste operativno-finansijski dokument i izrađuje se za svaku operaciju ponaosob. Pored kratkog naziva operacije navodi se i potrebno vreme za obavljanje operacije (T. P., T. K., T. U.) na osnovu kojeg se radnik prijavljuje. Radne liste overava kontrola po prijemu operacije na radnom nalogu, a po overi i prijavi radnika ta lista se vraća radi normiranja vremena.

Na sledećim obrascima biće opisan sadržaj operacija za opremanje leve, desne i centralne instrumentalne table prednje kabine (kokpita) na zvaničnom crtežu konstruktora (slika 6), kao što je prikazano i na slikama 7 i 8.



Slika 6 – Zvanični crtež konstruktora
Figure 6 – Official designer drawing

R.J. PROIZVODNJA, REMONT I SERVIS VAZDUHOPLOVA		RADNI NALOG										Radni br RN	List						
Šifra postupka: L3-760-001		Kol	Br. RN	Tip RN	R.J.	Progr	Artik	Lot	Ser. broj	Klasa		Datum završetka							
Datum:	Lansirač:	Dimitrijević	Normirač:	Red. br. listinga	D. šifra%	Tehnolog:	Burković	Naziv i opis operacije		Radni centar	Šifra posla		Normativ (min.)	R	P	L	T	D	
11.23.10													Prp	Izrada	L	A	K	%	
Broj oper.													Tipz	TK	L	A	K		
0003										135000									
0010										286990									
0020										163310									
0030										116200									
0040										116250									
0050										286100									
0060										163100									
0070										286100									
0080										163310									
0090										163310									

Slika 7 – Sadržaj operacija za opremanje leve strane instrumentalne table prednje kabine
 Figure 7 – Contents of the operations for equipping the left-hand side of the front instrument table in the cockpit

D.O. LUTVA AIR INGENIERIA R.J. PROIZVODNJA, REMONT I SERVIS VAZDUHOPLOVA		LISTA MATERIJALA						Br. liste L3-760-001	
šifra postupka: L3-760-001		Naziv postupka: OPREMA SA INSTRUMENTIMA SKLOPA CENTRALNE INSTRUMENTSKE TABLE PREDNJE KABINE						Br. R.N. 207264.1	
Vazduhoplov: L3		Naziv operacije: Izdavanje materijala						Ev. broj: S-004	
								Br. oper. 0010	
								List br. 1	
Red. broj	Naziv dela	Br. crteža ili standarda	I	T	IV	P S D	Količ	Poz	Napomena
1.	Sklop centralne instrumentne table prednje kabine	L3-760-006				P	1	15	
2.	Aviožiro horizont (red lighting)	Tip LUN 1241H8GUW					1	16	Mikrotechna
3.	Radio magnetni indikator	KI 229					1	17	„Bendix-King“
4.	Brzinomer-obeležan	Tip 1005 L95-3					1	18	Teleoptik
5.	Visinomer	Tip 151.3					1	19	Teleoptik
6.	Variometer	Tip 1065.3					1	20	Teleoptik
7.	Centralna signalizacija	Tip1102					1	22	Teleoptik
8.	Vijak	M3x30					4	25	SRPS MB1.118
9.	Samokočiona navrtka	M3					4	26	LN9348
10.	Podmetač	3A SNO 1079					4	-	
11.									
12.									
13.									
14.									
15.									
16.									
17.									
18.									
19.									
20.									
21.									
22.									
Datum	Tehnolog	Izmena	Datum	Potpis	Izmena	Datum	Potpis		
29.11.10	Đurković	b	16.04.08.					Dimitrijević	

Slika 8 – Sadržaj operacija za opremanje desne strane instrumentalne table prednje kabine

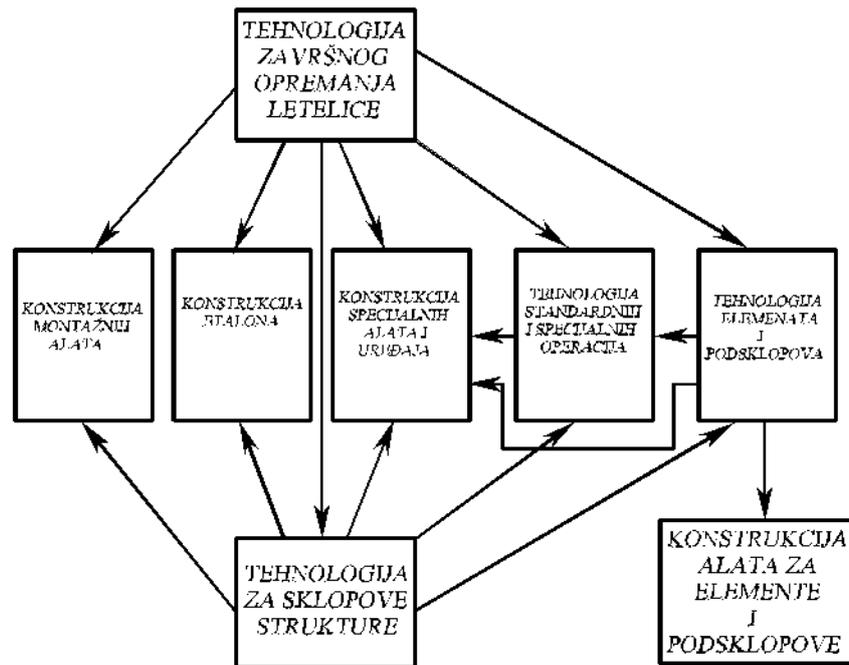
Figure 8 – Content of the operations for equipping the right-hand side of the front instrument table in the cockpit

Zaključak

Zbog složenosti i raznovrsnosti tehnologija, kao i obimnosti poslova pri gradnji letelice, služba tehnologije organizovana je u više odela i specijalnosti. Između tih odela su jasno i veoma čvrsto definisane međusobne veze od tehnologa viših sklopova ka tehnologizima podsklopova, elemenata i, na kraju, do tehnologa specijalnih operacija, kao što je prikazano na slici 9.

Sva zvanična dokumenta koja su ranije objašnjena uvek idu samo u jednom smeru, što je prikazano strelicama na šemi koja jasno govori o

hijerarhiji u tehnoloških službi. Međutim, u praksi ne znači da određene informacije ne idu suprotno (primera radi, ako konstruktor alata otkrije neku grešku ili propust tehnologa), ali informacija nije direktiva, tj. tehnolog ne mora da usvoji sugestije.



Slika 9 – Šema tehnologije
Figure 9 – Technological scheme

Svaka od ovih grupacija na šemi može se deliti na više specijalnosti, zavisno od nivoa razvoja tehnologije i obima posla. Primera radi:

1. Tehnolozi završnog opremanja:
 - * tehnolozi za elektro i elektronske sisteme,
 - * tehnolozi za specijalne sisteme (instrumenti, kiseonik,...)
 - * tehnolozi za mehaničke sisteme (komande, hidro, gorivo,...)
 - * tehnologe za naoružanje.
2. Tehnolozi sklopova strukture:
 - * tehnolozi za trupove,
 - * tehnolozi aerodinamičkih površina.
3. Tehnolozi elemenata i podsklopova:
 - * tehnolozi za izradu mašinskih delova,
 - * tehnolozi za izradu limarskih delova,
 - * tehnolozi za izradu laminata, pleksi stakla i sendvič struktura.

4. Tehnolozi specijalisti:

- *tehnolozi za klasično zavarivanje,
- * tehnolozi za elektrootpomo zavarivanje lakih legura,
- * tehnolozi za hemijsko frezovanje,
- * tehnolozi za lepljenje metala i nemetala,
- * tehnolozi za površinsku zaštitu i farbanje,
- * tehnolozi za termičku obradu,...

5. Slična je podela među konstruktorima alata, posebno konstruktorima alata za izradu elemenata i specijalnih operacija. Neophodno je naglasiti da se u proizvodnji vazduhoplova hijerarhija tehnoloških službi mora poštovati.

Literatura

[1] Gaćeša, N., „Školski avion lasta 95”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 57, No. 3, pp 142–143, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2009.

[2] Dizdarević, F., *Tehnologija gradnje letilica*, Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Mašinski fakultet, Vazduhoplovni odsjek, Mostar, 1983.

[3] Boljanović, V., *Montažni alati i etaloni za sklopove vazduhoplova*, Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru, Mašinski fakultet, Vazduhoplovni odsjek, Mostar, 1983.

[4] Đurković, S., *Analiza grešaka mernih instrumenata na avionu*, diplomski rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet u Beogradu, Odsek za Vazduhoplovstvo, Katedra za vazduhoplovstvo, Beograd, 2010.

[5] Grbić, M., *Tehnologija gradnje letjelice*, diplomski rad, Univerzitet u Mostaru, Mašinski fakultet u Mostaru, Odsek za Vazduhoplovstvo, Katedra za vazduhoplovstvo, Mostar, 1979.

[6] Petrović, Z., *Konstrukcija letelica – dodatni uticaji na konfiguraciju letelica*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet u Beogradu, Odsek za Vazduhoplovstvo, Katedra za vazduhoplovstvo, Beograd, 2006.

[7] Petrović, Z., *Konstrukcija letelica - aerodinamika*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet u Beogradu, Odsek za Vazduhoplovstvo, Katedra za vazduhoplovstvo, Beograd, 2007.

[8] Miklić, A., *Podaci o naoružanju – faktografske sveske – avioni za obuku*, ISBN 978–86–81123–38–6, Vojnotehnički institut Beograd, Vol. XXXII, Br. 150., Beograd, 2009.

DEVELOPING A TECHNOLOGICAL PROCEDURE FOR INSTALLING AND EQUIPPING AIRBORNE INSTRUMENTS

FIELD: Mechanical Engineering

Summary:

This paper presents a technological process and a construction of aircraft of small size and weight. The general characteristics of aircraft production are given as well as special features in aircraft manufactu-

re. Aircraft are classified and the general characteristics of the Lasta 95 trainer-fighter are given. The technological process was especially observed and analyzed with emphasis on the technological requirements for the tools construction and the manufacture of elements and assemblies. The conclusion offers a suggestion for a technology service organization.

The general properties of aircraft production

Aircraft production is one of the most complex industries. The production of aircraft involves the synthetic process of production and individual production, which is the most complex aspect of the technological process.

Extras in the aircraft manufacture

The research phase is very long and costly (depending on the size and complexity and the organization of the entire industry), lasting from 5 to 10 years. Each aircraft is composed of 50,000–250,000 parts, without counting the rivets, screws, washers and wire parts. Quality control is included from the beginning to the end of production, i. e. it takes place after each operation, from controlling materials to delivery and transportation. Due to such properties of aircraft production, there must be a high percentage of professional engineering human resources involved, who in middle income countries range from 15–20%, while the share of employment in developing countries (not just engineers) ranges from 12–25% of the total number of employees. This percentage does not include Avio and Technical institutes which can have staff of several thousand people.

Research and development

The development of aircraft is associated with the development of advanced technologies, through mutual dependence. Requirements for operating characteristics of aircraft encourage technological development. Technological development influences the definition and formation, furthering the development of new generations of aircraft and the industry itself.

General characteristics of Lasta 95 trainer-fighter

The technological process of producing aircraft of small size and weight is given. The general characteristics of aircraft production are discussed as well as some special features in the aircraft manufacture. The classification of aircraft and the general characteristics of Lasta 95 trainer-fighter are presented. The technological process was especially observed and analyzed with the emphasis on the technological requirements for the tools construction and the manufacture of elements and assemblies.

Technological request for the construction of tools

The technological request for the construction of tools is an official document submitted from the technologist to the tool designer and its purpose is to officially define requirements and usage of tools. The construction tools (their dimensions, geometry, kinematics and stiffness) must fully meet complex technological concepts of quality at an appropriate price in order to achieve the highest possible productivity (a sample is given in Fig.2).

Technological requirement for producing elements and assemblies

This request also is an official document for the production of elements, subassemblies and assemblies. The document gives information and requirements from a technologist at a lower level of assembly to higher-level technologists and assembly specialists. If in the creation of an element there are several technologists (who finalized that element), they submit a request to other technologists. The form is standardized, containing for example, the number of elements or assembly parts, what is required, when the request was sent and when received, and the signatures of addressers and addressees. The form is shown in Fig. 3.

Technological process

The technological process is a written procedure with all operations for production and quality. Quality controllers participate in creation and verification of this document. Their job is to supervise the process of production and to verify every correctly done operation. This is an official document which carries information and data necessary for the planning and preparation of production.

Verified procedures are written in the form given in Fig. 4. When the first element goes in the production, the so-called "white process"-correct procedure is written during the production of that first element. After the production of the element for a part, the production manager and the controller put their marks and signatures on the technological process to confirm that the element is done with required quality. Upon his return from the production plant, the technologist writes the serial number and copy it in a required number of copies.

Data from the technological process are used by the material service, the operational service, the planning service, workshop preparation, workers and the quality control. Under the proper heading, all the operations from 1 to n are typed, with a short name of the operation and the code of the section where each of these operations is performed. On the right-hand side of each controlled line, there is a mark and signature confirming that the operation was properly conducted. Otherwise, document processing-rejection is the form shown in Fig. 5.

The task list is an operational and financial document where each operation is typed separately. In addition to the short name of operation,

working time is written, time needed to perform the operation (TP, TK, TU) on the basis of which the worker reports his worktime. The task list certifies the control operation after receiving the work order, and the control of workers whose lists are returned for time standardization.

The official designer drawing is given in Fig. 6 while the contents of operations for fitting the left and right instrument table of the first cockpit are shown in Figs. 7 and 8, respectively.

Conclusion

Due to high complexity and diversity of technologies, as well as a large scope of work needed in aircraft production, the technology service is organized in several sections and specialties. Among these sections there are clearly and very tightly defined interconnections of links to senior technologists, technologists of subassemblies, components and eventually to the technologists of special operations as shown in Fig. 9. All official documents previously explained always go in one direction only.

Key words: aircraft production technology, technology, final equipment, aerospace technology

Datum prijema članka: 28. 12. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 30. 01. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 02. 2011.

REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA ULJA IZ MOTORA I MENJAČA VOZILA

Perić R. *Sreten*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,
Katedra vojnih mašinskih sistema, Beograd

OBLAST: mašinstvo (tribologija, mašine, alati i pribori)

Sadržaj:

Danas se za dijagnosticiranje tribomehaničkog sistema primenjuju različite fizičko-hemijske metode i tribološke metode. Analiza uzoraka ulja koja sadrže čestice nastale habanjem omogućava da se u ranim fazama korišćenja sistema oceni stanje triboloških svojstava.

U radu su prikazani tribološki testovi u okviru analize ulja koji se koriste za procenu njegovog stanja. Nadalje su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja triboloških karakteristika uzorkovanih ulja iz motora i menjača vozila mercedes O 345, puh 300GD i pincgauer 710M koja su bila u eksploataciji. Realizovanim ispitivanjima konstatovano je da dolazi do promena triboloških karakteristika ulja za podmazivanje u motoru i menjaču vozila. Ove promene su u direktnoj zavisnosti od stanja svih elemenata tribomehaničkog sistema motora i menjača, odnosno u zavisnosti od njihovih funkcionalnih karakteristika.

Key words: monitoring, održavanje, tribološke karakteristike ulja, podmazivanje.

Uvod

Održavanje tehničkih sistema (TS), a posebno materijalnih sredstava, predstavlja složen proces. Osnovni cilj održavanja sastoji se u dovođenju TS u stanje koje će omogućiti postizanje zadatih ciljeva, predviđajući istovremeno mogućnost otkaza i zastoja u eksploataciji.

Sva dosadašnja usavršavanja procesa održavanja TS ne tretiraju tribološke karakteristike materijala elemenata tribo-sistema sa stanovišta njihovog uticaja na ponašanje sistema u toku eksploatacije.

Neprekidna težnja za stvaranje tribomehaničkih sistema u kojima je podatke o stanju elemenata sistema moguće dobijati povremeno ili kontinualno, bez narušavanja njegove funkcije uslovljava stalni razvoj novih tribometrijskih metoda.

Razvoj tribologije kao interdisciplinarnih nauke zasnovane na eksperimentalnim istraživanjima doprineo je primeni i razvoju raznovrsne eksperimentalne opreme i uređaja – tribometara i *tribometrije*, kao posebne oblasti eksperimentalnih istraživanja.

Praćenje performansi elemenata kod realnog tribomehaničkog sistema podrazumeva usko orijentisana dugotrajna istraživanja, bez mogućnosti variranja i sagledavanja uticaja ulaznih parametara u širem dijapazonu.

Međutim, modelskim ispitivanjima, pri čemu se vrši uzorkovanje ispitivanog elementa iz realnog sistema i simuliraju uslovi kontakta, može se doći do čitavog niza podataka koji sa dovoljnom pouzdanošću ukazuju na stanje realnog sistema i predviđaju njegovo dalje ponašanje. Ali, pre donošenja zaključaka na osnovu rezultata tribometrijskih istraživanja, mora se voditi računa o bitnim razlikama koje postoje između realnih tribomehaničkih sistema i ispitivanja u modelskim uslovima.

Identifikacija stanja tribomehaničkih sistema bez narušavanja njegove funkcije, u uslovima gde se otkazi javljaju prvenstveno usled habanja elemenata i promene svojstava podmazujućeg sredstva, ima ogromne tehničke i ekonomske efekte. Sve prisutnija istraživanja na tribometrima se objašnjavaju nemogućnošću da se ispitivanjima realnih sistema obuhvati kompleksnost procesa trenja i habanja, kako po karakteru odvijanja fizičko-hemijskih procesa, tako i međusobnoj povezanosti velikog broja uticajnih parametara.

Ispitivanje fizičko-hemijskih i triboloških karakteristika u funkciji utvrđivanja stanja tribomehaničkog sistema ima za cilj identifikaciju promena na elementima tog sistema. Odgovarajućim uzorkovanjima i ispitivanjima u toku eksploatacije tribomehaničkog sistema, na osnovu prikazanog modela u radu, moguće je identifikovati stanje elemenata sistema i predvideti njegovo dalje ponašanje u eksploataciji, radi preventivnog održavanja.

S obzirom na osnovnu ulogu maziva da redukuje negativne efekte triboloških procesa u pogledu trenja, habanja i rasta temperature u tribomehaničkim sistemima, svi vidovi održavanja uključuju podmazivanje kao veoma značajan deo ukupne procedure.

S druge strane, mazivo je, kao kontaktni element sistema, nosilac informacija o stanju kompletnog sistema s aspekta triboloških i drugih procesa starenja. Zbog toga analiza ulja na bazi pravilno definisanog programa predstavlja veoma efikasan metod monitoringa stanja tehničkih sistema koji obezbeđuje rane upozoravajuće znake potencijalnih problema, koji vode ka otkazu i zastoju tehničkih sistema. U strukturi sistema, osim mehaničkih komponenti, stanje menja i samo mazivo, što vodi gubitku podmazujućih svojstava.

Vozilo kao tehničko sredstvo predstavlja skup veoma složenih tribomehaničkih sistema sastavljenih od niza podsistema koji takođe predstavljaju složene tribomehaničke sisteme. Čine ih svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog momenta od motora, preko sklopova transmisije (menjača, razvodnika pogona, diferencijala i ostalih sklopova) do izvršnih organa vozila.

Ova analiza ukazuje na činjenicu da se tribološke karakteristike jednog složenog tribomehaničkog sistema ne mogu posmatrati na jednostavan način i da nije moguće lako uspostaviti pouzdane metode i odrediti dijagnostičke parametre za ocenu stanja posmatranog sistema.

Razlozi otkaza realnih sistema mogu biti veoma različiti i za sada se ne može govoriti o pouzdanim metodama za predviđanje veka složenih sistema.

Težište eksperimentalnog istraživanja, realizovanog u ovom radu, stavljeno je na mazivo, kao nosioca informacija o stanju sistema u celini. Ispitivanja sprovedena na većem broju različitih tehničkih sistema, koji su identifikovani kao tribomehanički, pokazala su da se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti elemenata i kompletnog sistema iskazuje kroz promene osobina maziva. To potvrđuje da se promena triboloških karakteristika uljnog punjenja može usvojiti za ocenu stanja sistema.

Tribološke karakteristike mazivih ulja

Osnovne tribološke karakteristike ulja su:

- sila trenja,
- koeficijent trenja,
- intenzitet habanja,
- temperatura kontakta,
- debljina sloja maziva,
- intenzitet rasta produkata habanja, itd.

Za ocenu i analizu fizičko-hemijskih karakteristika ulja danas postoji veoma razvijena mema oprema, što nije slučaj za određivanje triboloških karakteristika, a nisu ni u potpunosti definisane pouzdane metode (čak ni parametri).

Tabela 1

Neke od metoda određivanja triboloških karakteristika maziva i čvrstih materijala po ASTM-u

Table 1

Some methods for determining tribological characteristics of lubricants and solid materials by ASTM

ASTM D 2266-86	Metoda ispitivanja antihabajućih karakteristika mazivih masti
ASTM D 2509-86	Metoda za merenje EP svojstava mazivih masti (metoda Timkena)
ASTM D 2543-88	Metoda za merenje kinetičkog koeficijenta trenja za Wax prevlake
ASTM D 2510-83	Metoda za merenje adhezionih svojstava čvrstih maziva
ASTM D 2625-83	Metoda za ispitivanje veka trajanja i izdržljivosti na opterećenje čvrstih maziva
ASTM D 2670-88	Metoda za merenje antihabajućih svojstava tečnih maziva

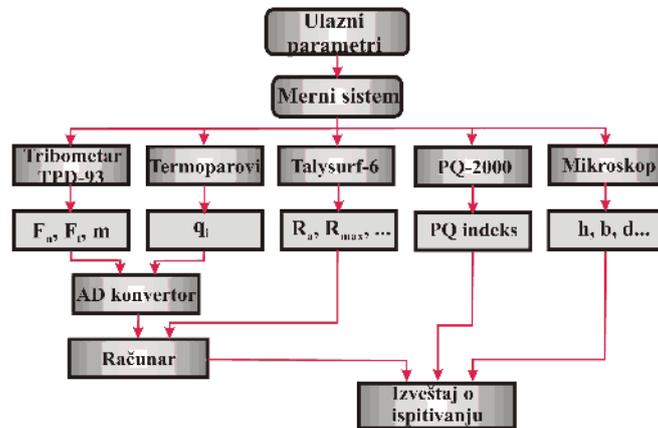
ASTM D 2714-88	Metoda za kalibraciju i postupak ispitivanja Falex-ovog tribometra
ASTM D 2782-88	Metoda za merenje EP svojstava tečnih maziva (Timkenova metoda)
ASTM D 2783-88	Metoda za merenje EP svojstava tečnih maziva (metoda sa četiri kugle)
ASTM D 3702	Metoda za merenje intenziteta habanja materijala
ASTM D 3704-83	Metoda za ispitivanje antihabajućih svojstava mazivnih masti
ASTM D 4172-88	Metoda za merenje antihabajućih karakteristika tečnih maziva
ASTM G 32	Metoda za merenje otpornosti materijala na kavitacionu eroziju
ASTM G 65	Metoda za merenje otpornosti na abrazivno habanje čvrstih tela
ASTM G 75	Metoda za merenje abrazivne sposobnosti suspenzija
ASTM G 76	Metoda za merenje otpornosti materijala na gasno abrazivno eroziono habanje
ASTM G 77	Metoda za merenje otpornosti materijala na habanje pri klizanju
ASTM G 81	Metoda za merenje otpornosti materijala na abrazivno habanje pri udaru
ASTM G 83	Metoda za merenje otpornosti materijala na habanje pri ostvarivanju kontakta u tački

Najveći deo triboloških karakteristika određuje se standardnim testovima sa strogo definisanim procedurama. U tu svrhu primenjuju se standardizovani komercijalni tribometri proizvođača kao što su *Falex*, *Timken*, *Plint*, *Koehler*, *SRV* i dr.

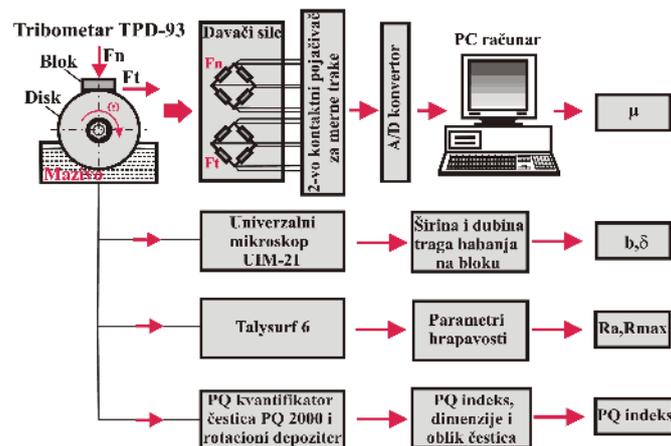
Postupak određivanja triboloških karakteristika elemenata tribomehaničkih sistema i materijala od kojeg su izrađeni počinje izborom metode i tribometra za merenje sile trenja i merodavnih parametara habanja. Postoji veoma veliki broj različitih tribometara u svetu, koji su do sada instalirani u raznim naučnoistraživačkim ustanovama, institutima preduzeća i univerzitetskim laboratorijama, na kojima se mere sile trenja i parametri habanja. Određeni broj metoda ispitivanja je standardizovan, pri čemu se svake godine broj standarda povećava i sve više preporučuje za primenu.

Standarde ASTM Američkog društva za tribologiju, koji se odnose na proces trenja, habanja i podmazivanja, odnosno na utvrđivanje triboloških karakteristika maziva i čvrstih materijala, odobrili su Komitet za eroziju i habanje G-2 (Potkomitet za habanje G02.30) i Komitet za proizvode nafte i maziva D-2 (Potkomitet za industrijska maziva D02.0L). Grupa ASTM standarda koji se odnose na ispitivanje triboloških karakteristika maziva i čvrstih materijala na različitim tribometrima sa geometrijom kontakta u tački, po liniji i po površini prikazani su u pregledu u tabeli 1.

Program eksperimentalnog ispitivanja uticaja maziva na motore i prenosnike snage motornih vozila obuhvatio je definisanje uslova ispitivanja navedenih elemenata, formiranje memnog lanca (slika 1), tribološka ispitivanja ulja i obradu dobijenih rezultata. Ispitivanja triboloških karakteristika ulja vršena su u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.



Slika 1 – Blok šema mernog sistema [3]
 Figure 1 – Block diagram of the measuring system [3]



Slika 2 – Merni lanci za merenje triboloških karakteristika [3]
 Figure 2 – Measuring system applied in the determination of tribological characteristics [3]

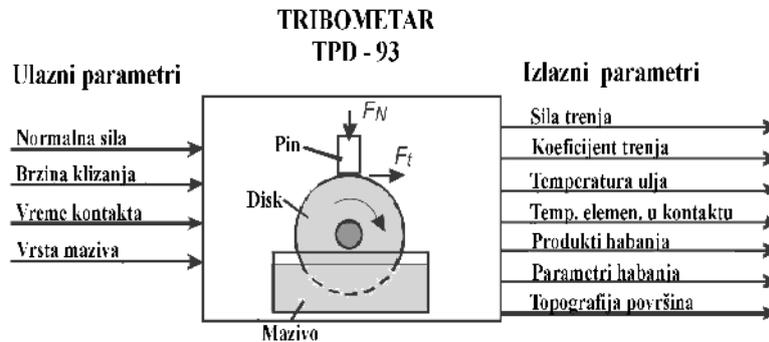
U okviru Laboratorije za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu i Centra za revitalizaciju industrijskih sistema poslednjih godina vrši se razvoj i izrada mernog opreme za tribometrijska ispitivanja, kao i razvoj novih metodologija ispitivanja. Merni sistem, primenjen za određivanje triboloških karakteristika elemenata tribomehaničkih sistema (ne samo ulja za podmazivanje) sastoji se od:

- tribometra TPD-93 za merenje normalne sile, sile trenja i koeficijenta trenja,
- termoparova za merenje temperature ulja i elemenata u kontaktu,
- PQ-2000 kvantifikatora čestica za merenje PQ indeksa,

- mikroskopa za merenje parametara pohabanosti (dužine h , širine b i dubine pohabanog pojasa),
- Talysurf-6, kompjuterizovanog memog uređaja za merenje parametara topografije površine i habanja.

Svi ovi memi lanci sastoje se od odgovarajuće merne opreme koju čine memi senzori, pojačavači signala od senzora, sistemi za akviziciju podataka u računar, softver za monitoring signala merene veličine i računarska oprema za čuvanje podataka i formiranje i prezentaciju izveštaja merenja.

Merna oprema za tribološka ispitivanja omogućuje da se na osnovu variranja ulaznih parametara dobije niz izlaznih podataka o ponašanju ispitivanih elemenata kontakta i maziva (slika 3).



Slika 3 – Tribomehanički sistem sa ulaznim i izlaznim parametrima
Figure 3 – Tribomechanical system with input and output parameters

Pri realizaciji eksperimenta koji je obuhvatio merenje sile trenja, koeficijenta trenja i parametara habanja korišćena je sledeća laboratorijska i mema oprema:

- tribometar TPD-93,
- A/D konvertor,
- pojačavač – HBM dvokanalni memi most KWS273.A2,
- PC računar,
- uređaj za merenje hrapavosti Talysurf (Taylor-Hobson),
- univerzalni alatni mikroskop UIM-21.

Na slici 4 prikazan je model ispitivanja triboloških karakteristika u toku eksploatacije.

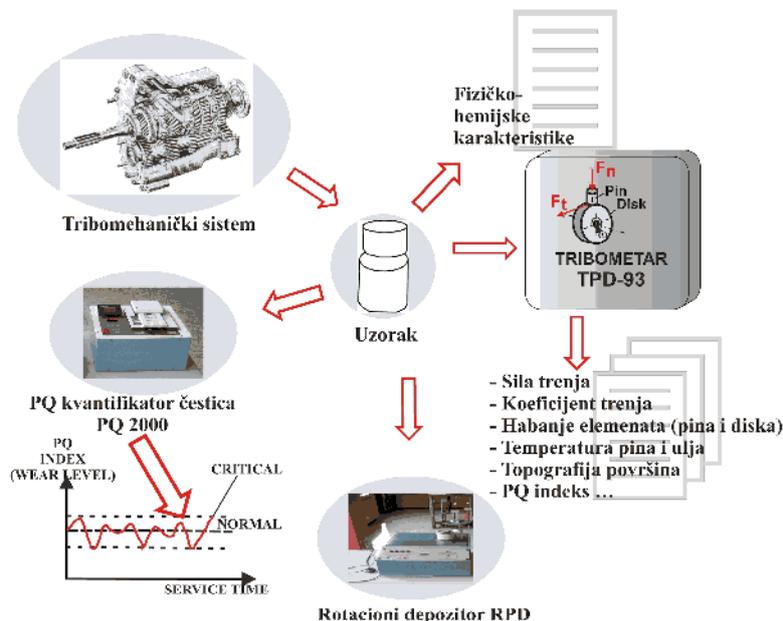
Postupak ispitivanja triboloških karakteristika ulja za podmazivanje u toku eksploatacije sastoji se u sledećem (slika 4):

- uzorkovanje ulja iz realnog tribomehaničkog sistema,
- određivanje fizičko-hemijskih karakteristika,
- utvrđivanje učešća produkata habanja u ulju i
- merenje triboloških karakteristika tribomehaničkog sistema u modelskim uslovima uz korišćenje uzorkovanog ulja kao maziva.

Ova ispitivanja podrazumevaju prethodno određivanje uslova ostvarivanja kontakta:

- geometrija kontakta,
- intenzitet i karakter spoljašnjeg opterećenja,
- vrsta (kontinualno, ciklično i dr.) i brzina kretanja,
- temperatura elemenata u kontaktu,
- način podmazivanja, itd.

Detaljnom analizom realnog tribomehaničkog sistema utvrđuju se prethodno definisani parametri i formiraju elementi kontaktnih parova. Pri tome je potrebno da elementi kontaktnih parova budu tačno definisanih svojstava (materijal, tvrdoća, stanje površina, itd.).



Slika 4 – Model ispitivanja triboloških karakteristika ulja u toku eksploatacije
Figure 4 – Model investigation procedure of the tribological characteristics of lubricants during exploitation

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja triboloških karakteristika ulja

Tribološkim ispitivanjima su podvrgnuta sveža i korišćena ulja iz motora i menjača vozila *pinzgauer 710M (pinzgauer)*, *puh 300 GD (PUH)* i autobus *mercedes O 345*. Pri ovim ispitivanjima merene su promene triboloških karakteristika elemenata u kontaktu korišćenog uzorkovanog ulja kao maziva.

Rezultati koji su dobijeni tokom ispitivanja sadrže informacije o koeficijentu trenja, sili trenja, širini i dubini traga habanja, obliku habanja kontaktne površine bloka, promeni koeficijenta trenja i temperature u toku vremena ostvarivanja kontakta, parametrima topografije površine bloka i diska pre i posle ispitivanja, tragu habanja na bloku i disku i dr. Radi ispitivanja dinamike procesa ostvarivanja kontakta vršen je kontinualni zapis signala sile i koeficijenta trenja radi kasnije obrade. Na osnovu realizovanih ispitivanja dobijeni su odgovarajući histogrami promene koeficijenta trenja mereni nakon određenog vremena ostvarivanja kontakta na tribometru u zavisnosti od uzorka ulja, odnosno pređenog puta vozila, kao i širine pojasa habanja bloka.

Sprovedena ispitivanja i dobijeni rezultati omogućili su da se identifikuju određene tribološke pojave koje se događaju u motorima i menjačima razmatranih vozila. Identifikovane su tribološke pojave koje se odnose na trenje preko koeficijenta trenja, pojave habanja preko širine pojasa habanja i dubine habanja.

U tabeli 2 prikazane su srednje vrednosti koeficijenta trenja za ispitivana motorna ulja, kao i veličine širine i dubine traga habanja.

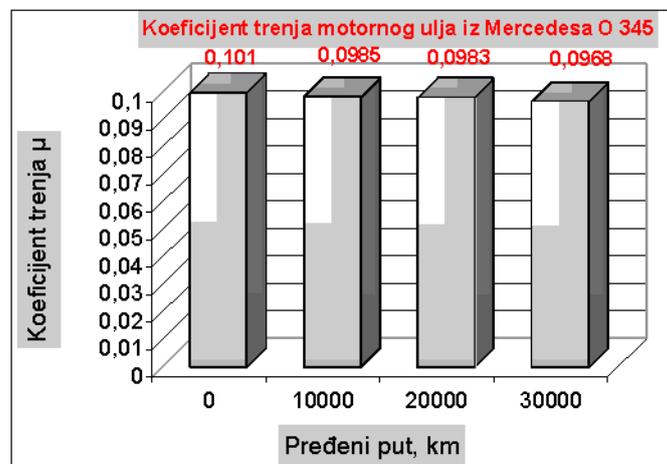
Tabela 2
Rezultati ispitivanja triboloških karakteristika motornih ulja [3]

Table 2

Results of experimental research tribological characteristics motor oil [3]

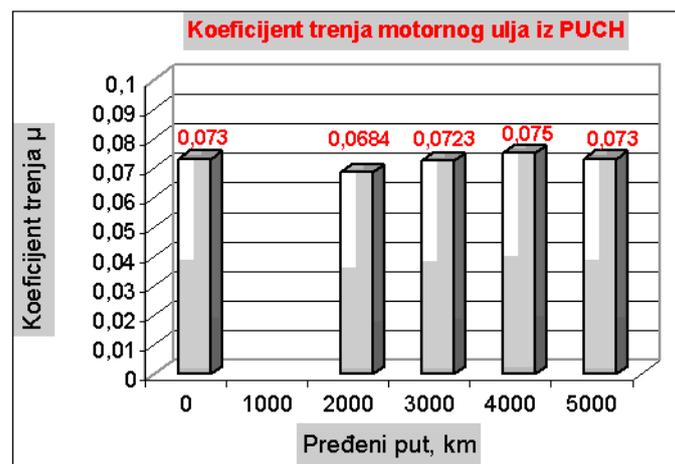
Motorno ulje	Koeficijent trenja μ	Granično podmazivanje	
		širina traga habanja na bloku (mm)	dubina habanja na bloku (μm)
„0 uzorak“ iz <i>mercedesa</i>	0,101	0,378	0,595
Uzorak 1 iz <i>mercedesa</i>	0,0985	0,4	0,666
Uzorak 2 iz <i>mercedesa</i>	0,0983	0,415	0,717
Uzorak 3 iz <i>mercedesa</i>	0,0968	0,494	1,016
„0 uzorak“ iz <i>puha</i>	0,073	0,48	0,960
Uzorak 1 iz <i>puha</i>	–	0,485	0,980
Uzorak 2 iz <i>puha</i>	0,0684	0,515	1,105
Uzorak 3 iz <i>puha</i>	0,0723	0,59	1,450
Uzorak 4 iz <i>puha</i>	0,075	0,625	1,627
Uzorak 5 iz <i>puha</i>	0,073	0,645	1,733
„0 uzorak“ iz <i>pinzgauera</i>	0,085	0,36	0,540
Uzorak 1 iz <i>pinzgauera</i>	0,092	0,365	0,555
Uzorak 2 iz <i>pinzgauera</i>	0,0835	0,382	0,608
Uzorak 3 iz <i>pinzgauera</i>	0,088	0,525	1,148
Uzorak 4 iz <i>pinzgauera</i>	0,0854	0,55	1,260
Uzorak 5 iz <i>pinzgauera</i>	0,0817	0,61	1,550

Na slikama od 5 do 7 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja uzorkovanih motornih ulja u funkciji od pređenog puta vozila. Može se zaključiti da se srednje vrednosti koeficijenta trenja između bloka i diska pri korišćenju ispitivanih motornih ulja kod svih vozila kreću u granicama od 0,0684 do 0,101. Takođe, može se zaključiti da sa povećanjem pređenog puta koeficijent trenja kod motornog ulja iz *mercedesa O 345* postepeno pada, kod motornog ulja iz *PUH-a* u početku pada, dok je kasnije prisutan rast. Kod motornog ulja iz *pinzgauera* koeficijent trenja u početku raste, a zatim pada.



Slika 5 – Promena koeficijenta trenja motornog ulja iz mercedesa O 345 [3]

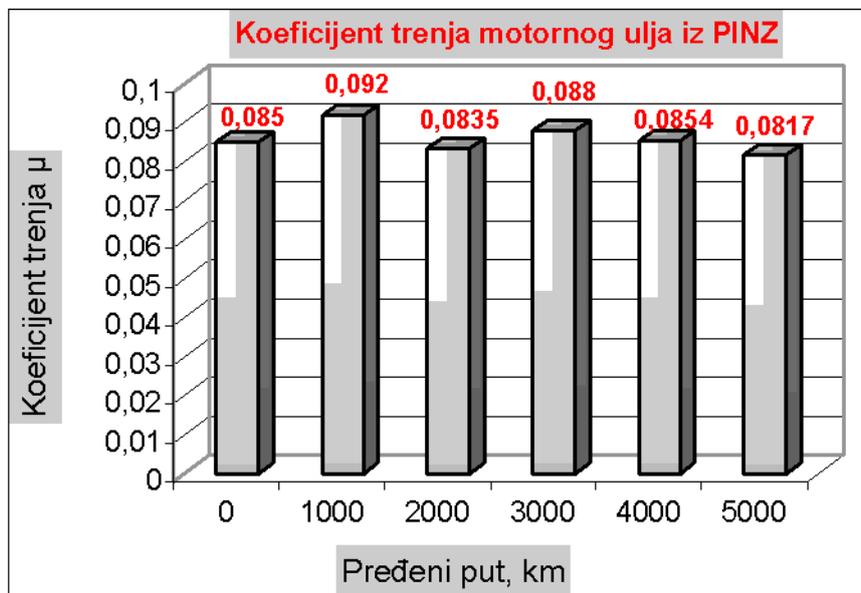
Figure 5 – Change of the friction coefficient of the motor oil of the O 345 Mercedes vehicle [3]



Slika 6 – Promena koeficijenta trenja motornog ulja iz puha [3]

Figure 6 – Change of the friction coefficient of the motor oil of the Puch vehicle [3]

Veliki koeficijent trenja ($\mu=0,101$) kod svežeg motornog ulja (nulti uzorak) SAE 10W-40, API klasifikacije CF (autobusi *mercedes O 345*), koji je veći nego kod korišćenih ulja potiče od sastava ulja koje sadrži ZnDDP (cinkdialkilditiofosfat), čija formulacija je različita od formulacije kod menjačkih ulja, zbog prirode i uslova kontakta koji vladaju u motoru. ZnDDP kao aditiv vrši tri značajne funkcije i to kao aditiv *antioksidant*, *protiv korozije* i *protiv habanja*. Njegovo delovanje kao antioksidanta je u uslovima relativno niskih temperatura (do 100°C), a ukoliko se primenjuje kod viših temperatura (slučaj u motornim uljima) dolazi do termičke razgradnje, usled čega svi produkti nastali na ovaj način deluju vlastitim mehanizmom kao inhibitori oksidacije.

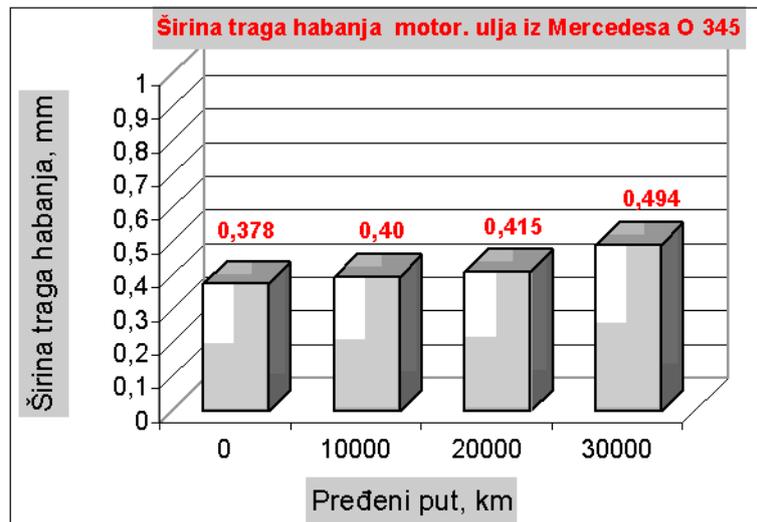


Slika 7 – Promena koeficijenta trenja motornog ulja iz *pinzgauera* [3]

Figure 7 – Change of the friction coefficient of the motor oil of the Pinzgauer vehicle [3]

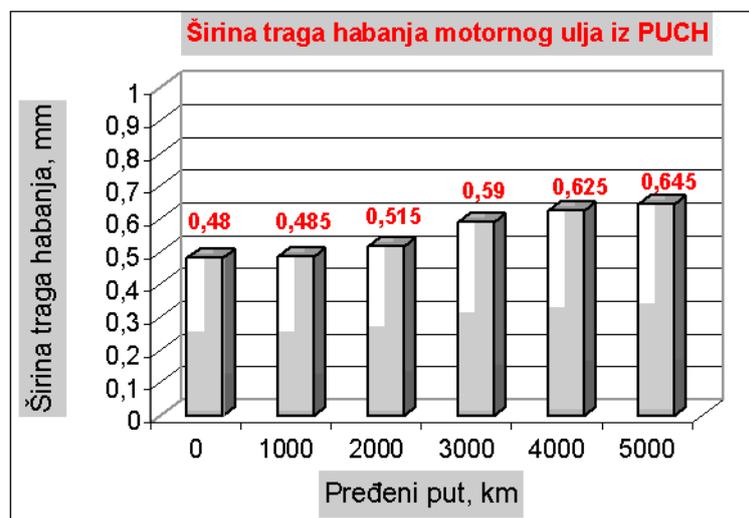
Na slikama od 8 do 10 prikazani su dijagrami promene širine traga habanja uzorkovanih motornih ulja u funkciji od pređenog puta vozila.

Sa povećanjem pređenog puta širina pojasa (traga) habanja diska raste kod ispitivanih motornih ulja iz sva tri vozila i to: kod ulja iz *mercedesa O 345* do vrednosti 0,494 mm; kod ulja iz *puh-a* do vrednosti 0,645 mm i kod ulja iz *pinzgauera* do vrednosti 0,61 mm. Porast širine traga habanja u početnom periodu može se objasniti uhadavanjem diska i bloka, a u stvarnosti bi odgovaralo početnom korišćenju vozila sa novim uljem.



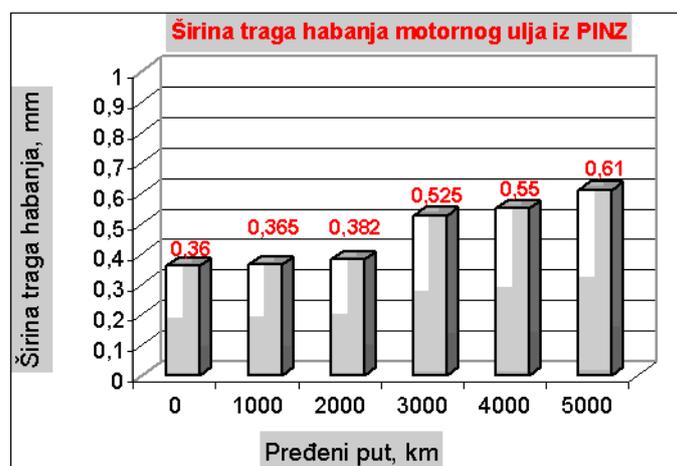
Slika 8 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *mercedesa* O 345 (motorno ulje) [3]

Figure 8 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Mercedes O 345 vehicle (motor oil) [3]



Slika 9 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *puha* [3] (motorno ulje)

Figure 9 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Puch vehicle (motor oil) [3]



Slika 10 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *pinzgauera* [3] (motorno ulje)

Figure 10 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Pinzgauer vehicle (motor oil) [3]

Parametri topografije površine koji su mereni uređajem Talysurf-6

Tabela 3

Parameters of a surface topography measured with the Talysurf-6 device

Table 3

Rt1-Rt5, μm	Maks. visine profila na referentnim dužinama, na dužini ocenjivanja
Ra, μm	Srednje aritmetičko odstupanje profila na dužini ocenjivanja
Rq, μm	Srednje kvadratno odstupanje profila na dužini ocenjivanja
Ry, μm	Maksimalna visina profila, maksimalna Rti vrednost
Rtm, μm	Srednja Rti vrednost
Rv, μm	Najveća dubina udubljenja profila
Rp, μm	Najveća visina ispupčenja profila
Sm, μm	Srednji korak ispupčenja profila
$\Delta\alpha$, $^{\circ}$	Srednji kvadratni ugao nagiba profila
Rsk	Koeficijent asimetrije profila, mera simetrije krive raspodele amplituda
Rku	Kurtosis, mera zaoštrenosti krive raspodele amplituda
S, μm	Srednji korak lokalnih ispupčenja profila
R3z, μm	Srednja vrednost rastojanja trećeg po visini ispupčenja i trećeg po dubini udubljenja na referentnoj dužini profila
Rpm, μm	Srednja vrednost Rpi određenih na referentnim dužinama
R3y, μm	Najv. rast. trećeg po visini ispupčenja i trećeg po dubini udubljenja na refer. dužini

Pre početka realizacije eksperimenta izvršena su merenja hrapavosti površina diskova i blokova pomoću uređaja Talysurf. Parametri topografije površine bloka i diska, koji se mere navedenim uređajem, prikazani su u tabeli 3.

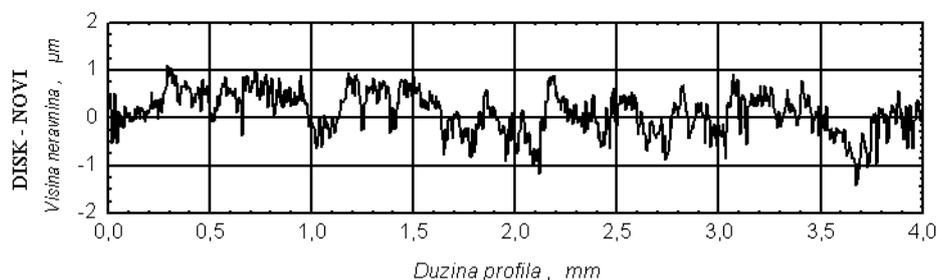
Tabela 4
Parametri topografije površina novog diska i bloka na referentnoj dužini i diskova na kraju ispitivanja uzoraka motornog ulja [3]

Table 4
Parameters of surface topography of the new disk and block at the reference length and disk the end of the tests samples of motor oil [3]

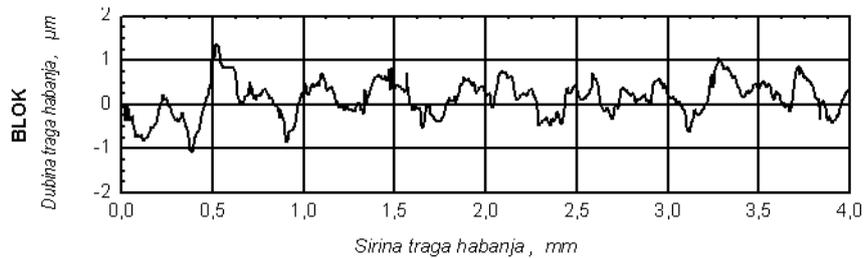
Veličina	Novi disk	Na kraju eksperimenta (ispitivanja)			Novi blok
		disk – mercedes	disk – puh	disk – pincgauer	
Rt1	2.0	2.5	2.1	3.0	2.45
Rt2	1.8	2.3	3.5	3.5	1.66
Rt3	2.1	2.1	2.6	2.1	1.77
Rt4	2.3	2.1	2.4	3.4	1.23
Rt5	1.9	2.9	2.9	3.2	1.48
Ra	0.48	0.36	0.41	0.41	0.357
Rq	0.61	0.46	0.54	0.55	0.429
Ry (Rmax)	2.3	2.9	3.5	3.5	2.45
Rtm	2.0	2.4	2.7	3.0	1.72
Rv	1.4	1.8	1.9	2.1	1.07
Rp	2.1	1.3	1.7	2.1	1.38
Sm	62	40	64	50	202
Δq	3.0o	4.5o	3.8o	4.6o	1.7o
Rsk	0.5	-0.5	-0.2	-0.1	-0.3
Rku	3.1	3.4	4.0	4.3	2.5
S	17	18	24	21	4.1
R3z	1.6	1.8	2.0	2.3	1.23
Rpm	1.2	1.0	1.0	1.3	0.92
R3y	1.8	2.0	2.6	2.8	1.49

Parametri topografije površina novog diska i bloka, kao i diskova na kraju ispitivanja uzoraka motornog ulja, prikazani su u tabeli 4. Vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja označene su sa Ra.

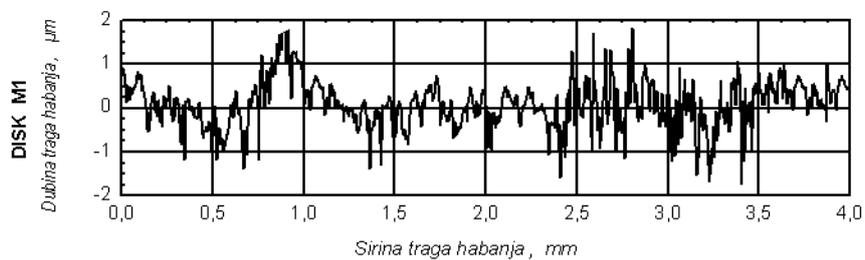
Na slikama 11 do 15 prikazane su topografije površina novog bloka i diska na referentnoj dužini, kao i diskova na kraju ispitivanja motornog ulja iz razmatranih vozila.



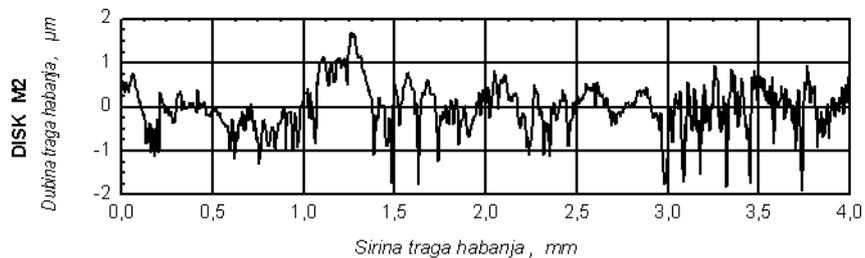
Slika 11 – Topografija površine novog diska na referentnoj dužini [3]
Figure 11 – Surface topography of the new disk at the reference length [3]



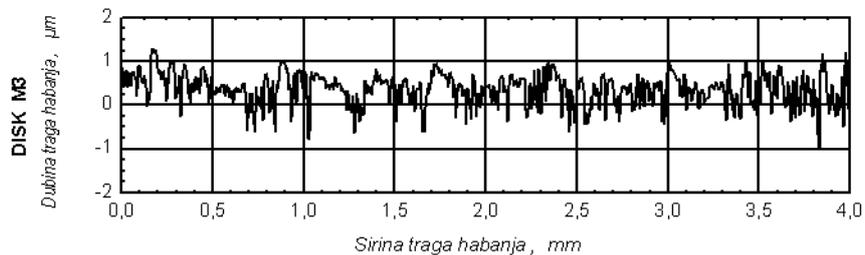
Slika 12 – Topografija površine novog bloka na referentnoj dužini [3]
 Figure 12 – Surface topography of the new block at the reference length [3]



Slika 13 – Topografija površine diska na ref. duž. motornog ulja *mercedesa* [3]
 Figure 13 – Surface topography of the disk at the reference length of the motor oil from the Mercedes vehicle [3]



Slika 14 – Topografija površine diska na ref. duž. motornog ulja *puha* [3]
 Figure 14 – Surface topography of the disk at the reference length of the motor oil from the Puch vehicle [3]



Slika 15 – Topografija površine diska na referentnoj dužini motornog ulja iz *pincgauera* [3]
 Figure 15 – Surface topography of the disk on the reference length of the motor oil from Pincgauer [3]

Na slikama 16 do 18 prikazani su dijagrami promene koeficijenta trenja uzorkovanih menjačkih ulja u funkciji od pređenog puta vozila.

Srednje vrednosti koeficijenta trenja između bloka i diska pri korišćenju ispitivanih menjačkih ulja kod svih vozila kreću se u granicama od 0,058 do 0,0987. Sa povećanjem pređenog puta koeficijent trenja kod menjačkog ulja iz *mercedesa O 345* postepeno raste, a kod menjačkog ulja iz *puha* postepeno pada. Kod menjačkog ulja iz *pincgauera* koeficijent trenja u početku pada, a zatim raste.

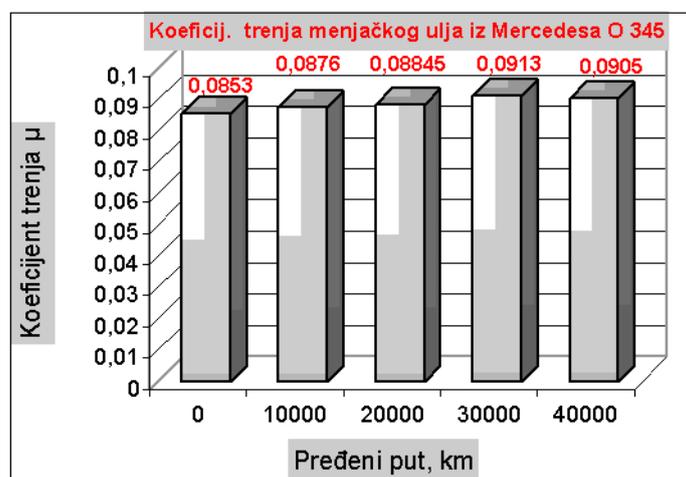
Tabela 5

Rezultati triboloških ispitivanja menjačkih ulja [3]

Table 5

Results of experimental research tribological characteristics oil from power transmitters of vehicles [3]

Menjačko ulje	Koeficijent trenja μ	Granično podmazivanje	
		širina traga habanja na bloku (mm)	dubina habanja na bloku (μm)
„0 uzorak“ iz <i>mercedesa</i>	0,0853	0,51	1,083
Uzorak 1 iz <i>mercedesa</i>	0,0876	0,562	1,316
Uzorak 2 iz <i>mercedesa</i>	0,08845	0,68	1,926
Uzorak 3 iz <i>mercedesa</i>	0,0913	0,69	1,983
Uzorak 4 iz <i>mercedesa</i>	0,0905	0,752	2,356
„0 uzorak“ iz <i>puha</i>	0,0987	0,711	2,106
Uzorak 1 iz <i>puha</i>	0,0877	0,729	2,214
Uzorak 2 iz <i>puha</i>	0,08	0,751	2,350
Uzorak 3 iz <i>puha</i>	0,0814	0,80	2,666
Uzorak 4 iz <i>puha</i>	0,0795	0,833	2,891
Uzorak 5 iz <i>puha</i>	0,0763	–	–
„0 uzorak“ iz <i>pincgauera</i>	0,067	0,583	1,416
Uzorak 1 iz <i>pincgauera</i>	0,066	0,585	1,425
Uzorak 2 iz <i>pincgauera</i>	0,058	0,615	1,575
Uzorak 3 iz <i>pincgauera</i>	0,061	0,625	1,627
Uzorak 4 iz <i>pincgauera</i>	0,059	0,643	1,722
Uzorak 5 iz <i>pincgauera</i>	0,063	0,676	1,904



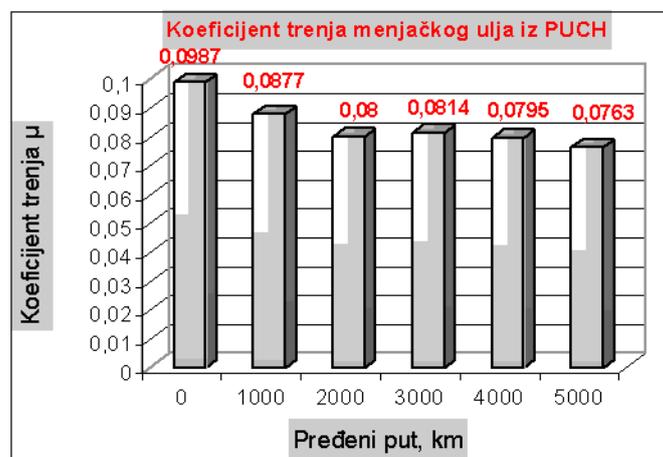
Slika 16 – Promena koeficijenta trenja menjačkog ulja iz Mercedes O 345 [3]
 Figure 16 – Change of oil friction coefficient in the power transmitters of the Mercedes O 345 vehicle [3]

Dijagram na slici 16 pokazuje da je koeficijent trenja kod uzoraka korišćenog menjačkog ulja *prista ATF* (iz Mercedes O 345) veći od koeficijenta trenja nultog uzorka (sveže ulje). Na povišenim radnim temperaturama dolazi do reakcije između aditiva iz ulja i površine koja se podmazuje, raspadanja ZnDDP (cinkdialkilditiofosfat) i njegovog prelaska u oblik slobodnog radikala. Na ovaj način usporava se proces oksidacije ulja u menjaču tokom njegovog rada. U korišćenom menjačkom ulju *prista ATF* nalaze se, na opisan način formirani slobodni radikali, koji zbog funkcije ZnDDP (antioksidant) ne utiču na smanjenje trenja i habanja.

Uticaj degradacije menjačkog ulja i povećanja koncentracije produkata habanja ogleda se, za vreme triboloških ispitivanja, u većem koeficijentu trenja i habanju.

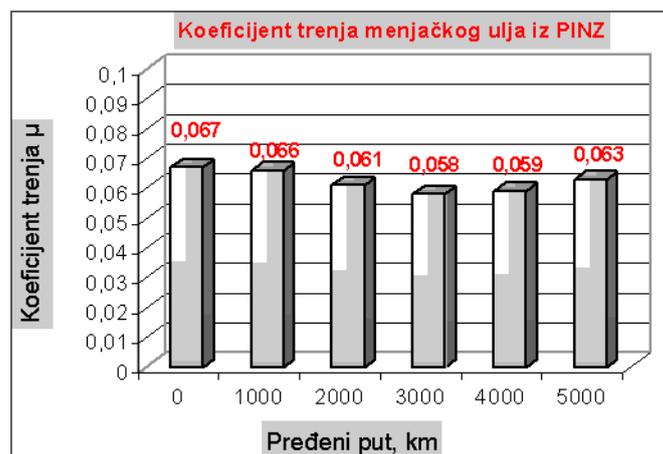
Analizom dijagrama na slici 17 može se uočiti da je koeficijent trenja pri ispitivanju nultog (svežeg) uzorka menjačkog ulja UAMS (iz *puh-a*) veći nego pri ispitivanju sa korišćenim uzorcima. Uzrok ovakvog koeficijenta trenja treba tražiti u samoj strukturi ulja, koja je formulisana sumpor-fosfornim bespepelnim EP antihabajućim aditivom. Fosfor ima osobinu da pri kontaktnoj temperaturi od 700°C reaguje sa metalom i gradi metal-sulfid koji kao hemijska prevlaka štiti površinu od habanja, dok sumpor na temperaturi od 900°C pri reakciji sa metalom gradi metal-sulfid koji se odlikuje velikom tvrdoćom i ne dozvoljava habanje površine. Posledica formiranja hemijskih slojeva velike tvrdoće na dodirnim površinama je veliko trenje iskazano koeficijentom trenja.

Korišćeno menjačko ulje UAMS sadrži polarna jedinjenja nastala reakcijom aditiva i metala usled oksidacije (posebno izražena kod povišenih radnih temperatura). Na taj način formirana polarna jedinjenja se, prilikom triboloških ispitivanja, vezuju za metalne površine bloka i diska i obrazuju sloj koji predstavlja metalni sapun. Na taj način ofomljeni mazi-vi sloj sprečava kontakt površina bloka i diska, usled čega se stvaraju uslovi da početno granično podmazivanje prelazi u elastohidrodinamičko podmazivanje. Posledica toga je manji koeficijent trenja i manje habanje, kao i mogućnost da dođe do proklizavanja površina.



Slika 17 – Promena koeficijenta trenja menjačkog ulja iz puha [3]

Figure 17 – Change of oil friction coefficient in the power transmitters of the Puch vehicle [3]

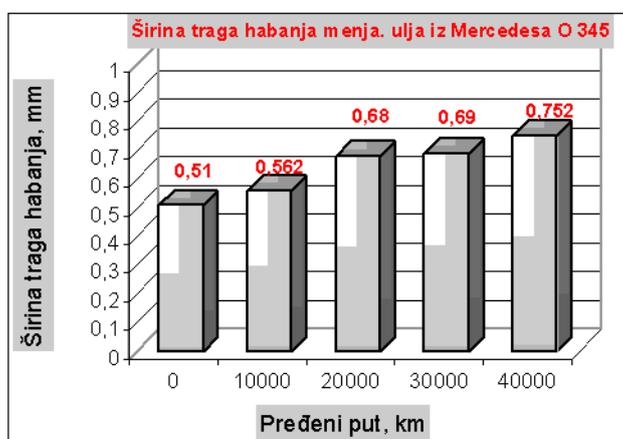


Slika 18 – Promena koeficijenta trenja menjačkog ulja iz pincgauera [3]

Figure 18 – Change of oil friction coefficient in the power transmitters of the Pinzgauer vehicle [3]

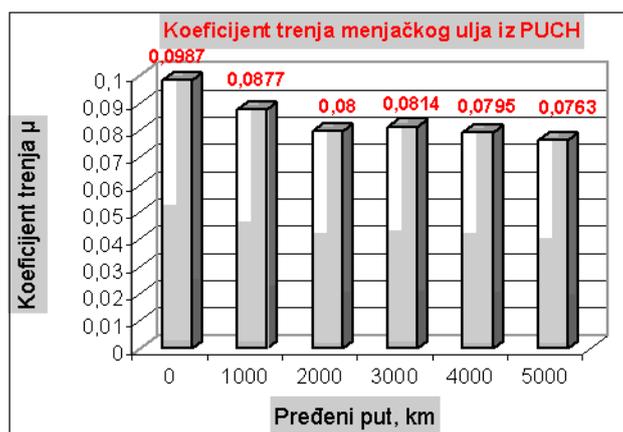
Na slikama 19 do 21 prikazani su dijagrami promene širine traga habanja uzorkovanih menjačkih ulja u funkciji od pređenog puta vozila.

Sa povećanjem pređenog puta širina pojasa habanja diska raste kod ispitivanih menjačkih ulja iz sva tri vozila i to: kod ulja iz *mercedesa O 345* do vrednosti 0,752 mm; kod ulja iz *puh-a* do vrednosti 0,833 mm i kod ulja iz *pincgauera* do vrednosti 0,676 mm. Vidljiv je konstantan rast širine habanja diska, u funkciji od pređenog puta, što je posledica uticaja povećanja produkata habanja u ulju i promene podmazujućih karakteristika ulja (usled postepene degradacije ulja) u toku ispitivanja.



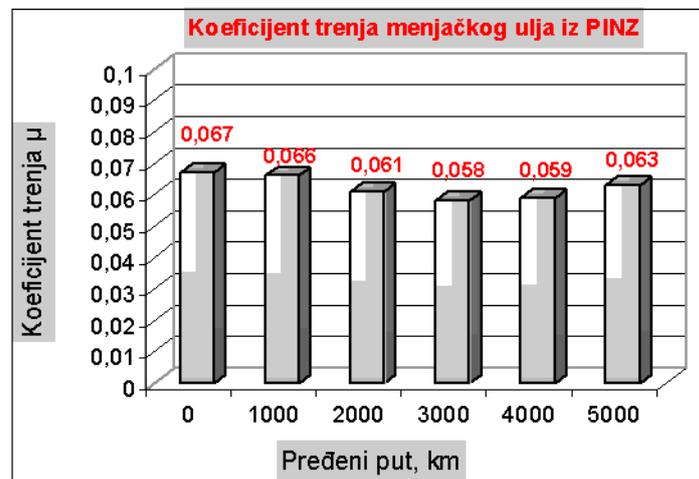
Slika 19 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *mercedesa O 345* (menjačko ulje) [3]

Figure 19 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of Mercedes O 345 vehicle (oil from the power transmitters) [3]



Slika 20 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *puha* (menjačko ulje) [3]

Figure 20 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Puch vehicle (oil from the power transmitters) [3]



Slika 21 – Širina traga habanja b bloka zavisno od pređenog puta *pinzgauera* (menjačko ulje) [3]

Figure 21 – Dependence of the b block wear track width on the mileage of the Pinzgauer vehicle (oil from the power transmitters) [3]

Zaključak

Realizovana ispitivanja, pri čemu je vršeno uzorkovanje ulja iz motora i menjača razmatranih vozila (*mercedes O 345, puh 300GD i pinzgauer 710M*) koja su bila u eksploataciji i odgovarajuća tribološka merenja na tribometru TPD-93 potvrdila su mogućnost identifikacije promena karakteristika elemenata motora i menjača kao složenih tribomehaničkih sistema.

Na osnovu realizovanih ispitivanja dobijeni su odgovarajući histogrami promene koeficijenta trenja mereni nakon određenog vremena ostvarivanja kontakta na tribometru u zavisnosti od uzorka ulja, odnosno pređenog puta vozila, kao i širine pojasa habanja.

Razvijenom metodologijom ispitivanja, uz korišćenje opisane opreme, pokazano je da se ispitivanja u laboratorijskim uslovima mogu koristiti za identifikaciju karakteristika i stanja elemenata tribomehaničkih sistema, odnosno dijagnostiku elemenata sklopova motora i transmisije (menjača) vozila. Ovakav pristup izučavanju triboloških procesa pruža znatne prednosti u odnosu na ispitivanja u realnim uslovima. Međutim, može se primeniti u uslovima kada uzorkovanje ne remeti funkcionisanje realnog sistema. U ovom slučaju, to je uzorkovanje ulja za podmazivanje.

Literatura

- [1] Ivković, B., Rac A., „Tribologija”, Jugoslav Tribology Society, Kragujevac, 1995.
- [2] Perić, S., „Doprinos razvoju metoda dijagnostike stanja sa aspekta fizičko-hemijskih i triboloških karakteristika ulja kod motornih vozila”, doktorska disertacija, Beograd, 2009.
- [3] Perić, S., „Uticaj načina eksploatacije menjačkog prenosnika guseničnog vozila na fizičko-hemijske karakteristike sredstva za podmazivanje”, magistrski rad, Mašinski fakultet Beograd, 2006.
- [4] Perić, S., Nedić, B., „Monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies”, *Journal of the Balkan tribological association*, Volume 16, pages 242-257, University of Sofia, Bulgaria, 2010.
- [5] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., „Monitoring Physical and Chemical characteristics Oil for Lubrication”, *Journal Tribology in industry*, Volume 31, No 3-4, December 2009, pp. 59-66, University of Kragujevac - Faculty of Mechanical Engineering.
- [6] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., Pešić, Z., „Contribution to diagnostics of technical condition tribology assemblies transmitters of vehicles”, 6th International conference on tribology, BALKANTRIB '08, 12-14 June 2008, Sozopol, Bulgaria, pages BT-095-1 - BT-095-4.
- [7] Perić, S., „Monitoring stanja kroz testove analize ulja”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 4, pp 102-133, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2010.
- [8] Perić, S., „Savremene metode analize ulja u tehničkim sistemima”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 1, pp 83-112, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2010.

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OILS FROM ENGINES AND POWER TRANSMITTERS OF VEHICLES

FIELD: Mechanical Engineering (Tribology machines, tools and accessories)

Summary:

Nowadays, a special attention is focused on the development of modern devices and methods for monitoring condition changes of tribomechanical characteristics in systems. There are different physical and chemical methods and tribology methods for tribomechanical system diagnosis. Experience in technical systems exploitation showed that the most effective failure prognosis is based on particles created as a result of wear. The analysis of oil samples containing particles-products of wear, enables the evaluation of system tribology conditions in different phases of system exploitation. The paper presents the tribological tests in the analysis of oils used for the assessment of its condition.

The paper also deals with the results of the experimental research of tribological characteristics of motor and power transmitter oils sampled from engines and power transmitters of the Mercedes O 345, PUCH 300GD and PINZGAUER 710M vehicles in exploitation. The investigations showed that there is a change of tribological characteristics of lubrication oils in the vehicle engine and power transmitters. These changes are in a direct dependence of the state of all elements of the tribomechanical engine and power transmitters system, and they depend on their functional characteristics. The conclusion is based on the realized testing.

Introduction

Maintaining technical systems (TS), and especially material resources is a complex process. The basic purpose of maintaining is bringing TS to the condition that will enable realizing of set goals, and at the same time predict the possibility of failures and delays during the exploitation.

All improvements of maintaining TS processes up to now do not treat tribological characteristics of materials of tribo-system elements from the aspect of their influence on the system behavior during exploitation.

Identification of the condition of tribomechanical systems without disturbing their function, in conditions where failures appear due to wear of the elements and change of lubricant properties, has significant technical and economical effects. Continual tendency for creating tribomechanical systems where we could get the data about the condition of system elements occasionally or continually, without disturbing system functioning, stipulate continual development of new tribological methods.

Development of tribology as an interdisciplinary science based on experimental investigations contributes to the application and development of varied experimental equipment and devices-tribometers and tribometry as a special area of experimental investigations.

Identification of tribological processes, as a precondition to diagnosis of condition of real tribomechanical systems, can be done in two basic ways.

Tracking functional behaviors of real technical systems and model investigations.

Tracking of element performances on real tribomechanical system elements implies strictly oriented continual research without a possibility of varying and observing input parameters in a wider diapason.

However, with model investigations, during which sampling of investigated elements from real systems and simulation of contact conditions are done, we can get a wide range of data that indicate the conditions of realistic systems and predict their further behavior with adequate reliability. However, before making conclusions based on tribometric investigations, differences between real tribomechanical systems and investigations in model conditions.

The increasingly present investigations on tribometers are explained by the impossibility to embrace the complexity of the processes of friction and wear by investigations of real systems, both by character of

the physical-chemical processes unfolding and mutual inter-relations of large number of influential parameters. The fundamental characteristics of investigations on tribometers are simplicity of construction, low costs of conducting the experiments; shorten time of experiments and possibility of easy changing and control of input variables.

The application of tribology, and especially tribometry, in the function of identification of the status of tribo-mechanical systems, has as a goal to identify the state and changes in processes and elements of tribomechanical systems. By adequate sampling and tribological investigations during exploitation of the tribomechanical system, based on the model presented in this paper, it is possible to identify the status of the tribomechanical system and to predict its future behavior in exploitation, with purpose of preventive maintenance.

Regarding the primary role of lubricants (to reduce negative effects of tribological processes related to friction, wear and increase of temperature in the tribomechanical systems), all types of maintenance include lubrication as a very important part of the whole procedure.

On the other hand, lubricants are, as contact elements of systems, carriers of information about the state of the whole system, from the aspect of tribological and other ageing processes. Due to that, an analysis of oils, based on a properly defined program, represents a very effective method for monitoring the state of technical systems, which ensures early warning signals of potential problems that could lead to failure and break down of technical systems. In the systems structure, besides the mechanical components, the state of the lubricant itself is also changed, which leads to the loss of lubricating properties.

A vehicle as a technical means is a set of complex tribomechanical systems composed of a range of subsystems that are also complex tribomechanical systems.

They are composed of elements that participate in power transmission, moment of force from the motor, over transmissions (power transmitter, differential and other systems), to executive organs of a vehicle.

This analysis indicates the fact that tribological characteristics of complex tribomechanical systems cannot be seen in a simple way and that it is not easy to establish reliable methods and determine diagnostic parameters for evaluating the conditions of the observed system.

There is a variety of reasons for failures of real systems and for now we cannot talk about reliable methods for predicting the lifetime of complex systems.

Tribological characteristics of oils

Tribological characteristics of oils are:

- frictional force,*
- frictional coefficient,*
- wear intensity,*
- contact temperature,*
- intensity of increasing of wear products.*

Today, measuring equipment for evaluation and analysis of physical-chemical characteristics of lubricants is very developed; however, it is not the case with the determination of tribological characteristics. Also, reliable methods (even parameters) are not completely defined.

The majority of tribological characteristics are determined with defined standard tests, seen in Table 1. For that purpose, standard commercial tribometers such as Falex, Timken, Plint, Koehler, SRV, etc. can be used.

In the Laboratory of Tribology, Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac, measuring equipment for tribological investigations is being developed and produced during last couple of years. Also, new methodology of investigation is being developed. A measuring system, applied to the determination of tribological characteristics of tribomechanical system elements (not only lubricants) is composed of:

- tribometer TPD-93 for measuring normal force, frictional force and frictional coefficient;
- thermometer for measuring temperature of oils and elements in contact;
- PQ-2000 particles quantification;
- microscope for measuring wear parameters (length h , width b , and depth of worn zone);
- Talysurf 6, a computerized measuring device for measuring surface topography and wear parameters.

The investigation procedure of tribological characteristics of lubricants during exploitation consists of the following:

- oil sampling from real tribomechanical systems;
- determination of physical-chemical characteristics;
- establishing of wear products participation in oils;
- measuring tribological characteristics of tribomechanical systems in model conditions using sampled oils as lubricant.

These investigations imply previous determination of contact conditions:

- contact geometry;
- intensity and character of outer load;
- motion type (continual, cyclic, etc.) and velocity;
- temperature of elements in contact;
- lubrication method.

Detailed analyses of real tribomechanical systems establish previously determined parameters form the elements of contact pairs. Elements in contact pairs need to have strictly defined characteristics (material, hardness, surface condition, etc.).

Results of the experimental research of tribological characteristics of oils

Oil was sampled from engines and power transmitters of vehicles (Mercedes O 345, PUCH 300GD, and PINZGAUER 710M) in exploitation. Realized investigations and adequate tribological measuring confirmed the possibility of identification of changes of characteristics of engines and power transmitter elements as complex tribological systems.

The realized investigations resulted in adequate histograms of change of frictional coefficients measured after certain time of contact on the tribometer in dependence of oil samples, vehicle mileage and wear zone width.

Conclusion

By the help of highly developed methods of investigation and the described equipment, it was shown that investigations in laboratory conditions can be used for the identification of characteristics and conditions of elements of tribomechanical systems as well as the diagnosis of engine and transmission elements. This approach to studying tribological processes offers great advantages over investigations in real conditions. However, it can be applied when sampling does not disturb the functioning of a real system. In this case it is oil lubricant sampling.

Key words: monitoring, maintenance, oil tribological characteristics, lubrication.

Datum prijema članka: 15. 12. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 29. 01. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 01. 02. 2011.

MODELOVANJE DVOFAZNOG STRUJANJA U CEVIMA ORUĐA SA KOMBINOVANIM PUNJENJEM

Hristov P. *Nebojša*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,
Odeljenje za logistiku, Beograd,
Savić R. *Slobodan*, Univerzitet u Kragujevcu,
Mašinski fakultet, Kragujevac

OBLAST: mašinstvo (mehanika fluida)

Sažetak:

U članku se opisuju procesi unutar cevi oruđa sa kombinovanim punjenjem u toku opaljenja sa ciljem da se poboljša vatrena moć postojećih i projektovanje novih oruđa. Simulacije procesa opaljenja pružaju mogućnost optimizacije barutnog punjenja. Analizom dobijenih rezultata bira se najbolja kombinacija ulazno-izlaznih parametara radi postizanja što veće početne brzine projektila, a da maksimalni pritisci barutnih gasova budu što niži unutar cevil.

Key words: kombinovana punjenja, dvofazno strujanje, simulacija.

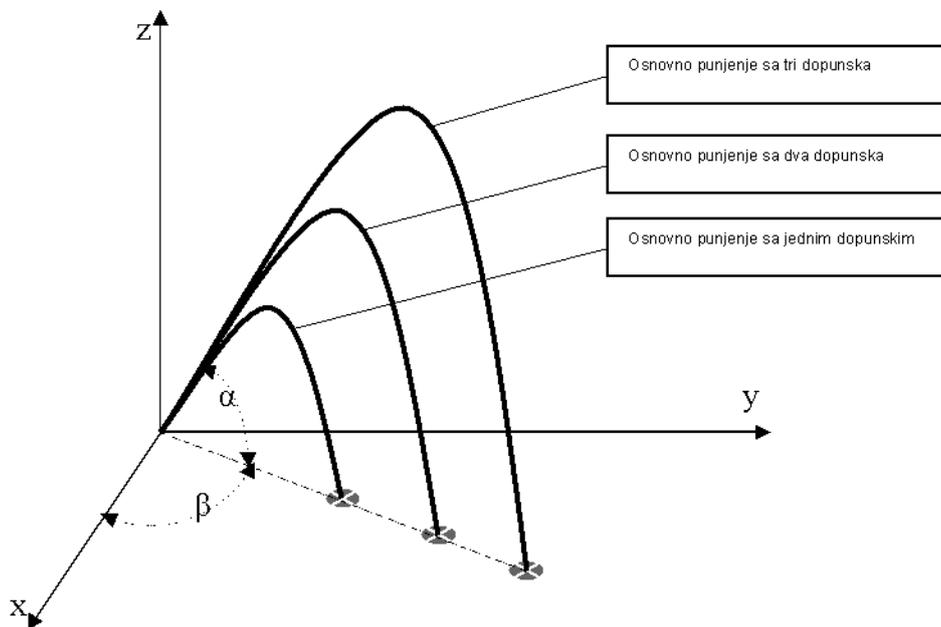
Specifičnosti oruža koja koriste kombinovana punjenja

Barutno punjenje, kao pogonski element projektila, predstavlja tačno određenu količinu baruta, propisanog hemijskog sastava, oblika i dimenzija. Po svom sastavu može biti stalno i kombinovano (promenljivo). Promenljivo barutno punjenje koristi se kod polusjedinjenog i dvodelnog metka. Ono je podeljeno na više celina iste ili različite mase, pa se može menjati u zavisnosti od daljine cilja i režima opterećenja cevi. Mali dometi ostvaruju se malim početnim brzinama, tj. malom masom baruta. Da bi ova mala masa brzo sagorela, barutna zrna moraju imati malu debljinu, tj. moraju biti sitna. Ova vrsta baruta ne može se koristiti za velike domete, jer bi sa povećanjem mase barutnog punjenja došlo do prekoračenja dozvoljenog maksimalnog pritiska. Ukoliko oruđe radi pod tim režimom usled velikih opterećenja dolazi do promene fizičko-hemijskih osobina materijala cevi, odnosno do raznih oblika deformacija (prslina, pukotina, nadvavanje cevi, proširenja kalibra i td.), što umanjuje taktičko-tehničke karakteristike i radni vek sredstva. Zbog toga se koriste, u kombinaciji sa tankim

barutom, i baruti većih debljina, koji obezbeđuju sagorevanje veće energije, a samim tim i veće početne brzine. Ove dve vrste baruta su obično istog ili sličnog hemijskog sastava i osobina, a razlikuju se, uglavnom, samo po dimenzijama. Kombinacijom baruta dobijaju se tražene taktičko-tehničke karakteristike i produžava eksploatacioni vek oruđa.

Kombinovana barutna punjenja sastoje se od više segmenata, koja su među sobom nezavisna. Osnovno punjenje sastoji se od određene količine sitnog baruta, a sva ostala punjenja su dopunska i uglavnom su od krupnijeg baruta. Postoji više dopunskih punjenja i ona ne moraju biti istih masa.

Haubice i minobacači su artljerijska sredstva koja koriste municiju sa kombinovanim barutnim punjenjem. Osnovne karakteristike ovih sredstava su da su namenjena za uništavanje zaklonjenih ciljeva koji se nalaze iza prepreka. Gađaju gomjom grupom uglova od 45° do 85° sa relativno malim početnim brzinama od 400 m/s do 600 m/s. Manevar vatre ostvaruje se promenom ugla elevacije ili promenom barutnog punjenja. Promenom barutnog punjenja omogućava se da se sa istim uglom elevacije dobiju različiti dometi, a samim tim i mogućnost da se gađa preko različitih prepreka (sl. 1).



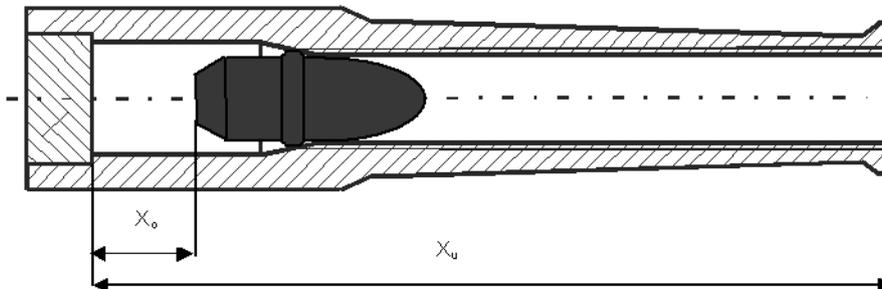
Slika 1 – Gađanje preko različitih prepreka
Figure 1 – Firing over different obstacles

Istovremeno sa manevrom vatre produžava se vek trajanja cevi jer se ne gađa uvek sa najvećim barutnim punjenjem, tj. ne postižu se uvek maksimalni pritisci.

Matematički model dvofaznog strujanja za oruđa sa kombinovanim punjenjem

Pri izradi matematičkog modela dvofaznog strujanja za oruđa sa kombinovanim punjenjem, posmatra se proizvoljan trenutak u toku sagorevanja. Iza pokretnog projektila dolazi do strujanja dve komponente: čvrste – nesagorela barutna zrna i gasovite – smeša barutnih gasova. U literaturi se ove dve komponente nazivaju faze, a sam proces dvofazno strujanje. Može se napomenuti da se čvrsta faza sastoji od dve komponente – sitnija i krupnija barutna zrna. U prvom periodu sagorevanja sagorevaju obe komponente (krupnija i sitnija barutna zrna), a karakteristike za obe komponente zamenjuju se karakteristikom smeše. Nakon završetka sagorevanja sitnijeg baruta nastavlja se sagorevanje krupnijeg, tako da samo on predstavlja čvrstu fazu u tom periodu, a samim tim i njegove karakteristike predstavljaju karakteristike čvrste faze.

Za izvođenje jednačina strujanja u procesu opaljenja posmatra se cev oruđa, koja je zatvorena zatvaračem sa zadnje strane. Na odstojanju X_0 od dna cevi nalazi se projektil mase m (sl. 2).



Slika 2 – Cev oruđa sa projektilom
Figure 2 – Weapon barrel with a projectile

Da se proces opaljenja reši u matematičkom smislu, odnosno da se postavi sistem jednačina, usvajaju se sledeće pretpostavke:

1. U zapremini elementarne dužine dx i jediničnog poprečnog preseka $S=1$ važi geometrijski zakon sagorevanja.
2. Pre opaljenja smeša barutnih zrna je ravnomerno raspoređena duž barutne komore.

3. Pre pokretanja projektila smeša barutnih gasova i barutnih zrna je nepokrena i ravnomerno raspoređena duž barutne komore.
4. U momentu pokretanja projektila, pritisak u svim tačkama barutne komore je isti (p_0).
5. Zanimaruje se kretanje cevi, već se samo posmatra relativno kretanje projektila u odnosu na cev.
6. Smatra se da je cev konstantnog poprečnog preseka po celoj dužini, tj. zanemaruje se postojanje prelaznog konusa.
7. Zanemaruje se otpor vazduha u cevi ispred projektila.
8. Zanemaruje se gubitak energije usled zagrevanja cevi.
9. Barutna zrna i gasovi se kreću različitim brzinama.
10. Koordinatni sistem se vezuje za dno cevi.
11. Početak rešavanja problema je moment pokretanja projektila, a početni uslovi se određuju na osnovu rešenja klasične teorije.

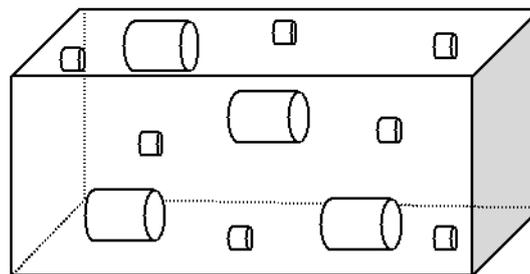
Osnovne jednačine strujanja

Za izvođenje jednačina posmatra se kontrolna zapremina (sl. 3), koja je dovoljno velika da primi mnogo barutnih zrna, ali je mala u poređenju sa ukupnim dimanzijama struje [1]. Barutna zrna zauzimaju zapreminu W_b , a barutni gasovi W_g , tako da je:

$$W = W_b + W_g \tag{1}$$

$$W_b = W_{b1} + W_{b2} \tag{2}$$

gde su: W_{b1} – zapremina krupnijeg baruta, a W_{b2} – zapremina sitnijeg baruta.



*Slika 3 – Kontrolna zapremina
Figure 3 – Control volume*

Na osnovu prethodnih pretpostavki i zakona o održanju mase, količine kretanja i energije i primenom transformacije Gaus-Ostrogratskog u toku izvođenja može se doći nekoliko jednačina. To su:

– jednačina kontinuiteta za barutne gasove:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon\rho) + \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon\rho u) = (1-\varepsilon)\rho_b^2 \frac{u_z S_z}{m_z} \quad (3)$$

– jednačina kontinuiteta za barutna zrna:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x}[u_b - (1-c)] = \rho_b u_b (1-\varepsilon) \frac{u_z S_z}{m_z} \quad (4)$$

– jednačina kretanja za barutne gasove:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon\rho u^2) + \varepsilon \frac{\partial p}{\partial x} = \rho_b^2 u_b (1-\varepsilon) \frac{u_z S_z}{m_z} - f \quad (5)$$

– jednačina kretanja za barutna zrna:

$$\rho_b \frac{\partial}{\partial t}[u_b (1-\varepsilon)] + \rho_b \frac{\partial}{\partial x}[u_b^2 (1-\varepsilon)] + (1-\varepsilon) \frac{\partial p}{\partial x} + \rho_b^2 u_b (1-\varepsilon) \frac{u_z S_z}{m_z} = f \quad (6)$$

– jednačina energije za barutne gasove:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left[\varepsilon \rho \left(e + \frac{u^2}{2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\varepsilon \rho u \left(e + \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right) \right] + p \frac{\partial}{\partial t} + \rho_b (1-\varepsilon) \frac{u_z S_z}{m_z} = \\ & = (1-\varepsilon) \rho_b^2 \frac{u_z S_z}{m_z} \left(e_b + \frac{p}{\rho_b} + \frac{u_b^2}{2} \right) - f u_b \end{aligned} \quad (7)$$

U prvom periodu, dok traje sagorevanje, važe navedene jednačine, gde je $\varepsilon < 1$ i $f > 0$, a za drugi period, gde je $\varepsilon = 1$ i $f = 0$, samo preostale jednačine. Treba napomenuti da, u matematičkom smislu, kraj sagorevanja ne mora da bude u istom momentu u svim tačkama cevi iza projektila.

Dopunske jednačine sistema

U matematički model dvofaznog strujanja [2] uvedene su dopunske jednačine po modelu Opokova koji opisuju smešu baruta. To su :

– ukupna masa baruta:

$$m_b = m_b' + m_b'' \quad (8)$$

gde se veličine sa oznakom ' odnose na sitniji, a sa oznakom '' na krupniji barut.

– odnosi masa:

$$i' = \frac{m_b'}{m_b} \quad i'' = \frac{m_b''}{m_b} \quad (9)$$

– gustina punjenja:

$$\Delta = \frac{m_b}{W_0} \quad (10)$$

– zapreminska masa smeše:

$$\rho_b = \frac{\rho_b' + \rho_b''}{i' \rho_b' + i'' \rho_b''} \quad (11)$$

– kovolumen barutnih gasova:

$$\alpha = i' \alpha' + i'' \alpha'' \quad (12)$$

– energija baruta:

$$e_b = i' e_b' + i'' e_b'' \quad (13)$$

– ukupni impulsi:

$$I_k = \frac{r_0'}{u_{z0}'} \quad I_k'' = \frac{r_0''}{u_{z0}''} \quad I_k = \frac{I_k'}{I_k''} \quad (14)$$

– koeficijenti oblika:

$$k_1 = \frac{i' k_1'}{I_k} + i'' k_1'' \quad \lambda_1 = \frac{1}{k_1} \left(\frac{i' k_1' \lambda_1'}{I_k^2} + i'' k_1'' \lambda_1'' \right) \quad (15)$$

Ako sa r označimo dubinu prodiranja plamena u barutno zrno u jednom smeru, onda je:

$$\frac{\partial r}{\partial t} = u_z \quad (16)$$

Pomoću puta plamena r_z definiše se takozvana relativna sagorela debljina barutnog zrna (za deblje barutno zrno):

$$y'' = \frac{r''}{r_0''} \quad (17)$$

– definiše se i vrednost:

$$y_{2k} = \frac{r_0'}{r_0''} \quad (18)$$

kada sagorevaju i deblji i tanji barut onda je $y < y_{2k}$, a kad sagoreva samo krupniji barut $y_{2k} < y < 1$.

Ako sa y_0'' označimo debljinu koja je sagorela u prethodnom periodu (pre početka kretanja projektila), a sa y trenutnu sagorelu debljinu, uvodi se nova promenljiva:

$$x = y - y_0'' \quad (19)$$

koja se kreće u granicama od 0 do $x_k = 1 - y_0''$.

U prethodnom periodu, kada je poznat pritisak forsiranja p_0 , uz uslove $X=V=0$, mogu da se odrede sledeće vrednosti:

$$y_0'' = \frac{\sigma_{0-1}}{2\lambda_1} \quad \psi_0 = \frac{\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\rho_b}}{\frac{f_b}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\rho_b}} \quad \sigma_0 = \sqrt{1 + \frac{\lambda_1 \psi_0}{\kappa_1}}$$

Relativna sagorela masa baruta:

Za $y < y_{2k}$ važi sledeća relacija:

$$\psi = \psi_0 + \kappa_1 x + \kappa_1 \lambda_1 x^2 \quad (20)$$

a za $y_{2k} \leq y \leq 1$:

$$\psi = \psi_{02} + i' \kappa_1 x + i' \kappa_1 \lambda_1 x^2 \quad (21)$$

gde su:

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= \kappa_1 \sigma_0 & \psi_{02} &= i' + i' \psi_0'' \\ \sigma_0 &= 1 + 2\lambda_1 y_0'' & \psi_0'' &= \kappa_1 y_0'' (1 + \lambda_1 y_0'') \end{aligned}$$

Relativna sagorevajuća površna barutnog zrna:

Za $y < y_{2k}$ važi sledeća relacija:

$$\sigma = 1 + 2\lambda_1 x \quad (22)$$

a za $y_{2k} < y < 1$:

$$\sigma = 1 + 2\lambda_1 x \quad (23)$$

Nesagorela masa barutnog zrna (m_z)

$$m_z = m_{z0} (1 - \psi) \quad (24)$$

Površina nesagorelog barutnog zrna (S_z)

$$S_z = \sigma S_{z0} \quad (25)$$

Početni i granični uslovi

Proces opaljenja posmatra se od momenta pokretanja projektila, a početni uslovi se određuju na osnovu klasične teorije, na osnovu izraza za pritisak u prostoru konstantne zapremine za proizvoljan trenutak:

$$p = \frac{f_b m_b \psi}{W_0 - \frac{m_b}{\rho_b} (1 - \psi) - \alpha m_b \psi} \quad \psi_0 = \frac{m_b \rho_b}{\frac{f_b}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\rho_b}}$$

Početna vrednost za σ_0 :

$$\sigma_0 = \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda_1 \psi_0}{\kappa_1}}$$

Početna vrednost za y_0 :

$$y_0 = \frac{\sigma_0 - 1}{2\lambda_1}$$

Pošto barutni gasovi popunjavaju prostor koji se dobije kada se od zapremine barutne komore oduzme zapremina nesagorelog baruta, to je:

– početna gustina barutnih gasova:

$$\rho_0 = \frac{m_b \psi_0}{W_0 - \frac{m_b}{\rho_b} (1 - \psi_0)}$$

– početna vrednost poroznosti:

$$\varepsilon_0 = \frac{m_b \psi_0}{\rho_0 W_0}$$

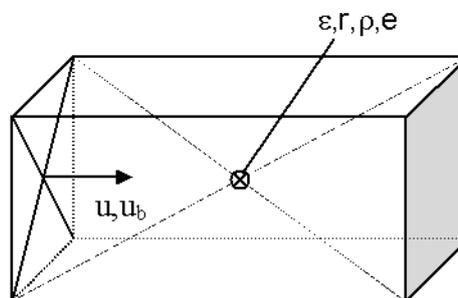
– početna vrednost jedinične unutrašnje energije:

$$e_0 = \frac{p_0 (1 - \alpha \rho_0)}{\rho_0 (k - 1)}$$

Izbor metode za rešenje matematičkog modela

Zbog složenosti matematičkog modela primenjuje se numerička metoda konačnih razlika. Kod ove metode izvodi se zamenjuju konačnim razlikama, dobija se šema koja kroz bilo koju matematičku transformaciju prenosi fizička svojstva jednačina strujanja. Pošto su obe faze promenljive, koriste se diskretne jednačine, a u samom procesu rešavanja smaknuta numerička šema. Veličine kao što su poroznost, pritisak, gustina i energija određuju se u tačkama, koje se nalaze u centrima kontrolnih zapremina. Nasuprot tome, brzine se sračunavaju u tačkama strana kontrolnih zapremina, koje su normalne na njih (sl. 4).

Ova mreža nastala je, pre svega, kao potreba ispravnog tretiranja gradijenta pritiska u jednačinama održanja količine kretanja.



Slika 4 – Sračunavanje brzina u tačkama strana kontrolnih zapremina
 Figure 4 – Calculation of velocities at the points of control volume surfaces

Programsko rešenje i rezultati proračuna

Na osnovu matematičkog modela razvijeno je programsko rešenje za UB proračun. Osnovni cilj programskog rešenja je bio da se kroz metodu dvofaznog strujanja ugradi matematički model Opokova za smešu barutnih zrna i prikaže mogućnost UB proračuna dvofaznim strujanjem [3] za oruđa koja koriste kombinovana punjenja. Programsko rešenje sastoji se od:

1. glavnog programa,
2. datoteke ulaznih podataka i
3. izlaznih rezultata kao proizvoda glavnog programa.

Glavni program je organizovan tako da se proračun izvodi po fazama u zavisnosti od vremena i puta. Na početku se vrši učitavanje polaznih podataka iz datoteke ulaznih podataka, zatim definicija početnih, graničnih i dopunskih uslova, kao i izračunavanje potrebnih podataka. Za rešavanje sistema diferencijalnih jednačina za prvi period, dok traje sagorevanje barutnih zrna, nezavisna promenljiva je put plamena x (od 0 do y_0), a za drugi period, pošto je završeno sagorevanje baruta, nezavisna promenljiva je put X , koji treba da pređe projektil od kraja sagorevanja barutnih zrna do napuštanja usta cevi.

Za testiranje programskog rešenja odabrana je haubica 155 mm A1, kao klasični primer oruđa koje koristi kombinovano punjenje kod dvodelnog metka. Simulacija je vršena sa podacima za barute domaće proizvodnje [4] prikazane u tabeli 1.

Tabela 1

Karakteristike baruta

Table 1

Gunpowder characteristics

model	s_z	m_z	r_0	e_b	alfa	u_{z0}	kapa	lamda
NC-121/1	1,62E-02	1,36E-02	0,000587	960665,6	0,00098	8,40E-10	1,0017	-0,0017
NC-123/1	1,61E-02	1,48E-02	0,00059	952136,8	0,001	8,00E-10	1,0017	-0,0017
NC-18/1	7,27E-02	1,17E-02	0,000992	937840,7	0,00102	7,20E-10	1,0064	-0,0064
NC-24/1	2,23E-05	2,06E-05	0,000325	987876,9	0,00094	9,90E-10	1,0867	-0,0798
NC-31/1	1,72E-05	3,36E-04	0,00043	963996	0,00098	8,60E-10	1,0983	-0,0895
NC-33/7	3,03E-04	3,20E-04	0,000435	977642,3	0,00096	9,30E-10	1,0725	-0,0676
NC-34/7	3,89E-04	5,11E-04	0,0006	987876,9	0,00094	9,90E-10	1,096	-0,0876
NC-371/7	3,90E-04	4,56E-04	0,000525	960665,5	0,00098	8,40E-10	1,0875	-0,0805
NC-43/7	5,63E-04	7,72E-04	0,0006	967488,8	0,00097	8,80E-10	1,0828	-0,0764
NCD-11/1	3,15E-05	1,01E-05	0,0002	913066,3	0,00106	5,90E-10	1,0571	-0,0541
NCD-13/1	3,41E-05	1,21E-05	0,000235	918183,6	0,00105	6,20E-10	1,0671	-0,0629
NCD-21/7	1,55E-04	1,01E-04	0,000335	914122,3	0,00106	6,00E-10	1,0893	-0,082
NCD-25/7	3,79E-04	4,36E-04	0,0005	919889,4	0,00105	6,90E-10	1,08	-0,0741
NCD-27/7	3,12E-04	3,12E-04	0,00044	918833,4	0,00105	6,20E-10	1,0677	-0,0634
NCD-28/7	7,07E-04	1,01E-03	0,00065	926631,3	0,00104	6,70E-10	1,0743	-0,0691
NCD-31/7	8,00E-04	1,23E-03	0,0007	919889,4	0,00105	6,30E-10	1,08	-0,0741

Izvršeno je testiranje za sve moguće kombinacije baruta. Osnovni kriterijumi pri izboru optimalne kombinacije bili su maksimalni pritisak u cevi < 3100 bara i početna brzina projektila od 400 do 600 m/s. Cilj je da se ostvari veća početna brzina sa što nižim maksimalnim pritiskom.

Testirane su različite kombinacija baruta (krupniji–sitniji) sa istim masenim udelom, a na osnovu izlaznih parametara odabrane su optimalne kombinacije. Najbolje rezultate u pogledu početne brzine i maksimalnog pritiska [5] dale su kombinacije kod kojih je osnovno punjenje od baruta NC 18. Nakon toga analizirani su rezultati izlaznih parametara za sve moguće kombinacije dopunskih punjenja od sitnijih barutnih zma domaće proizvodnje (prikazani u tabeli 2).

Tabela 2
Table 2

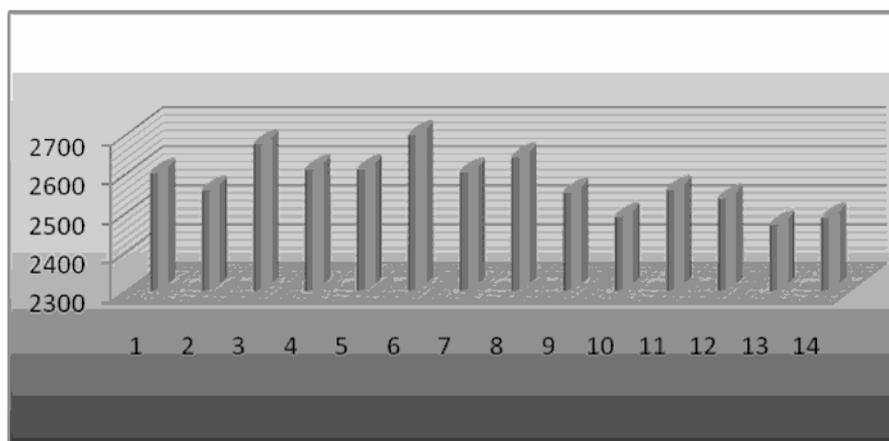
Kombinacije barutnih punjenja
Combinations of gunpowder charges

Broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Kombinacija baruta	NC121/NC18	NC123/NC18	NC24/NC18	NC31/NC18	NC33/NC18	NC34/NC18	NC371/NC18	NC43/NC18	NCD11/NC18	NCD13/NC18	NCD21/NC1 8	NCD25/NC1 8	NCD28/NC1 8	NCD31/NC1 8

Na dijagramu 1 prikazane su vrednosti pritiska u barima za različite vrste kombinacija baruta.

Dijagram 1
Diagram 1

Maksimalni pritisak u cevi oruđa za kombinacije baruta
Maximum pressure in the weapon barrel for gunpowder combinations

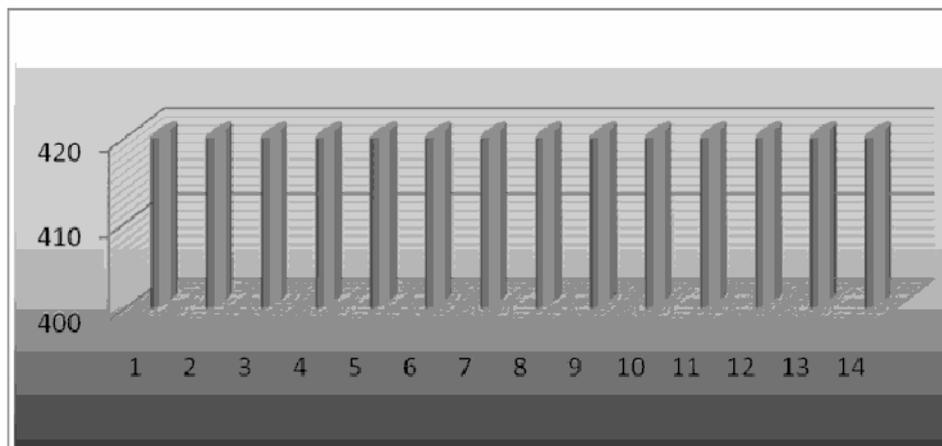


Na dijagramu 2 prikazane su vrednosti početne brzine u m/s za različite vrste kombinacija baruta.

Dijagram 2

Diagram 2

Početna brzina projektila za kombinacije baruta
Projectile muzzle velocity for gunpowder combinations



Na osnovu tabelarnih veličina odabira se najpovoljnija kombinacija baruta NC-18/NCD-28. Variranjem masa krupnijeg i sitnijeg baruta dobija se optimalna masa barutnog punjenja za standardni projektil kojim se postiže maksimalni domet. Pri variranju masa gustina barutnog punjenja mora da bude niža od dozvoljene (za haubice i minobacače 800 kg/m^3). Za proračunate optimalne mase, kojima se postiže maksimalni domet, gustina barutnog punjenja iznosi 720 kg/m^3 , što je u granicama dozvoljenog. Karakteristike takvog metka [6] prikazane su u tabeli 3:

Tabela 3

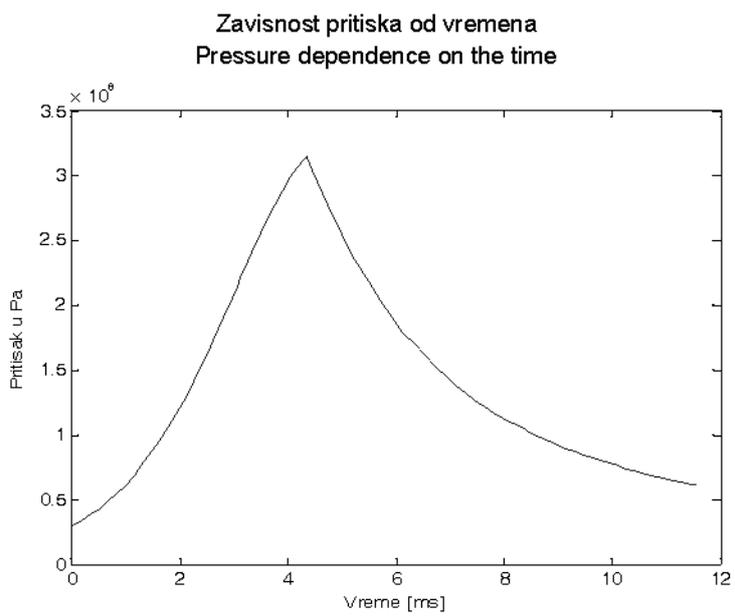
Table 3

Karakteristike metka 155 mm
Characteristics of the 155mm projectile

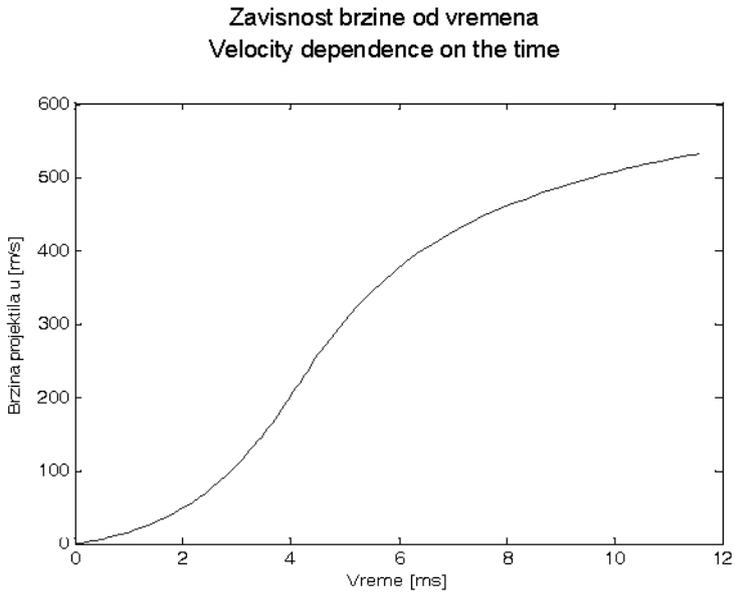
Masa metka	Masa barutnog punjenja	Masa osnovnog punjenja	Masa dopunskog punjenja	Masa projektila	Početna brzina
47,2 kg	5,2 kg	4,0 kg	1,2 kg	42 kg	523 m/s

Simulacije procesa opaljenja prikazane su na dijagramima zavisnosti pritiska i brzine od puta i vremena.

Dijagram 3
Diagram 3

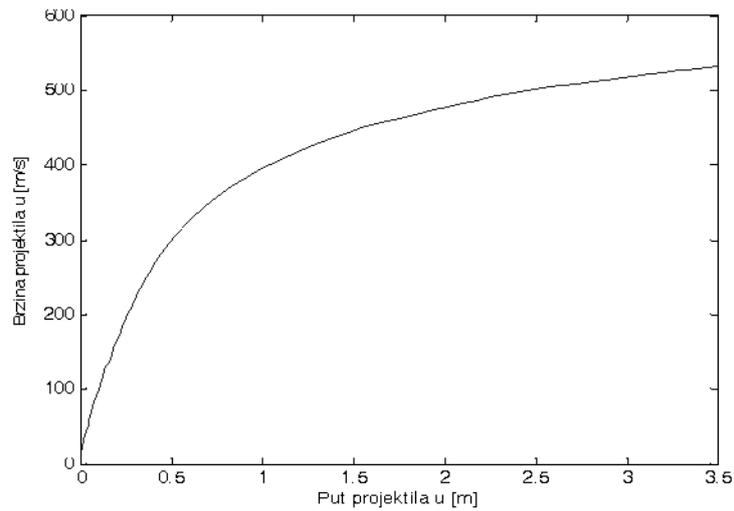


Dijagram 4
Diagram 4



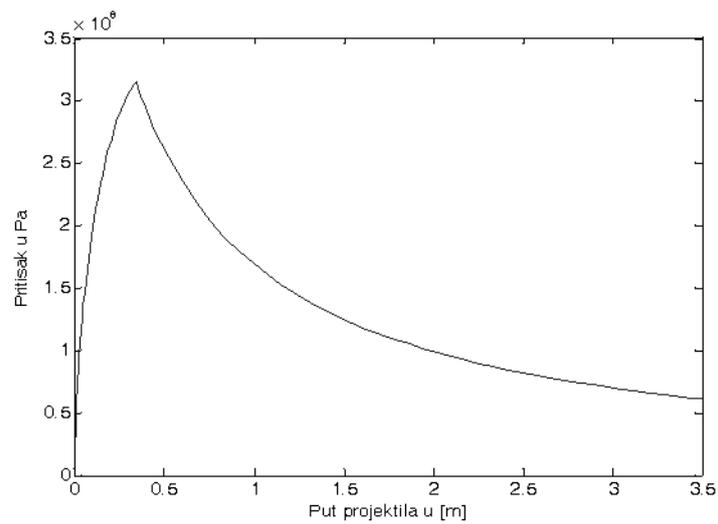
Dijagram 5
Diagram 5

Zavisnost brzine od puta
Velocity dependence on the path

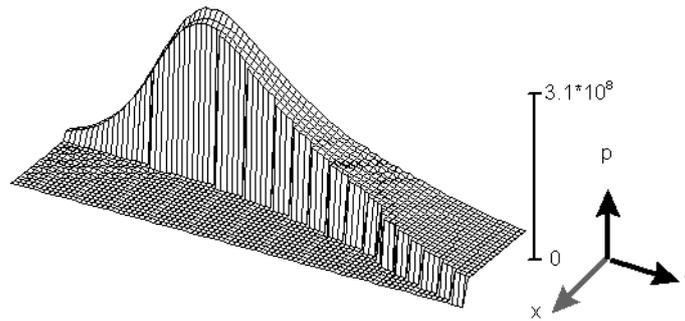


Dijagram 6
Diagram 6

Zavisnost pritiska od puta
Pressure dependence on the path



Zavisnost pritiska od puta i vremena
Pressure dependence on the path and the time



Zaključak

Primarni zadatak ovog rada bio je modelovanje dvofaznog strujanja za oruđa koja koriste kombinovana punjenja. Matematički model dvofaznog strujanja je modifikovan i prilagođen za sredstva koja koriste kombinovana punjenja uvođenjem modela Opokova za smešu baruta. Rezultati simulacija su realni i približni su tabličnim vrednostima. Teorijske rezultate je potrebno proveriti u praksi, tako što bi se sa adekvatnim barutnim punjenjem izvršilo opitno gađanje i pri tome izmerili odgovarajući parametri, kao što su početna brzina projektila i maksimalni pritisak barutnih gasova.

Matematički model i programsko rešenje mogu se primeniti na bilo kom sredstvu, pa čak i za sredstva koja koriste jednu vrstu baruta i analizirati kakve bi izlazne rezultate davale određene kombinacije baruta koje bi se kao smeša primenjivale za barutno punjenje.

Treba razmotriti mogućnost projektovanja novih tipova baruta, kako sa stanovišta geometrije, tako i u pogledu fizičko-hemijskih i balističkih karakteristika. Pruža se mogućnost projektovanja nove municije variranjem mase projektila, mase barutnog punjenja, gustine punjenja, pritiska forsiranja i drugih parametara.

Matematički model koji je prikazan, nakon praktične provere izlaznih rezultata, pretrpeo bi određene modifikacije, a zatim bi mogao da posluži kao dobra osnova za modifikaciju postojećih i projektovanje novih sredstava naoružanja.

Literatura

- [1] Cvetković, M.: *Unutrašnja balistika*, CVTŠ, Zagreb, 1985.
 [2] Cvetković, M.: *Unutrašnja balistika*, SŠONID-VTA VJ, Beograd, 1998.
 [3] Tančić, Lj.: *Zbirka zadataka iz unutrašnje balistike*, SŠONID-VTA VJ, Beograd, 1998.
 [4] *Baruti Jugoslovenske proizvodnje*, VTI, Beograd, 1981.
 [5] Čabarkapa, O., Tančić, Lj.: „Korekcija teorijskih i eksperimentalnih rezultata jedinačne brzine sagorevanja baruta u cevi oružja”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 49, No. 6, pp 571-579, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd 2001.
 [6] *Municija*, knjiga 1 (2. deo), TU SSNO, Beograd, 1974.

MODELING TWO-PHASE FLOW IN BARRELS OF WEAPONS WITH COMBINED CHARGES

FIELD: Mechanical Engineering (Fluid mechanics – Hydraulics & Pneumatics)

Summary:

The processes occurring during the firing within barrels of weapons with combined charges are described aiming at the improvement of fire power of existing weapons and the design of new ones. The firing process simulation enables the optimization of gunpowders. The analysis of the obtained results helps in choosing the best combination of input-output parameters for the highest muzzle velocity possible while keeping powder gas maximum pressures inside the barrel at the lowest possible level.

Characteristics of weapons with combined charges

Gunpowder charges can be of constant or variable/combined-formulations. Combined gunpowder charges consist of several parts of the same or different weight loading and usually of two types of gunpowder grains of varied geometrics and shapes.

Howitzers and mortars use the ammunition with combined gunpowder charges. Firing maneuver (Fig. 1.) is realised with the change of either elevation angles or gunpowder charges. Life cycles of weapon barrels increase with firing maneuvers because a maximum pressure value is never gained.

Mathematical model for a two phase flow in weapon barrels with combined charges

The processes occurring in the model barrel behind a fired projectile are described. The flow is in two phases: hard - unburnt gunpowder grains and gaseous - mixture of gunpowder gases. The hard phase consists of two components: small and large gunpowder grains. Additi-

onal equations of the Opokov model are introduced into the mathematical model. These additional equations describe the gunpowder mixture. The numerical FEM is used on account of the mathematical model complexity. The derivatives are replaced by finite differences and the obtained scheme transfers the physical characteristics of flow equations through any mathematical transformation. Since both phases are variable, discrete equations are used as well as the removed numerical scheme. Porosity, pressure, density and energy are determined in the centers of control volumes. Velocities are determined at the points of control volume surfaces (Fig. 4.).

Software solution and the calculation results

A program for internal ballistic estimate is developed on the basis of the mathematical model. The estimate is executed in phases depending on time and path. Being a classical example of an artillery weapon with a combined gunpowder charge, a 155 mm howitzer A1 has been chosen for testing. Data of nationally produced gun powders have been used in the simulation. The basic criteria for choosing an optimal combination have been a maximum barrel pressure value lower than 3100 bar and a maximum muzzle velocity from 400 to 600 m/s. The best results of output parameters have been obtained by the NC18/NC28 powder combination, where the muzzle velocity is 523 m/s and the charge density is 720 kg/m^3 .

Conclusion

The primary objective of this study was two-phase flow modeling in weapons with combined charges. A mathematical model for a two-phase flow was modified and adapted for artillery weapons with combined charges introducing the Opokov model for the gun powder mixture. The simulation results are realistic and very close to tabular values. After the verification of the output results in practice, the model could be modified in order to serve as a good basis for modifying existing and designing new weapons.

Key words: combined charge, two-phase flow, simulation.

Datum prijema članka: 25. 01. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 04. 02. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 06. 02. 2011.

STRUČNI ČLANCI PROFESSIONAL PAPERS

SIMULACIJA UTICAJA DODATNE REDNE INDUKTIVNOSTI NA SERVOPOGON SA DC MOTOROM

Viličić B. *Aleksandar*, Jezdimirović M. *Mirko*,
Ministarstvo odbrane Republike Srbije,
Vojnotehnički institut, Beograd

OBLAST: elektrotehnika (automatika i upravljanje)

Sažetak:

U ovom radu prikazana je simulacija električnog servopogona sa digitalnim regulatorom. Sistem je simuliran u alatu za simulaciju programskog paketa LabView. Simulirane su identifikovane prenosne funkcije realnog sistema (prenosne funkcija motora, davača struje i ugaone brzine), kao i nelinearnosti motora i reduktora.

Key words: digitalni servosistem, digitalni regulator, upravljanje, redna induktivnost, automatsko upravljanje.

Uvod

Upravljanje jednosmernim servomotorima sa četkicama (DC) koji imaju malu unutrašnju induktivnost može biti problem. Naime, posledica njihove male induktivnosti je velika brzina promene rotorske struje, kao odziv na primenjeni napon. U slučaju upravljanja impulsno širinski moduliranim signalom (PWM-Pulse Width Modulation) ne sme se dozvoliti drastična promena struje rotora u toku jedne PWM periode. Dosadašnja primenjena istraživanja su pokazala da ukoliko bi se dozvolio veliki porast vrednosti struje u PWM periodu došlo bi do oscilatornog odziva strujne petlje. Ovaj problem može se rešiti povećavanjem učestanosti PWM signala (smanjenje periode). Kao posledica povećane učestanosti prekidačkog signala javlja se povećana disipacija prekidačkih tranzistora u H mostu. Zato se problem re-

šava dodavanjem induktivnosti na red sa motorom. Posledica dodatne induktivnosti i njene konačne unutrašnje otpornosti je i promena električne vremenske konstante motora.

Tema rada je upotreba novih programskih paketa za analizu simulacionog podešavanja digitalnog regulatora u uslovima različite dodate induktivnosti i uticaj različitih matematičkih simulacionih modela na podešavanje parametara regulatora. U radu je opisan električni servo- sistem sa digitalnim regulatorom za pokretanje modularne turele (obrtna platforma) po azimutu. Dat je matematički model digitalnog servosistema. U programskom paketu LabView, odnosno njegovom setu alatki (toolkit) za simulaciju, izvršena je simulacija konkretnog brzinskog servosistema. S obzirom na to da simulacioni program pruža velike mogućnosti, model motora sa reduktorom simuliran je kao linearni sistem, dok su odabirači i regulatori koji se realizuju programski u mikrokontroleru simulirani kao diskretni elementi servo sistema. Regulatori su podešeni za različite vrednosti redne induktivnosti. Sa ovako podešenim parametrima regulatora snimani su i poređeni odzivi modela simuliranog sistema. Model sistema je simuliran sa zanemarenom električnom vremenskom konstantom i bez zanemarivanja električne vremenske konstante. Izvršeno je snimanje karakteristika servosistema, obrada dobijenih rezultata i poređenje rezultata različitih simuliranih modela za različite vrednosti induktivnosti.

Pregled oznaka

V_t	napon na motoru
T_{em}	momenat motora
R_a	otpornost namotaja rotora
N	prenosni odnos reduktora
K_p	proporcionalni koeficijent pojačanja
K_i	integralni koeficijent pojačanja
e_a	indukovana elektromotorna sila
i_a	struja rotora
T	vreme odabiranja (sample time)
L_a	induktivnost namotaja motora
K_E	električna konstanta motora
ω_m	ugaona brzina motora
B_{em}	koeficijent momenta viskoznog trenja u ležajevima motora
B_{wl}	koeficijent momenta trenja u ležajevima sklopa reduktor-opterećenje

J_{em}	momenat inercije rotora motora
J	ukupni momenat inercije sveden na rotor motora
B	ukupni momenat viskoznoeg trenja sveden na rotor motora
K_T	mehanička konstanta motora
τ_m	mehanička vremenska konstanta
τ_{m1}	električna vremenska konstanta motora
s	operator Laplasove transformacije
z	operator z-transformacije

Opis sistema

Servosistem daljinski upravljane modularne borbene platforme koristi se za pokretanje borbenog i neborbenog dela po azimutu. Baziran je na elektromotornom pogonu sa regulatorom izvedenim na osnovu digitalnog upravljanja realizovanog mikrokontrolerski.

U ovom radu biće prezentovana simulacija pogona borbenog dela obrtne platforme po azimutu. Simulacija servosistema i regulatora u svim režimima rada deo je procesa projektovanja i praktične realizacije servosistema. Zahvaljujući tome nije umanjen generalizovani pristup koji opisuje projektovanje i realizaciju stvaramih servosistema. Simulacija je samo jedan deo čitavog procesa od ideje do realizacije, koji služi za sagledavanje mogućnosti sistema i daje početne vrednosti (radne tačke) za podešavanje parametara sistema u praktičnoj realizaciji. Vrednosti parametara simulacije nisu i krajnje realizovane vrednosti parametara servosistema, jer se u simulaciji uvek radi sa linearizovanim modelom kojem su dodate neke nelinearnosti, a ne sa realnim sistemom.

Kao izvršni organ koristi se jednosmerni servomotor sa permanentnim magnetom u pobudnom kolu. Davač ugaone brzine je inkrementalni enkoder koji podatke daje u digitalnom obliku [1]. Davač ugaone pozicije je apsolutni enkoder. Vrednost struje rotora meri se analognim davačem.

Servosistem modularne obrtne platforme realizovan je kao digitalni servoregulator sa navedenim izvršnim organima i davačima. Upravljanje izvršnim organima realizovano je kroz povratne petlje po struji rotora, brzini rotora elektromotora i ugaonoj poziciji izlaznog vratila. Svaka unutrašnja petlja izvršava se najmanje deset puta brže od nadređene petlje. To znači da se radi o digitalnom sistemu upravljanja sa odabiračima različite brzine [2].

Matematički model servosistema za pokretanje modularne obrtne platforme po azimutu

Karakteristike ugrađenog pogonskog motora Maxon RE75 prikazane su u tabeli 1 [3].

Karakteristike motora Maxon RE75

Tabela 1

Maxon RE75 motor characteristics

Table 1

Karakteristika	Oznaka	Vrednost
Nominalni napon (Nominal voltage)	V_{nom}	24 [V]
Nominalna brzina (Nominal speed)	ω_{nom}	2510 [o/min]
Nominalni momenat (Nominal torque)	T_{nom}	0,63 [Nm]
Nominalna struja (Nominal current)	I_{nom}	8,37 [A]
Otpornost namotaja (Terminal resistance)	R_a	0,181 [Ω]
Induktivnost namotaja (Terminal inductance)	L_a	0,076 [mH]
Konstanta momenta (Torque constant)	K_T	0,0799 [Nm/A]
Konstanta brzine (Speed constant)	$1/K_E$	119 [o/min/V]
Mehanička vremenska konstanta (Mechanical time constant)	T_{mot}	4,25 [ms]
Momenat inercije rotora (Rotor inertia)	J_m	0,00015 [kgm ²]
Struja starta rotora (Starting current)	I_{start}	0,518 [A]

DC motor sa permanentnim magnetom upravljani strujom rotora može se predstaviti jednačinama [1]:

$$V_i(t) = e_a(t) + R_a i_a(t) + \frac{L di_a(t)}{dt} \quad (1)$$

$$e_a(t) = K_E \omega_m(t) \quad (2)$$

$$T_{em}(t) = (B_{em} + B_{WL}) \omega_m(t) + (J_{em} + J_{WL}) \frac{d\omega_m(t)}{dt} = B \omega_m(t) + J \frac{d\omega_m(t)}{dt} \quad (3)$$

$$T_{em}(t) - K_T i_a(t) \quad (4)$$

Koristeći Laplasovu transformaciju, sa pretpostavkom da je električna vremenska konstanta znatno manja od mehaničke vremenske konstante (bar 10 puta), prenosne funkcije DC motora se mogu izraziti u sledećem obliku:

$$\omega_m(s) = \frac{K_T}{B} \frac{1}{1 + \tau_m s} I_a(s) \quad (5)$$

$$I_a(s) = K_2 \frac{1 + \tau_m s}{1 + \tau_{m1} s} V_i(s) \quad (6)$$

Pri čemu je:

$$K_2 = \frac{B}{K_E K_T + R_a B}, \quad (7)$$

$$\tau_m = \frac{J}{B} \quad (8)$$

$$\tau_{m1} = \frac{R_a B}{K_E K_T + R_a B} \tau_m \quad (9)$$

Linearizovane prenosne funkcije objekta upravljanja korišćene pri simulaciji imaju oblik:

$$\frac{I_m}{V_t(s)} = \frac{K_2(1 + \tau_m s)}{(1 + \tau_{m1} s)} = G_1(s) \quad i \quad (10)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{I_m(s)} = \frac{K}{(1 + \tau_m s)} = G_2(s) \quad (11)$$

gde je $K=K_T/B$.

Motor pokreće obrtnu platformu koja ima momenat inercije $J_w=40[\text{kgm}^2]$. Ugrađen je reduktor redukcionog odnosa $N=163$. Izmereni startni momenat sa ugrađenim motorom za pokretanje platforme je $M_{tr}=50[\text{Nm}]$. Kada se platforma kreće (sa ugrađenim motorom) konstantnom brzinom od $15[\text{o/s}]$ izmeren je momenat $20[\text{Nm}]$. S obzirom na to da se platforma kreće konstantnom brzinom član uz izvod brzine u (3) je 0, pa je izmereni momenat posledica ukupnog trenja na strani platforme.

Koristeći podatke iz tabele 1 i podatke o opterećenju i reduktoru moguće je naći parametre koji daju egzaktnu prenosnu funkciju za objekat upravljanja (motor sa opterećenjem).

Iz (1) i (2) za nominalne vrednosti struje i napona kada je izvod struje 0 (struja konstantna) nalazimo

$$K_E = \frac{e_{nom}}{\omega_{nom}} = \frac{24 - RI_{nom}}{262,84} = \frac{24 - 1,515}{262,84} = 85,5 \cdot 10^{-3} [\text{Vs}]$$

Iz (4) za nominalne vrednosti nalazimo

$$K_T = \frac{T_{nom}}{I_{nom}} = \frac{630 \cdot 10^{-3}}{8,37} = 75,26 \cdot 10^{-3} [\text{Nm/A}].$$

Koeficijent trenja motora nalazimo iz

$$B_m = \frac{J_m}{\tau_{mot}} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{4,25} = 35,3 \cdot 10^{-3} [\text{Nms}].$$

Izmereni momenat trenja platforme pri kretanju konstantnom brzinom je ukupni momenat platforme i motora, pa odatle dobijamo koeficijent trenja na strani osovine rotora

$$B = B_m + B_{wL} = \frac{M_{tr}}{\omega} \frac{1}{N} = \frac{15}{0,35} \frac{1}{163} = 263 \cdot 10^{-3} [\text{Nms}].$$

Momenat inercije sveden na osovinu rotora motora je [4]

$$J = J_m + \frac{J_{wl}}{N^2} = 0,15 \cdot 10^{-3} + \frac{40}{163^2} = 1,65 \cdot 10^{-3} [\text{kgm}^2].$$

Sada nalazimo mehaničku vremensku konstantu

$$\tau_m = \frac{J}{B} = \frac{1,65 \cdot 10^{-3}}{263 \cdot 10^{-3}} = 6,3 \cdot 10^{-3} [\text{s}]$$

Prenosna funkcija bez dodate iduktivnosti

Električna vremenska konstanta motora je

$$\tau_{em} = \frac{L}{R} = \frac{76 \cdot 10^{-6}}{181 \cdot 10^{-3}} = 0,42 \cdot 10^{-3} [\text{s}] \quad (12)$$

što zadovoljava uslov da je bar 10 puta manja od mehaničke vremenske konstante.

Smenom ovako dobijenih vrednosti u (7) i (9) dobijamo

$$\tau_{m1} = 5,55 \cdot 10^{-3} [\text{s}] \text{ i } K_2 = 4,86 [1/\Omega]. \quad (13)$$

Smenom dobijenih vrednosti koeficijenata u (10) i (11) dobijamo prenosne funkcije motora

$$\frac{I_m(s)}{V_m(s)} = \frac{5,52 \cdot (158,7 + s)}{180 + s} \quad (14)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{I_m(s)} = \frac{45,4}{158,7 + s} \quad (15)$$

Za slučaj da se ne zanemaruje električna vremenska konstanta u odnosu na mehaničku vremensku konstantu iz (1) do (4) dobijamo prenosnu funkciju:

$$\frac{I_m[s]}{V_m[s]} = \frac{(B/J+s)/L}{\frac{K_e K_t + BR}{JL} + \frac{JR+LB}{JL}s+s^2} = \frac{(158,7+s) \cdot 13158}{827537 + 2543s + s^2} =$$

$$= \frac{(158,7+s) \cdot 13158}{(s+383)(s+2159)} \quad (16)$$

Na ovaj način dobijena je prenosna funkcija sa dva realna pola čija je udaljenost manja od 6 puta, pa se po pravilu veći pol ne bi trebao zanemarivati u analizi sistema i sintezi regulatora.

Prenosna funkcija sa dodatom induktivnošću 150 μ H

Na red sa rotorskim namotajem povezana je dodatna induktivnost od 150 μ H, unutrašnje otpornosti namotaja 60 m Ω , tako da je nova električna

$$\text{vremenska konstanta: } \tau_{em} = \frac{L}{R} = \frac{225 \cdot 10^{-6}}{240 \cdot 10^{-3}} = 0,937 \cdot 10^{-3} [s] \quad (17)$$

Smenom ovako dobijenih vrednosti u (7) i (9) dobijamo:

$$\tau_{m1} = 5,67 \cdot 10^{-3} [s] \text{ i } K_2 = 3,78 [1/\Omega]. \quad (18)$$

Smenom dobijenih vrednosti koeficijenata u (10) i (11) dobijamo prenosne funkcije motora:

$$\frac{I_m(s)}{V_m(s)} = \frac{4,2 \cdot (158,7+s)}{176,3+s} \quad (19)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{I_m(s)} = \frac{45,4}{158,7+s} \quad (20)$$

S obzirom na to da se dodavanjem redne induktivnosti menja električna vremenska konstanta i postaje bliža mehaničkoj (nije bar 10 puta manja), potrebno je analizirati ovaj uticaj i opravdanost zanemarivanja u (10). U slučaju da se ne zanemaruje električna vremenska konstanta u odnosu na mehaničku vremensku konstantu iz (1) do (4) dobijamo prenosnu funkciju:

$$\frac{I_m[s]}{V_m[s]} = \frac{(B/J+s)/L}{\frac{K_e K_t + BR}{JL} + \frac{JR+LB}{JL}s+s^2} = \frac{(158,7+s) \cdot 4444}{187353 + 1226s + s^2} =$$

$$= \frac{(s+158,7) \cdot 4444}{(s+179)(s+1047)} \quad (21)$$

sa dva realna pola čija je udaljenost manja od 6 puta, pa se, po pravilu, veći pol ne bi trebao zanemarivati u analizi sistema i sintezi regulatora.

Prenosna funkcija sa dodatom induktivnošću 500 μH

Na red sa rotorskim namotajem povezana je dodatna induktivnost od 500 μH , unutrašnje otpornosti namotaja 80 $\text{m}\Omega$, tako da je nova električna

$$\text{vremenska konstanta: } \tau_{em} = \frac{L}{R} = \frac{576 \cdot 10^{-6}}{260 \cdot 10^{-3}} = 2,21 \cdot 10^{-3} [\text{s}] \quad (22)$$

Smenom ovako dobijenih vrednosti u (7) i (9) dobijamo:

$$\tau_{m1} = 5,75 \cdot 10^{-3} [\text{s}] \text{ i } K_2 = 3,5 [1/\Omega]. \quad (23)$$

Smenom dobijenih vrednosti koeficijenata u (10) i (11) dobijamo prenosne funkcije motora:

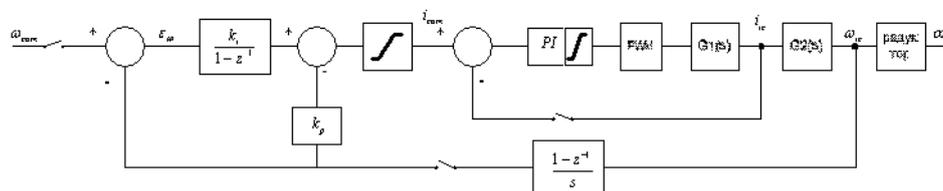
$$\frac{I_m(s)}{V_m(s)} = \frac{3,83 \cdot (158,7 + s)}{173,6 + s} \quad (24)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{I_m(s)} = \frac{45,4}{158,7 + s} \quad (25)$$

S obzirom na to da se dodavanjem redne induktivnosti menja električna vremenska konstanta i postaje bliža mehaničkoj (nije bar 10 puta manja) potrebno je analizirati ovaj uticaj i opravdanost zanemarivanja u (10). U slučaju da se ne zanemaruje električna vremenska konstanta u odnosu na mehaničku vremensku konstantu iz (1) do (4) dobijamo prenosnu funkciju:

$$\begin{aligned} \frac{I_m[s]}{V_m[s]} &= \frac{(B/J + s)/L}{\frac{K_e K_t + BR}{JL} + \frac{JR + LB}{JL} s + s^2} = \frac{(158,7 + s) \cdot 1736}{78855 + 611,5s + s^2} = \\ &= \frac{(s + 158,7) \cdot 1736}{(s + 184,7)(s + 426,7)} \end{aligned} \quad (26)$$

U ovom slučaju prenosna funkcija ima par realnih korena koji su udaljeni samo 2,5 puta, pa se nijedan ne bi smeo zanemariti pri analizi sistema i sintezi regulatora [1].



Slika 2 – Strukturna blok-šema električnog servosistema sa digitalnim regulatorom sa izmeštenim proporcionalnim dejstvom za brzinsko upravljanje modularnom turelom
Figure 2 – Block schematics of the digital speed regulation electrical servo drive with displaced proportional coefficient for modular turret drive

Blok-dijagrami digitalnog servosistema za pokretanje modularne daljinski upravljane turele uneti su u simulacioni alat (toolkit) programskog paketa LabView. U ovako oformljeni simulacioni paket uneti su parametri simuliranog servosistema.

Rezultati simulacije

Simulirano je podešavanje parametara strujne petlje, a zatim brzinske petlje sa dve vrste regulatora. Sve simulacije su urađene za prenosne funkcije (10) i (16). Svaka simulacija i podešavanje parametara izvršeno je za sva tri slučaja induktivnosti (bez, 150 [μH] i 500 [μH]).

Podešavanje parametara regulatora strujne petlje obavljeno je na način da se zadovolje sledeći zahtevi:

- odziv strujne petlje treba da ima aperiodičan oblik ili preskok do 10%,
- u najviše 10 perioda odabiranja odziv strujne petlje treba da dostigne stacionarno stanje ili da greška padne na 10%,
- greška stacionarnog stanja strujne petlje treba da bude manja od 10%.

Referentne vrednosti (setpoint) za brzinsku petlju, kao i odzivi, dati su na izlaznom vratilu (izlaz reduktora).

U zavisnosti od zahtevanog režima rada servosistema mogu se definisati i drugi zahtevi za odziv brzinske petlje. Tako je nekada potrebno da odziv bude što je moguće brži, pa i po cenu da preskok bude i 20%. U nekim slučajevima je potrebno da odziv bude aperiodičan sa malom greškom (manjom od 1%) stacionarnog stanja.

Simulacija sistema bez dodate iduktivnosti

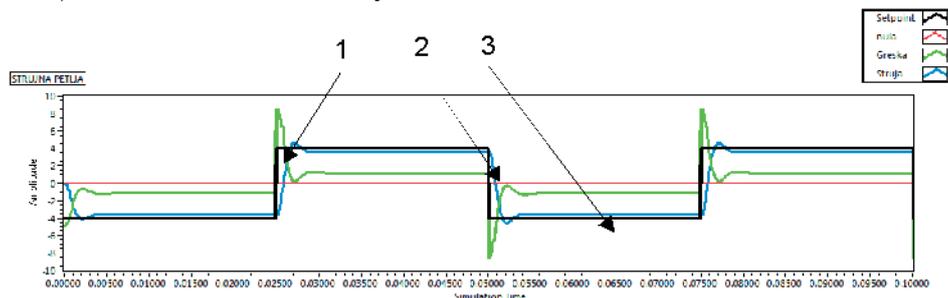
Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara strujnog regulatora

$$H(z) = \frac{0,04(z+0,05)}{z-0,97}$$

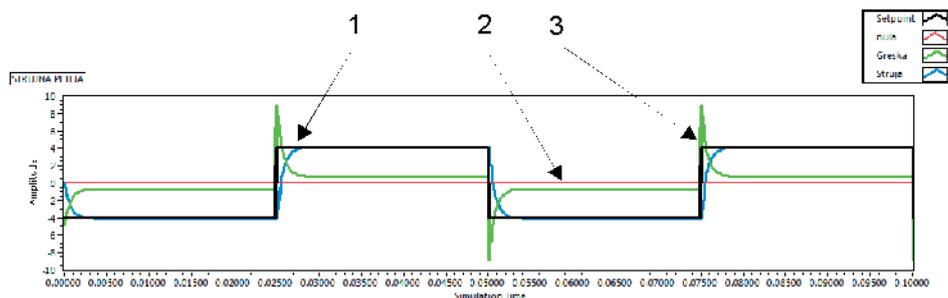
pri periodu odabiranja 0,0002 [s]. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva strujne petlje na pobudu tipa od-

skočna pobuda, respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda 4[A], učestanost 20[Hz] i fazni pomeraj 0 [°].

Na graficima (slika 3 i 4, kao i 8, 9, 13 i 14) prikazan je odziv strujne petlje. Crnim grafikom prikazana je vrednost reference (setpointa) struje (oznaka 1), zelenim – strujna greška (oznaka 2), a plavim – odziv (oznaka 3), odnosno vrednost struje.



Slika 3 – Odziv modela (16) na odskočnu pobudu
Figure 3 – Model (16) Step response

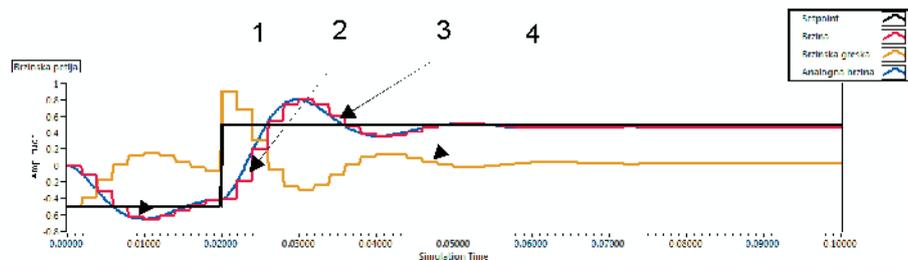


Slika 4 – Odziv modela (10) na odskočnu pobudu
Figure 4 – Model (10) Step response

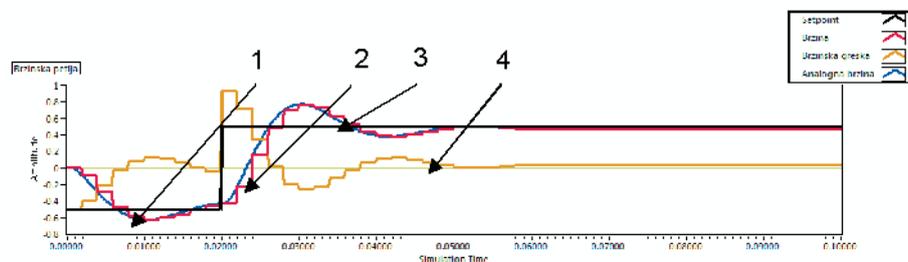
Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara brzinskog regulatora, strukture kao na slici 1, $H_a(z) = \frac{6(z-0,3)}{z-0,95}$ pri periodu odabiranja brzinske petlje 0,002[s]. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva brzinske petlje na pobudu tipa odskočna pobuda, respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda 0,5[rad], učestanost 5[Hz] i fazni pomeraj 162[°].

Na graficima (slike 5, 6 i 7, kao i 10, 11 i 12, odnosno 15, 16, 17, 18, 19 i 20) prikazan je odziv brzinske petlje. Crnim grafikom prikazana je vrednost reference (setpointa) struje (oznaka 1), crvenim – vrednost brzine (oznaka 2) koju čita digitalni regulator, žutim – greška brzine u digital-

nom regulatoru (oznaka 3), a plavim – odziv, odnosno vrednost ugaone brzine platforme (oznaka 4).



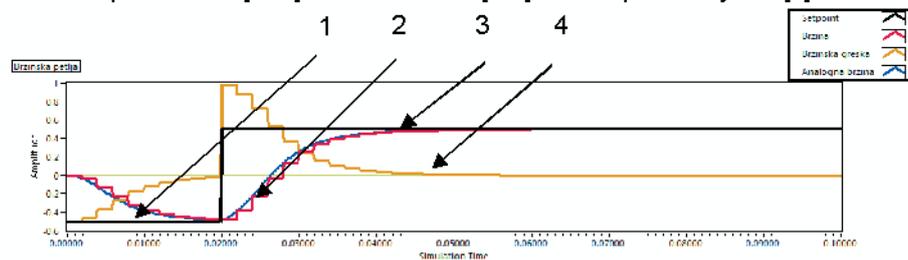
Slika 5 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu
Figure 5 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 1



Slika 6 – Odziv brzinske petlje modela (10) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu
Figure 6 – Model (10) speed loop step response with equalizer as in Figure 1

Sa slika 5 i 6 vidi se da nema razlike u obliku odziva petlje po ugaonoj brzini bez obzira na primenjeni model u simulaciji.

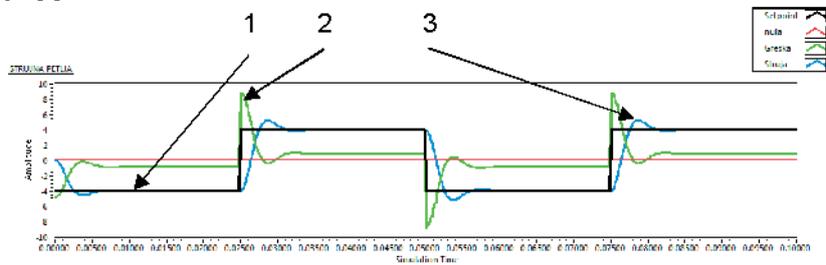
Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara brzinskog regulatora, strukture kao na slici 2, sa parametrima $K_i=2,5$ i $K_p=6$ pri periodu odabiranja brzinske petlje $0,002[s]$. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva brzinske petlje na pobudu tipa odskočna pobuda (slika 7), respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda $0,5[rad]$, učestanost $5[Hz]$ i fazni pomeraj $162[^\circ]$.



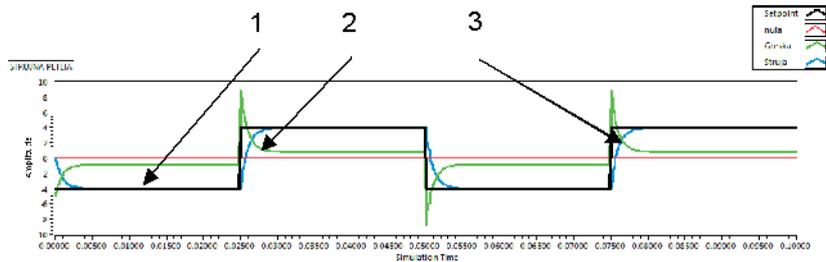
Slika 7 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 2 na odskočnu pobudu
Figure 7 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 2

Simulacija sistema sa dodatnom rednom iduktivnosti od $150\mu\text{H}$

Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara strujnog regulatora $H(z) = \frac{0,04(z+0,05)}{z-0,97}$ pri periodu odabiranja $0,0002[\text{s}]$. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva strujne petlje na pobudu tipa odskočna pobuda (slike 8 i 9), respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda $4[\text{A}]$, učestanost $20[\text{Hz}]$ i fazni pomeraj $0[^\circ]$.



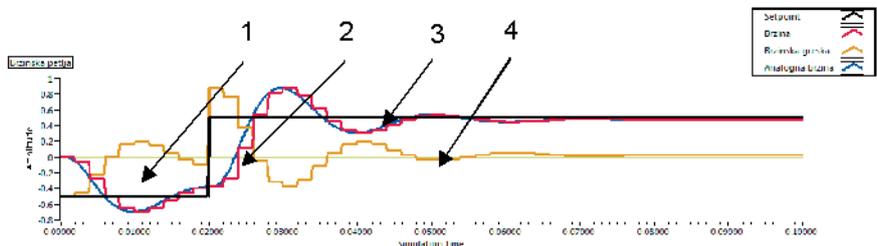
Slika 8 – Odziv modela (16) na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $150\mu\text{H}$)
Figure 8 – Model (16) step response (added inductance $150\mu\text{H}$)



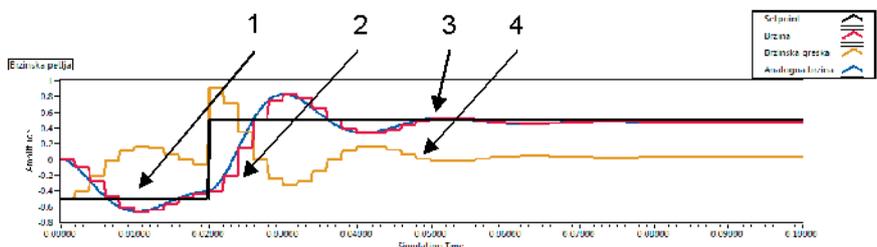
Slika 9 – Odziv modela (10) na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $150\mu\text{H}$)
Figure 9 – Model (10) step response (added inductance $150\mu\text{H}$)

Ovako podešena strujna petlja uneta je u model brzinske petlje regulatora oblika kao na slici 1.

Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara brzinskog regulatora, strukture kao na slici 1, $H_a(z) = \frac{6(z-0,3)}{z-0,95}$ pri periodu odabiranja brzinske petlje $0,002[\text{s}]$. Ovako podešen regulator je upotrebljen za snimanje odziva brzinske petlje na pobudu tipa odskočna pobuda (slika 10 i 11), respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda $0,5[\text{red}]$, učestanost $5[\text{Hz}]$ i fazni pomeraj $162[^\circ]$.



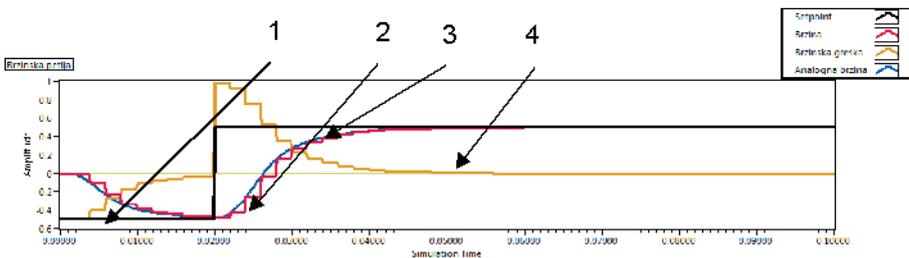
Slika 10 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost 150 μ H)
Figure 10 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance 150 μ H)



Slika 11 – Odziv brzinske petlje modela (10) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost 150 μ H)
Figure 11 – Model (10) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance 150 μ H)

Sa slika 10 i 11 vidi se da nema razlike u obliku odziva petlje po ugaoj brzini, bez obzira na primenjeni model u simulaciji.

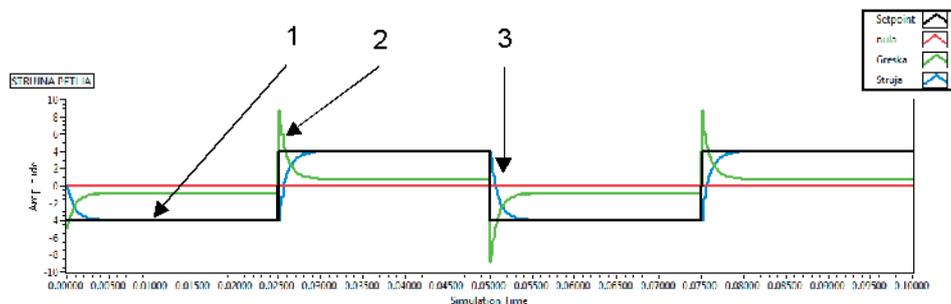
Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara brzinskog regulatora, strukture kao na slici 2, sa parametrima $K_i=2,5$ i $K_p=6$ pri periodu odabiranja brzinske petlje 0,002 [s]. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva brzinske petlje na pobudu tipa odskočna pobuda (slika 12), respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda 0,5 [rad], učestanost 5[Hz] i fazni pomeraj 162 [°].



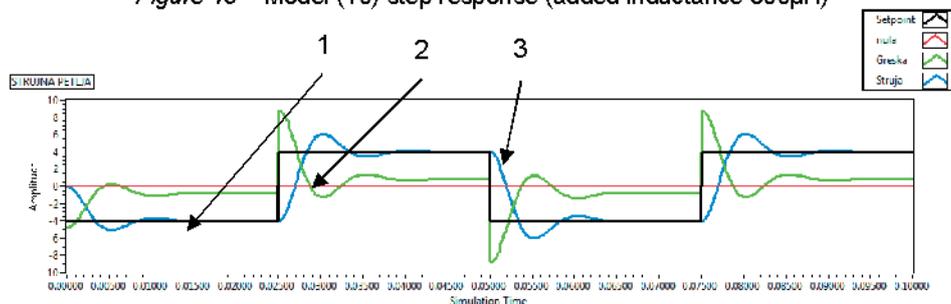
Slika 12 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 2 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost 150 μ H)
Figure 12 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 2 (added inductance 150 μ H)

Simulacija sistema sa dodatnom rednom induktivnosti od $500\mu\text{H}$

Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara strujnog regulatora $H(z) = \frac{0,05(z+0,15)}{z-0,95}$ pri periodu odabiranja $0,0002[\text{s}]$. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva strujne petlje na pobudu tipa odskočna pobuda (slike 13 i 14), respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda $4[\text{A}]$, učestanost $20[\text{Hz}]$ i fazni pomeraj $0[^\circ]$.



Slika 13 – Odziv modela (10) na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $500\mu\text{H}$)
Figure 13 – Model (10) step response (added inductance $500\mu\text{H}$)

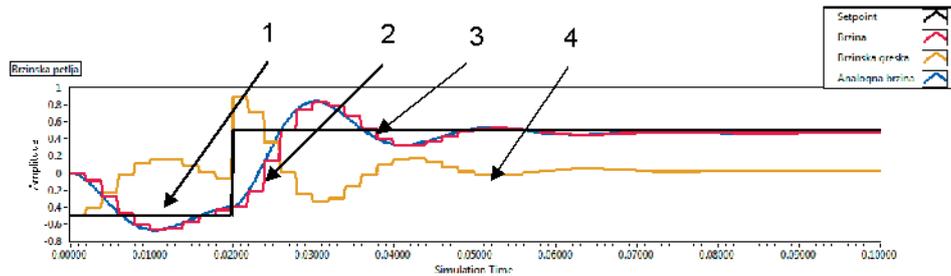


Slika 14 – Odziv modela (16) na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $500\mu\text{H}$)
Figure 14 – Model (16) step response (added inductance $500\mu\text{H}$)

Ovako podešena strujna petlja uneta je u model brzinske petlje regulatora oblika kao na slici 1.

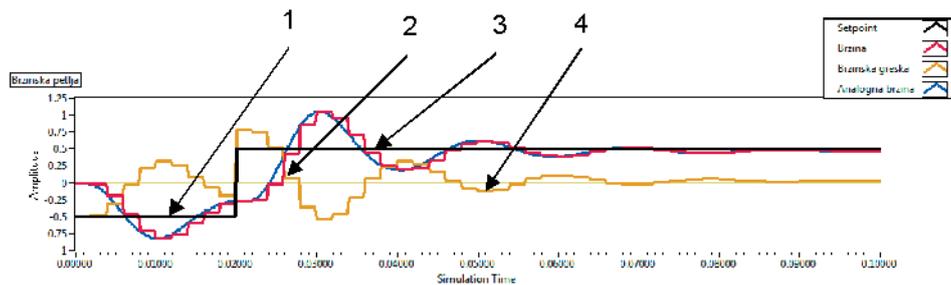
Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara brzinskog regulatora (slike 15 i 16), strukture kao na slici 1, $H_a(z) = \frac{6(z-0,3)}{z-0,95}$ pri periodu odabiranja brzinske petlje $0,002[\text{s}]$. Ovako podešen regulator upotrebljen

je za snimanje odziva brzinske petlje na pobudu tipa odskočna pobuda, respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda 0,5[rad], učestanost 5[Hz] i fazni pomeraj 162[°].



Slika 15 – Odziv brzinske petlje modela (10) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost 500μH)

Figure Figure 15 – Model (10) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance 500μH)

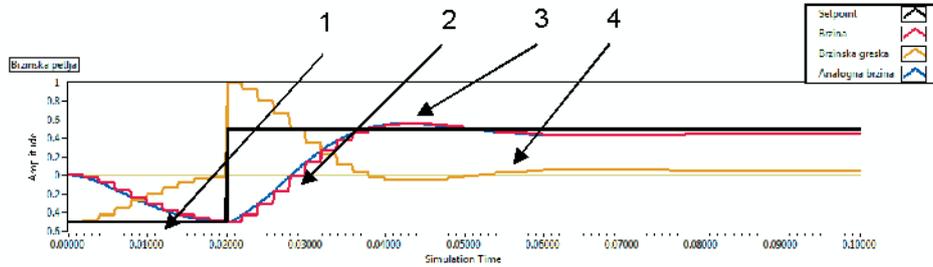


Slika 16 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost 500μH)

Figure 16 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance 500μH)

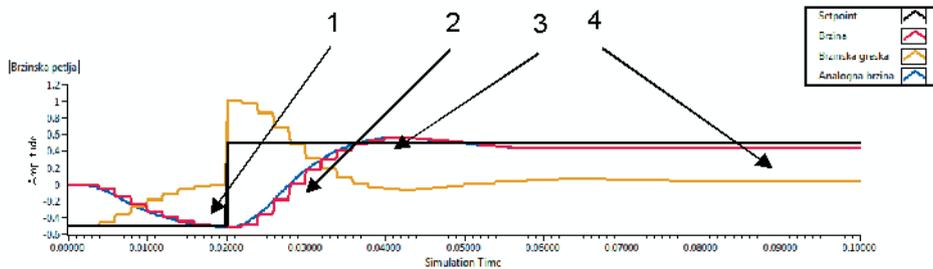
Na slikama 15 i 16 vidi se da postoji razlika u obliku odziva u zavisnosti od simulacionog modela. To govori da se ne sme zanemariti uticaj električne vremenske konstante pri simulaciji ili projektovanju.

Sa izmenjenim parametrima regulatora $H_w(z) = \frac{1,8(z-0,4)}{z-0,97}$ dobijaju se odzivi kao na slikama 17 i 18.



Slika 17 – Odziv brzinske petlje modela (10) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $500\mu\text{H}$)

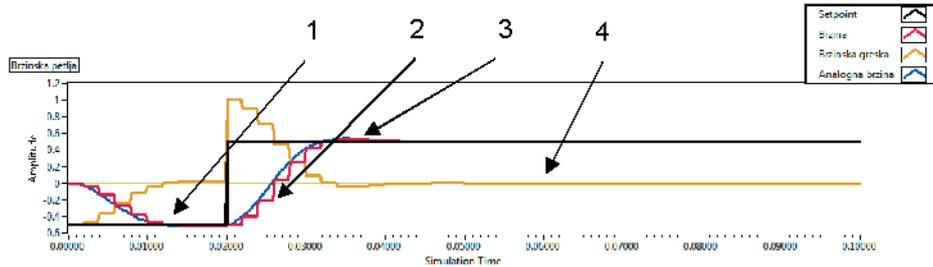
Figure 17 – Model (10) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance $500\mu\text{H}$)



Slika 18 – Odziv brzinske petlje modela (10) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $500\mu\text{H}$)

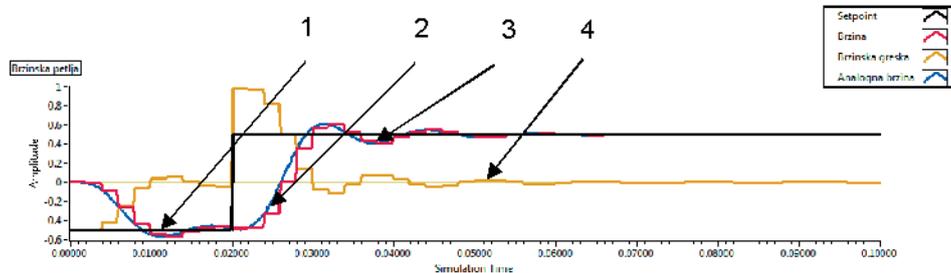
Figure 18 – Model (10) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance $500\mu\text{H}$)

Simulacijom je izvršeno podešavanje parametara brzinskog regulatora, strukture kao na slici 2, sa parametrima $K_i=3$ i $K_p=5$ pri periodu odabiranja brzinske petlje $0,002[\text{s}]$. Ovako podešen regulator upotrebljen je za snimanje odziva brzinske petlje na pobudu tipa odskočna pobuda (slike 19 i 20), respektivno za model iz (16) i skraćeni model iz (10). Karakteristike pobuda su: amplituda $0,5[\text{rad}]$, učestanost $5[\text{Hz}]$ i fazni pomeraj 162° .



Slika 19 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 2 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $500\mu\text{H}$)

Figure 19 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 2 (added inductance $500\mu\text{H}$)



Slika 20 – Odziv brzinske petlje modela (16) i brzinskog regulatora sa slike 1 na odskočnu pobudu (dodatna induktivnost $500\mu\text{H}$)
 Figure 20 – Model (16) speed loop step response with equalizer as in Figure 1 (added inductance $500\mu\text{H}$)

I u ovom slučaju vidimo da se ne može zanemariti električna vremenska konstanta, jer utiče na oblik odziva simuliranog modela.

Zaključak

U radu je prikazana simulacija realnog električnog servopogona sa digitalnim regulatorom koji je primenjen za pokretanje borbenog modula modulare obrtne platforme DALOS. Sistem je simuliran u alatu za simulaciju programskog paketa LabView. Simulirane su identifikovane prenosne funkcije realnog sistema (prenosne funkcija motora, davača struje i ugaone brzine), kao i nelinearnosti motora i reduktora. U radu su korišćene klasične metode matematičkog modeliranja servosistema, primenjena je metoda za određivanje parametara prenosne funkcije servosistema i analiziran uticaj zanemarivanja električne vremenske konstante.

S obzirom na to da je ugrađen motor sa malom induktivnošću u praksi se na red dodaje induktivnost radi ograničenja brzine rasta struje rotora DC motora na primenjeni napon. Simuliran je sistem bez dodatne induktivnosti, kao i sa dve vrednosti induktivnosti ($150\mu\text{H}$ i $500\mu\text{H}$). Analiziran je uticaj promene induktivnosti, kao i opravdanost zanemarivanja električne vremenske konstante na odziv sistema odnosno podešavanje parametara regulatora.

Simulacija je urađena prvo za petlju po struji rotora, a sa tako podešenim strujnim regulatorom urađena je i simulacija petlje po ugaonoj brzini obrtne platforme. Podešen je regulator brzinske petlje i analiziran uticaj dodatne induktivnosti, kao i zanemarivanje električne vremenske konstante u modelu servopogona.

Na osnovu rezultata simulacije može se zaključiti da je za projektovanje i podešavanje parametara digitalnog regulatora bolje koristiti model motora gde se ne zanemaruje električna vremenska konstanta, a pogotovo kada se dodaje redna induktivnost čija vrednost premašuje vrednost induktivnosti sa-

mog motora. Takođe, bolje je koristiti brzinski regulator sa izmeštenim proporcionalnim dejstvom, pogotovo kada se koristi brzinski servosistem.

Na osnovu rezultata simulacije i ovako podešenih parametara regulatora moguće je pristupiti podešavanju realnog sistema, koristeći rezultate simulacije kao početne vrednosti za parametre realnog regulatora.

Ovakav put rada može se primeniti za proučavanje i eksperimentisanje, kao i poboljšanje sistema koji se ispituje. Takođe, ovakva simulacija se može primeniti pri radu na sličnim sistemima, jer štedi vreme i trud pri podešavanju parametara regulatora realnog sistema. Simulacijom se smanjuje mogućnost grešaka ili eventualnih akcidenata usled pogrešno proračunatih početnih vrednosti parametara za slučaj da se radi direktno na realnom sistemu.

Literatura

- [1] Stojić, M., *Kontinualni sistemi automatskog upravljanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [2] Stojić, M., *Digitalni sistemi upravljanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [3] Maxon motor program, 2009, www.maxonmotor.com
- [4] Jezdimirović, M., Dodić, N., „Određivanje momenta inercije obrtne platforme borbenog sredstva”, *Naučno-tehnički pregled*, No. 10, Beograd, 1991.
- [5] Viličić, A., Jezdimirović, M., „Digitalni servo sistem za upravljanje infracrvenim lokatorom”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 57, No. 2, pp 5-15, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2009.

SIMULATION OF ADDED INDUCTIVE COIL INFLUENCE ONTO THE DIGITAL SERVO SYSTEM WITH DC MOTOR

FIELD: Electrical Engineering and Electronics (Automation and Control)

Summary:

This paper describes a simulation of a real electrical servo drive with a digital equalizer. The whole system is simulated in the simulation toolkit of the LabView package. Real transfer functions are simulated (the transfer functions of the motor and the current and angular velocity gauges), as well as the nonlinearities of the motor and the gears. Classical mathematical methods for modeling servosystems are used. The method for determining transfer function parameters is also used. The influence of neglecting the electrical time constant is analysed.

System description

A real electrical servo drive with the digital regulation for turret drive in traverse is simulated. Different values of added inductance are simulated and the equalizer parameters are matched so that the system has an acceptable response.

Mathematical model of a servo system for modular turret drive in traverse

The characteristics of the used motor are given. All equations for the DC motor are also given as well as the transfer function. Based on the calculations and measurements, the exact parameters of the transfer functions are found. For each value of added inductance, the parameters of the transfer functions are found.

Simulation results

The simulation toolkit from the LabView software package has been used for the system simulation and the equalizer parameters for current and velocity feedback have been found. The parameters have been chosen so that the response of the simulated servo system has the required characteristics.

The results of this simulation are given graphically, through a series of graphs, taken from the simulation program, presenting the characteristic responses for such excitations.

Conclusions

A real electrical servo drive with a digital equalizer has been analyzed. The whole system (with all nonlinearities) is simulated in the simulation toolkit of the LabView package. Classical mathematical methods for modeling servosystems are used.

The simulation has been done first for the inner (current) loop, and the equalizer parameters have been found. After tuning the inner loop, the outer loop is then simulated and its equalizer parameters tuned. The influence of different values of the added inductance onto the tuning equalizer parameters are analyzed.

A real design of such servo systems may be performed on the basis of the simulation results and thus tuned equalizer parameters. The given parameters for equalizers may be used as a starting point in tuning real system parameters. This can save money and time in realisations in practice.

Key words: digital servo-system, digital regulator, control, inductive coil, automatic control.

Datum prijema članka: 23. 08. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 11. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 11. 2010.

ANALIZA MODELA ODRŽAVANJA VAZDUHOPLOVA

Sokolović S. *Vlada*, Univerzitet odbrane,
Vojna akademija, Katedra logistike, Beograd,
Pavlović R. *Slaviša*, Vojska Srbije, 204. ab Batajnica, Beograd,
Janković D. *Darko*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,
kadetska brigada, Beograd

OBLAST: mašinstvo (organizacija, ekonomika i menadžment u mašinstvu)

Sažetak:

U ovom radu obrađeno je nekoliko organizacijskih modela održavanja vazduhoplova. Svi prikazani modeli do sada su bili u primeni u vazduhoplovstvu, tako da su prednosti i nedostaci pojedinih modela poznati.

Najpre je prikazan trenutni model održavanja vazduhoplova sa njegovim osnovnim karakteristikama, a zatim još dva organizacijska modela održavanja vazduhoplova i njihove prednosti i nedostaci. Prednosti i nedostaci pojedinih modela analizirani su na osnovu kriterijuma operativnih sposobnosti jedinica u vojsci. Pored operativnih sposobnosti prikazani su još neki kriterijumi koje treba uzeti u obzir prilikom ocenjivanja i izbora optimalnog modela održavanja vazduhoplova.

Izvršena kvalitativna analiza pojedinih modela ne može biti dovoljna za ocenu izbora optimalnog modela održavanja, jer se odnosi na izabrani skup kriterijuma iz delokruga operativnih sposobnosti. Da bi se izabrao optimalni model neophodno je da se sprovede detaljna ekonomska i taktičko-tehnička analiza pojedinih modela održavanja.

Za kvalitetnu reorganizaciju održavanja vazduhoplova neophodno je uključivanje najvišeg državnog i vojnog rukovodstva. Neophodno je odrediti jasne ciljeve po svim elementima savremenih programa vazduhoplovnotehničke podrške, na osnovu iznetih kriterijuma ocenjivanja.

Key words: održavanje vazduhoplova, organizacija održavanja, kriterijum ocenjivanja.

Uvod

Kako su najrazvijenije svetske države nosioci razvoja savremenih vazduhoplova one su ujedno i nosioci razvoja novih načina, postupaka i modela organizovanja jedinica za vazduhoplovnotehničko održavanje (VTOd).

Održavanje vazduhoplova u svetu organizovano je prema konceptijskim opredeljenjima, tehničko-tehnološkom nivou i materijalnim mogućnostima na više različitih načina. Najčešće se propisuju do tri nivoa, odnosno stepena održavanja, mada nisu retki slučajevi kada se propisuje četiri ili pet nivoa održavanja. [1]

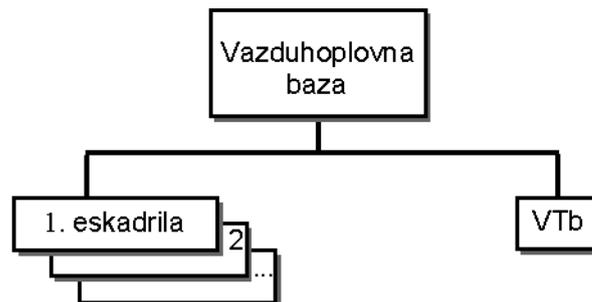
Pored propisanih nivoa održavanja bitne razlike postoje i u usvojenim modelima održavanja, tj. da li se jedinice za VTod nalaze u sastavu letaćkih jedinica (eskadrila, puk) ili u sastavu vazduhoplovnih baza (vb).

Postojeći model održavanja vazduhoplova

Sistem održavanja vazduhoplova u vojsci organizovan je u četiri stepena održavanja, pri čemu se I, II i III stepen održavanja obavlja u jedinicama za vazduhoplovnotehničko održavanje, a IV stepen održavanja obavljaju vazduhoplovni remontni zavodi. Ovakav sistem funkcioniše u svetu preko 50 godina. Koncept četvorostepenog održavanja organizovan je na sledeći način [1]:

- I stepen održavanja – opsluživanje i pregledi vazduhoplova pre, u toku i nakon upotrebe, otklanjanje manjih kvarova;
- II stepen održavanja – povremeni pregledi, sitne opravke i podešavanja, zamena sklopova i agregata;
- III stepen održavanja – složenija ispitivanja i podešavanja pojedinih delova i agregata, izrada manje složenih rezervnih delova, izvršenje većih promena (modifikacija) na vazduhoplovu;
- IV stepen održavanja – vršenje generalnog remonta vazduhoplova. Realizuje se u vazduhoplovnim zavodima i kod proizvođača aparata.

Organizacija održavanja vazduhoplova u Vojsci Srbije prikazana je na slici 1. U daljem radu označena je kao model 1.



Slika 1 – Organizacija održavanja vazduhoplova u vazduhoplovnoj bazi

Figure 1 – Aircraft Maintenance Organization in the Air Force Base

Prikazana organizacija održavanja proistekla je iz organizacije održavanja vazduhoplova u RV i PVO Vojske Srbije i Crne Gore. Suženi prostor, smanjeni raspoloživi kapaciteti vb, remontnih zavoda, proizvodnih organizacija i ljudstva koje je radilo na poslovima VTOD predstavljaju okolnosti pod kojima je trebalo izvršiti reorganizaciju postojeće strukture, organizacije i politike održavanja vazduhoplova. Težište transformacije u održavanju stavljen je na smanjenje troškova održavanja i sažimanje broja nivoa održavanja, kao i na korišćenje savremenog koncepta održavanja prema stanju. [1]

Međutim, savremena tehnologija sve više usložava sisteme vazduhoplova, čime su povećani i troškovi aparata u celokupnom životnom ciklusu. Zbog sve manjeg vojnog budžeta, veka upotrebe aparata i potreba vojske, došlo se na ideju smanjivanja broja operativnih sastava i centralizovanog organizovanja jedinica za održavanje. U takvom sistemu prva tri stepena održavanja realizovana su na jednom mestu u organizacijskoj celini nezavisnoj od letaćkih jedinica, u okviru vb. Na taj način smanjeni su troškovi kadra, infrastrukture i dijagnostičke opreme. Međutim, problemi koji proizilaze iz takve organizacijsko-formacijske strukture, uz uvažavanje postojećeg koncepta održavanja, jesu:

- s obzirom na to da su remontni kapaciteti centralizovani na jednom mestu i da ne postoji dubina logističke (tehničke) podrške, postoji verovatnoća relativno lakog uništenja remontnih kapaciteta od strane protivnika u eventualnom ratu;
- u toku izvršenja radova u radionicama vb dolazi do zagušenja zbog angažovanja kapaciteta na širokom spektru zadataka, što znači da je postojeći sistem podešen i da nije dimenzioniran u skladu sa tehnologijom i zahtevima za vršno opterećenje;
- zavisnost operativnih sastava po pitanjima opsluživanja od jedinica vazduhoplovnotehničke podrške u toku izvršavanja redovnih zadataka;
- ne postoji direktna komunikacija između komandi letaćkih i vazduhoplovnotehničkih jedinica, tako da se svi letaćki zadaci realizuju posredstvom vb.

Na taj način u jedinici tehničke podrške stvoreno je usko grlo u sistemu realizacije zadataka letaćkih jedinica. Slična praktična iskustva postoje i u stranim armijama, kao što su SAD i Francuska [2].

Organizacijski modeli jedinica za održavanje

Reprojektovanje organizacije je proces dogradnje stare ili izgradnje nove organizacione strukture, promene organizacionih postupaka i načina primene organizacionih sredstava. Cilj reprojektovanja je uspostaviti optimalnu organizaciju kao rezultat ili stanje izraženo organizacionim mo-

delom, pri čemu stanje nikada ne treba shvatiti statički već dinamički, kao funkcionalni sistem i kao proces razvoja u vremenu. [4]

Da bi reprojekovanje ispunilo svoju namenu, izrada projekta bilo koje organizacije treba da sadrži:

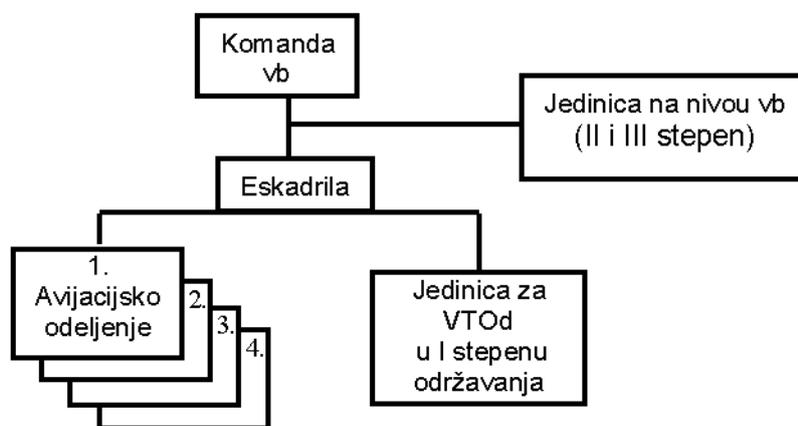
- ciljeve koje treba ispuniti uspostavljanjem i funkcionisanjem organizacije,
- zadatke i rokove koje organizacija treba da reši kako bi se ispunili postavljeni ciljevi,
- određivanje metoda i tehnika rada za rešavanje zadataka,
- spisak radnih uslova i opreme koja je potrebna da bi se određenom tehnikom mogli rešavati zadaci,
- spisak radne snage sa jasno definisanim kvalifikacijama,
- podelu posla prikazanu organizacionom šemom,
- predračun potrebnih osnovnih sredstava,
- predračun potrebnih obrtnih sredstava,
- način kontrole kvaliteta rada i rezultata.

Pokretanje postupka reprojekovanja organizacije je ključna faza u kojoj se donosi odluka o potrebi za izradom nove organizacije. U toj fazi najpre je potrebno definisati ciljeve koji se žele postići novom organizacijom. Osnovni ciljevi svakog savremenog programa vazduhoplovnotehničke podrške treba da budu[3]:

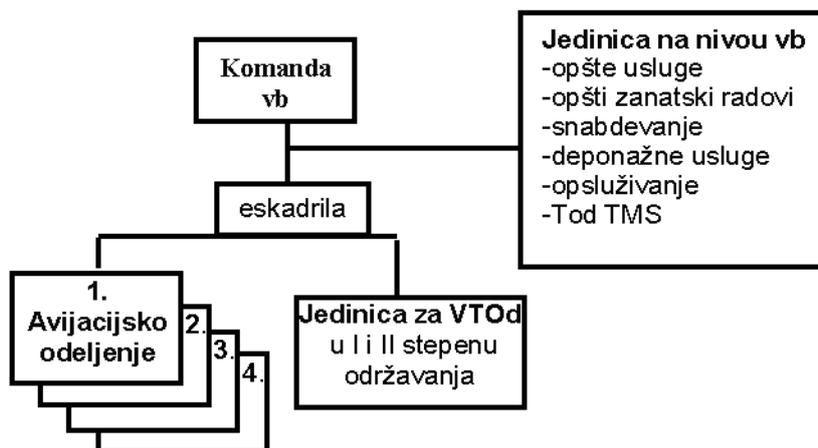
1. Veća borbena gotovost i borbena efikasnost.
2. Veća žilavost sistema podrške sa zemlje.
3. Veća fleksibilnost i mobilnost jedinica i sastava.
4. Lakši rad na tehničkom održavanju i manji zahtevi u pogledu broja i kvalifikacija zaposlenih na održavanju.
5. Smanjenje troškova životnog ciklusa vazduhoplovne tehnike.

Radi reorganizacije održavanja vazduhoplova razvijeno je mnogo modela. Razlike u pojedinim modelima ogledaju se u smislu da li se jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje nalaze u sastavu eskadrila ili van njih u okviru posebnih jedinica na nivou vb. Ako se jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje nalaze u sastavu eskadrila različit je i koncept održavanja u pogledu broja stepena održavanja. Pored već prikazanog modela, u svetu su najzastupljenija još dva organizacijska modela održavanja vojnih vazduhoplova (slike 2 i 3).

Prema modelu 2 (slika 2), jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje u I stepenu održavanja nalaze se u okviru eskadrila, jedinice za II i III stepen održavanja objedinjene su u okviru posebne vazduhoplovnotehničke jedinice u vb, a najviši IV stepen održavanja vrše remontni zavodi. Prema modelu 3 (slika 3), jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje u I i II stepenu održavanja nalaze se u okviru eskadrila, a održavanje u III stepenu vrše vazduhoplovni remontni zavodi.



Slika 2 – Organizacija održavanja vazduhoplova, model 2
 Figure 2 – Aircraft Maintenance Organization, 2nd model



Slika 3 – Organizacija održavanja vazduhoplova, model 3
 Figure 3 – Aircraft Maintenance Organization, 3rd model

Problem izbora modela predstavlja rešenje višekriterijumskog problema čiji su glavni aspekti ekonomski, operativni i logistički (tehničko-tehnološki). Navedeni aspekti mogu se prikazati sa više kriterijuma različitog uticaja na cilj koji se želi postići. Pri određivanju njihovih težina i uticaja potrebno je angažovanje eksperata čiji se subjektivizam u ocenjivanju mora svesti na najmanju moguću meru primenom savremenih alata (tehnika, softvera, metoda) [5]. Neki od kriterijuma koje treba uzeti u procesu ocenjivanja jesu [6], [7]:

1. Stepen logističke autonomnosti u izvršavanju zadataka.
2. Mobilnost borbene jedinice (eskadrile).

3. Modularnost borbene jedinice (eskadrile).
4. Interoperabilnost sa stranim armijama.
5. Mogućnost operativnog planiranja.
6. Autonomnost po pitanju resursa.
7. Raspolaganje opremom za izvršenje namenskih zadataka.
8. Stručna osposobljenost kadra.
9. Konstrukcija vazduhoplova.
10. Bobrena gotovost i borbena efikasnost vazduhoplova.
11. Bobrena žilavost vazduhoplova.
12. Namena i način upotrebe vazduhoplova.
13. Neophodni elementi podrške vazduhoplova.
14. Troškovi operativne upotrebe.
15. Troškovi vazduhoplovnotehničkog obezbeđenja.

Model izbora prema više kriterijuma polazi od razmatranja većeg broja varijanata na osnovu unapred zadatih kriterijuma. Određivanje kriterijumskih vrednosti varijanata i definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma najčešće predstavlja problem. Donosioci odluka ne moraju da poznaju njihovu matematičku interpretaciju, već samo formalizaciju problema i svođenje na oblik koji omogućava primenu računara u njegovom rešavanju. Primer zapisa polaznih podataka za metode višekriterijumskog rangiranja prikazan je u tabeli 1[8].

Primena različitih kvantitativnih metoda u velikom broju daje dobre rezultate. Međutim, potpuna matematička formalizacija kriterijumskih vrednosti često je neostvariva, zbog njihove složenosti ili same njihove prirode. U tom slučaju vrši se ekspertsko ocenjivanje kriterijumskih vrednosti varijanata [5].

Tabela 1

Polazni podaci za metode rangiranja na osnovu više kriterijuma

Table 1

Initial data for the method of ranking based on several criteria

$m \backslash n$		KRITERIJUMI			
		K_1	K_2	...	K_k
LOKACIJE	A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}

	A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}
max (+) min (-)					
W_j^1					

¹ Koeficijent relativne važnosti kriterijuma (težinski koeficijenti kriterijuma).

Analiza organizacijskih modela jedinica za održavanje

Model 1 je najmlađi model u domaćem V i PVO, čija je primena otpočela novembra 2006. godine. Formiran je po ugledu na deo eskadrila i jedinica VTod u RV SAD, kao njegova modifikacija, naročito u broju stepeni održavanja.

Do 2006. godine eskadrile i jedinice bile su organizovane po modelima 2 i 3. Ovaj model trebalo je da poveća interoperabilnost našeg vazduhoplovstva sa vazduhoplovstvima NATO zemalja, smanji troškove održavanja, kao i brojno stanje jedinica za održavanje. Međutim, u našem vazduhoplovstvu nije dao očekivane rezultate. Globalni nedostaci modela 1 već su pomenuti.

Suština modela 2 jeste da se iz vazduhoplovnotehničkog bataljona (VTb) na nivou vb izdvoje strukture za održavanje u I stepenu i ugrade u sastav eskadrila koje trenutno sačinjava isključivo letачko osoblje.

Jedinica na nivou vazduhoplovne baze, vazduhoplovnotehnički bataljon, po ovom modelu ostala bi nosilac održavanja vazduhoplova u II i III stepenu održavanja. Nosilac IV stepena održavanja, kao i u modelu 1, bio bi vazduhoplovni zavod.

Na ovaj način bi se vazduhoplovnotehnički bataljon rasteretio dela poslova iz domena I stepena održavanja, a eskadrile bi dobile veću autonomnost u planiranju i izvršavanju letачkih zadataka. Za razliku od postojećeg stanja, u modelu 2 vazduhoplovi prelaze na zaduženje u sastav eskadrila, tako da se letачko osoblje više vezuje za vazduhoplove.

Uvođenjem kontrolora u okviru jedinica za održavanje postigla bi se mogućnost kontrole kvaliteta izvršenih radova i pregleda u svim stepenima održavanja.

S obzirom na specifičnost vazduhoplovnotehničkog kadra, pri reorganizaciji jedinica za održavanje, mora se uzeti u obzir da će jedinica vazduhoplovne baze, namenjena za održavanje, vršiti radove na raznorodnim i različitim tipovima vazduhoplova u II i III stepenu održavanja, pa u tom smislu treba u potpunosti ispoštovati tehnologiju radova i zahteve za kvantifikaciju potrebnih resursa.

Osnovne karakteristike modela 2 su:

- eskadrile u svom sastavu imaju jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje u I stepenu održavanja, dok bi II i III stepen održavanja ostao u vazduhoplovnotehničkom bataljonu;
- eskadrila u svom sastavu poseduje vazduhoplove na dugovanju;
- postoji tehnološka zavisnost između eskadrile i vazduhoplovnotehničkog bataljona, što produžava trajanje procesa i puteve komunikacije.

Prema modelu 3 (slika 3) u sastavu eskadrila nalazi se jedinica za održavanje u I i II stepenu održavanja. Nosilac III stepena održavanja bio bi vazduhoplovni zavod. Na taj način, umesto glomazne strukture, kao što je VTb, formiralo bi se više manjih jedinica za održavanje u okviru eskadrila koje bi preuzele zadatke VTOd od VTb, čime bi i sebe i VTb učinile efikasnijim u radu i izvršenju zadataka.

U ovom modelu bili bi formirani stručni i upravni organi na nivou komande eskadrile. Time bi omogućili stručnu pomoć izvršnim organima po pitanju održavanja i opsluživanja vazduhoplova. Omogućeno je aktivno učešće u procesu operativnog planiranja i planiranja radova na sredstvima u okviru komandi eskadrila, u okviru svojih nadležnosti. Formiranjem stručnih upravnih organa omogućila bi se:

- efikasnija kontrola izvršenih radova i kontrola rada rukovalaca sredstava;
- praćenje rokova r/d;
- izrada i praćenje planova održavanja;
- poslovi zaštite resursa;
- praćenje stručne osposobljenosti vazduhoplovnotehničkog kadra i rad na unapređenju radnih sposobnosti.

Formirani upravni organi mogli bi pozitivno da utiču na podizanje tehničke kulture u eskadrili i predstavljali bi stručnu sponu između komande eskadrile i vazduhoplovne baze. Jedinica u okviru vazduhoplovne baze ostala bi nosilac sledećih zadataka:

- vazduhoplovnotehničko i tehničko snabdevanje;
- opsluživanje vazduhoplova opštim sredstvima;
- deponažno obezbeđenje letenja;
- opšti radovi i usluge;
- zanatski radovi;
- održavanje tehničkih pokretnih sredstava.

Osnovne karakteristike modela 3:

- eskadrile u svom sastavu imaju jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje u I i II stepenu održavanja, dok se završni III stepen obavlja u okviru vazduhoplovnog zavoda;
- vazduhoplovnotehnički bataljon nadležan je za obezbeđenje ostalih sadržaja iz domena vazduhoplovnotehničkog obezbeđenja i sadržaja vazduhoplovnotehničkog i tehničkog održavanja ostalih VTPS i TPS;
- eskadrila u svom sastavu ima vazduhoplove na dugovanju;
- decentralizacija vazduhoplovnotehničkog održavanja na nivou vazduhoplovne baze;
- komanda eskadrile ima direktan uticaj na planiranje i realizaciju održavanja preko upravnih organa;
- ostvarena potpuna modularnost eskadrila;
- stvoreni uslovi za proces operativnog planiranja u eskadrili.

Uporedna analiza pojedinih modela održavanja

Do sada su iznete osnovne karakteristike sva tri modela održavanja, koji imaju određene prednosti i nedostatke. Uporedna analiza izvršena je kroz uticaje pojedinih modela na sposobnost eskadrile kao jedinice za izvršenje zadataka i kroz njihov uticaj na process i kvalitet VTOD, pri čemu je za analizu uzet samo jedan deo kriterijuma.

Stepen logističke autonomnosti u izvršavanju zadataka

Prema modelu 1, s obzirom na to da eskadrila u svom sastavu ne poseduje jedinicu za VTO i da jedinica u svom sastavu nema vazduhoplove, eskadrila kao jedinica nije samostalna u izvršavanju zadataka. Njena samostalnost direktno je zavisna od pomoći sastava za VTOD koji se u ovom modelu nalazi u VTb u okviru vb.

Model 2 delimično rešava ovu zavisnost i daje eskadrilama određenu samostalnost postojanjem jedinica za VTOD u I stepenu u okviru eskadrila. Međutim, kako jedinice za vršenje radova II stepena održavanja i dalje ne postoje u okviru eskadrila, i dalje postoji određena zavisnost eskadrila od VTb.

Zavisnost se ogleda po pitanju opravki vazduhoplova, povremenim pregledima i ostalim radovima iz delokruga II stepena. U ovakvim uslovima rukovodioci jedinica za održavanje ne mogu direktno da utiču na određivanje prioriteta u opravci, izvršenju povremenih pregleda i slično, čime se smanjuje raspoloživost vazduhoplova. Prilikom prebaziranja jedinice, eskadrilama se pridodaju grupe za izvršenje radova iz II stepena, iz sastava VTb, čime je otežano rukovođenje i komandovanje, kako u eskadrili, tako i u VTb. Ovi problem znatno su umanjeni, a pojedini i potpuno eliminisani u modelu 3.

Mobilnost borbene jedinice (eskadrile)

Eskadrile, kao izuzetno manevarske jedinice, moraju da poseduju visok stepen mobilnosti. Po modelu 1 eskadrile su mobilne samo u slučaju preleta na aerodrome gde postoji jedinica za VTOD za isti tip vazduhoplova kojim jedinica vrši prelet. U suprotnom, eskadrili je neophodno pridodati jedinicu za VTOD iz VTb.

Po modelu 2 obezbeđena je veća mobilnost, mada je neophodno pridodati grupe za radove iz nadležnosti II stepena održavanja radi otklanjanja eventualnih neispravnosti na vazduhoplovu na aerodromu prebaziranja.

Model 3 obezbeđuje punu mobilnost eskadrile, jer poseduje sopstvene elemente za VTOD i nisu potrebna pridodavanja iz jedinica vb.

Modularnost borbene jedinice (eskadrile)

Modularnost predstavlja sposobnost jedinice za organizacijsko ugrađivanje u više sastave, pri čemu je eskadrila osnovni modul organizacije od kojeg se grade viši nivoi organizacijskog strukturiranja. Da bi jedinica bila modul, neophodno je da poseduje sposobnost autonomnog izvršavanja zadataka za koje je namenjena za predviđeno vreme i da se u skladu s time integriše u logističkom smislu.

Od predloženih modela održavanja uslov modularnosti ostvaruje potpuno samo model 3. Model 2 ispunjava delimične uslove zbog nepostojanja jedinice za VTOD u II stepenu održavanja. U modelu 1 u sastavu jedinice ne postoji ni osnovno sredstvo, jer se nalazi u okviru VTb.

Interoperabilnost sa jedinicama stranih armija

Prema Doktrini V i PVO, interoperabilnost je sposobnost V i PVO da obezbedi usluge ili prihvati i koristi usluge drugih jedinica i omogući im da dejstvuju zajedno.

Prilikom preleta jedinice sa jednog aerodroma na drugi, oslanjanje na vb na tom aerodromu uslovljeno je postojanjem jedinice za VTOD u toj vb za tip vazduhoplova kojim eskadrila vrši prelet. U ovom slučaju eskadrila po modelu 2 i 3 poseduje interoperabilnost, pri čemu je interoperabilnost eskadrile po modelu 2 ograničena, odnosno traje do pojave prvih potreba za radovima iz nadležnosti II stepena održavanja.

Mogućnost operativnog planiranja

Kako u komandama eskadrila, prema modelima 1 i 2, ne postoje upravni organi za VTOD proces operativnog planiranja nije moguće ostvariti na propisan način. Sa druge strane, model 3 u potpunosti pruža mogućnosti za operativno planiranje u komandi eskadrile.

Autonomnost po pitanju resursa

Planiranje upotrebe, opravke, utrošaka i obnove resursa vazduhoplova vrše rukovodioci eskadrila u odnosu na planirane zadatke I u koordinaciji sa nadležnim upravnim organima Tehničke službe, vazduhoplovne specijalnosti. Od nadležnih organa dobijaju podatke o broju ispravnih vazduhoplova i mogućnostima vazduhoplovnotehničkih jedinica za opsluživanje planiranih letaćkih zadataka.

U modelu 1 eskadrila i jedinica za VTOD su dve različite jedinice u sastavu vb, sa različitim vrstama i obimom zadataka. Zbog toga u praksi

često dolazi do problema u koordinaciji jedinica, jer na planiranje utroška i obnove resursa komande eskadrila nemaju uticaja.

U modelima 2 i 3 utrošak i obnovu resursa vrši komanda eskadrile čime je planiranje olakšano. Međutim, u modelu 2 planiranje obnove resursa i izvršenje otklanjanja neispravnosti iz nadležnosti II stepena održavanja zavisi od dopunskih težišta i prioriteta u uslovima ograničenih mogućnosti vazduhoplovnotehničkog bataljona, kao nosioca radova iz nadležnosti II stepena održavanja.

U modelu 3 komanda eskadrile samostalno vrši planiranje resursa, jer poseduje upravne i izvršne organe za VTOd u svom sastavu.

Raspolaganje opremom za izvršenje namenskih zadataka

Oprema je jedan od elemenata koji direktno utiče na nivo operativnih sposobnosti jedinica, a čine je:

- osnovna oprema,
- vozila,
- telekomunikaciona oprema,
- ostala važna oprema.

Navedena oprema uvek se nalazi u sastavu jedinica za VTOd. Prema modelu 1 vazduhoplovi nisu u sastavu eskadrila već se nalaze u sastavu VTb. Isti je slučaj i sa ostalom opremom. To govori da eskadrila ne poseduje sopstvena osnovna sredstva, pa je time i njena operativna sposobnost, po ovom pitanju, negativna.

U modelima 2 i 3 jedinice za VTOd nalaze se u sastavu eskadrila, a zajedno sa njima i vazduhoplovi i prateća oprema.

Stručna osposobljenost kadra

Problem kadra može se posmatrati sa više aspekata. Ako se posmatra popunjenost eskadrila ljudstvo iz letaćkog sastava i sastava za vazduhoplovnotehničko održavanje je potpuno drugačijeg profila, tako da se problem popunjenosti rešava na dva različita polja. Trenutno je veći problem školovanja i osposobljavanja tehničkog kadra.

Obučenosť kadra treba posmatrati kao obučenosť pojedinca za izvršavanje radova u okviru jedne specijalnosti i na jednom tipu vazduhoplova. Takođe, obučenosť treba sagledati i kao obučenosť jedinice za sprovođenje operativnog planiranja i izvršenje zadataka.

U modelu 1 jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje se nalaze u sastavu vazduhoplovnotehničkog bataljona i nemaju uticaj na operativne sposobnosti eskadrile, za razliku od modela 2 i 3.

Jedan od ciljeva savremenih programa VTOB jeste i optimizacija kadra za potrebe održavanja. To, svakako, ne treba i ne sme da bude na štetu operativne sposobnosti jedinica. Trenutno stanje vazduhoplovstva po pitanju školovanja i usavršavanja tehničkog kadra predstavlja jedno od gorućih pitanja u domaćem vazduhoplovstvu, a u njegovo rešavanje trebalo bi da se uključi najviše rukovodstvo države i vojske.

Zaključak

Izvršena kvalitativna analiza pojedinih modela ne može biti dovoljna za ocenu izbora optimalnog modela održavanja, jer se odnosi na izabran skup kriterijuma iz delokruga operativnih sposobnosti. Da bi se izabrao optimalni model neophodno je da se sprovede detaljna ekonomska i taktičko-tehnološka analiza problema.

U radu je izvršena analiza tri modela održavanja vazduhoplova koji se primenjuju u vazduhoplovstvima stranih armija, a koji su se primenjivali u prelaznim periodima u domaćem vazduhoplovstvu.

Najpre je prikazano postojeće stanje u organizaciji vazduhoplovno-tehničkog održavanja, a zatim skup kriterijuma koje treba zadovoljiti prilikom reorganizacije sistema održavanja.

Radi što kvalitetnije ocene pojedinih kriterijuma i svođenje subjektivizma na što manju meru, neophodno je angažovanje više eksperata u oceni postojećeg stanja i u izboru novog modela prilikom reorganizacije sistema.

Izvršena je kvalitativna analiza na odabranom skupu kriterijuma koji se, uglavnom, odnose na operativne sposobnosti eskadrila. Međutim, pri izboru optimalnog modela održavanja moraju se uzeti u obzir i taktički i tehnički i ekonomski zahtevi države.

Za kvalitetnu reorganizaciju održavanja vazduhoplova neophodno je uključivanje najvišeg državnog i vojnog rukovodstva. Neophodno je, na osnovu iznetih kriterijuma, odrediti jasne ciljeve po svim elementima savremenih programa vazduhoplovnotehničke podrške ocenjivanja.

Literatura

- [1] Rašuo, B., Vazduhoplovnotehničko obezbeđenje, VIZ, Beograd, 2003.
- [2] Sokolović, V. i dr., Modeli održavanja vazduhoplova, ICDQM-2010, Beograd, 2010.
- [3] Andrejić, M., Sokolović, V., „Integralna logistička podrška sredstava namoružanja i vojne opreme”, Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier), Vol. 57, No. 1, pp 32-54, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2009.
- [4] Veselinović, S., Projektovanje složenih logističkih sistema, doktorska disertacija, Katedra logistike, Vojna akademija, Beograd, 2010.
- [5] Eklz, X., Logistika u nacionalnoj odbrani, VIZ, Beograd, 1986.
- [6] Pravilo vazduhoplovnotehničke službe, SSNO, Beograd 1986.

[7] Todorović, P., Predlog nove koncepcije i organizacije sistema održavanja vazduhoplova, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.

[8] Borović, S., Nikolić, I., Višekriterijumska optimizacija metode, primena u logistici, softver, Centar vojnih škola VJ, Beograd 1996.

ANALYSIS OF AIRCRAFT MAINTENANCE MODELS

FIELD: Mechanical Engineering (Organization, Economics and Management in Mechanical Engineering)

Summary:

This paper addressed several organizational models of aircraft maintenance. All models presented so far have been in use in Air Forces, so that the advantages and disadvantages of different models are known.

First it shows the current model of aircraft maintenance as well as its basic characteristics. Then the paper discusses two organizational models of aircraft maintenance with their advantages and disadvantages. The advantages and disadvantages of different models are analyzed based on the criteria of operational capabilities of military units. In addition to operational capabilities, the paper presents some other criteria which should be taken into account in the evaluation and selection of an optimal model of aircraft maintenance.

Performing a qualitative analysis of some models may not be sufficient for evaluating the optimum choice for models of maintenance referring to the selected set of criteria from the scope of operational capabilities. In order to choose the optimum model, it is necessary to conduct a detailed economic and technical analysis of individual tactical model maintenance.

A high-quality aircraft maintenance organization requires the highest state and army authorities to be involved. It is necessary to set clear objectives for all the elements of modern air force technical support programs based on the given evaluation criteria.

Introduction

Being the leaders in the development of modern aircraft, the world's most developed countries also lead in developing new methods, practices and models of organizing aircraft technical maintenance units. Aircraft maintenance is organized in accordance with conceptual orientations, technical and technological levels and available funds, in many different ways. This paper addressed several organizational models of aircraft maintenance.

The current model of aircraft maintenance

The military aircraft maintenance system is organized in four levels of maintenance, where maintenance levels I, II and III are performed in technical maintenance units, and maintenance level IV is performed by technical overhauling institutions.

Limited space, reduced capacities of the air base, overhauling institutions, manufacturing organizations and maintenance personnel represented the circumstances under which the reorganization of the existing aircraft maintaining structure, organization and policy should have been carried out.

Organizational models of maintenance units

A lot of models have been developed in order to reorganize the aircraft maintenance. Some models differ in whether aircraft technical maintenance units are within squadrons, or they are located in special units within the air base. If aircraft technical maintenance units are within squadrons, the maintenance concept differs in the number of maintenance levels.

Analysis of the organizational models of maintenance units

The current aircraft maintenance model is first shown, together with its basic characteristics. Then, two more organizational models of aircraft maintenance are presented, both with their advantages and disadvantages which are analyzed based on the criteria of aviation unit operational capabilities. Some other criteria that should also be taken into account in the evaluation and selection of an optimal aircraft maintenance model are discussed as well.

Comparative analysis of some maintenance models

The main characteristics of three given maintenance models, with their advantages and disadvantages, have been shown. A comparative analysis has been made through the influence of particular models on the ability of squadrons to perform tasks as well as through their impact on the process and quality of aircraft maintenance, where just a part of the criteria has been taken for the analysis.

The comparison is made on the basis of unit logistic autonomy levels regarding task execution, squadron mobility, unit interoperability with foreign armies, possibility of operational planning and professional staff qualifications.

Conclusion

This paper is an analysis of three aircraft maintenance models applied in foreign armies. These models were also applied in the domestic aviation during the transition period. The current status in the organization of aircraft technical maintenance is shown as well as a set of criteria that should be satisfied during the maintenance system reorganization.

A qualitative analysis of a selected set of criteria mainly related to squadron operational capabilities has been carried out. However, when choosing an optimum model of maintenance, tactical, technical and economic requirements of the country must be taken into account.

A high-quality aircraft maintenance organization requires the highest state and army authorities to be involved. It is necessary to set clear objectives for all the elements of modern programs of technical assistance based on the given evaluation criteria.

Key words: aircraft maintenance, maintenance organization, evaluation criteria.

Datum prijema članka: 09. 07. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 24. 07. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 26. 07. 2010.

ANALIZA KONCEPCIJE REŠENJA ARTILJERIJSKIH ORUĐA FAMILIJE „NORA“

Paligorić L. Anastas

OBLAST: mašinstvo (mašinske konstrukcije, sistemi automatskog upravljanja)

Sažetak:

Razvoj artiljerijskih oruđa familije „NORA“ započeo je davne 1976. godine u Vojnotehničkom institutu Kopnene vojske JNA. Program NORA je obuhvatao razvoj više tipova osnovnog oruđa artiljerije i to: vučena top-haubica 152 mm NORA-A, samohodna top-haubica 152 mm NORA-B i samopokretna top-haubica 152 mm NORA-C. U okviru istog programa završen je razvoj konverzije ruskog vučenog topa 130 mm M46 u top 155 mm M46/84 (za potrebe izvoza), odnosno u top 152 mm M46/86 (za potrebe JNA). U naoružanje JNA uvedena je samo vučena top-haubica 152 mm M84 (NORA-A), a do 1992. nastavljen je razvoj oruđa NORA-B i NORA-C. Posle višegodišnjeg prekida rada, 2003. godine nastavljen je razvoj oruđa NORA-B, a zatim i serijska proizvodnja sistema samohodnog oruđa 155 mm NORA-B52 za potrebe izvoza stranom kupcu (projekat je finansirao i stručno vodio „Jugoimport-SDPR“). Namera autora ovog rada je da sistematizovano prikaže istorijat razvoja i izvrši analizu koncepcija rešenja primenjenih u razvoju familije oruđa NORA, kako bi stručna javnost i nadležni organi dobili relevantne podatke bitne za usmeravanje daljih aktivnosti razvoja artiljerijskih sistema za potrebe Vojske Srbije i za izvoz.

Key words: artiljerijsko oruđe, top, haubica, projektil, barutno punjenje, modularna punjenja, pripala, kapisla, sistemi za upravljanje vatrom.

Uvod

Program modernizacije artiljerije JNA, koji je usvojen 1975. godine,¹ predviđao je radikalne promene u organizaciji i opremanju jedinica novim sredstvima. Težište je bilo: da se izborom i strukturom kalibara poveća dejstvo na cilju; da se smanji broj kalibara oruđa u sistemu vatrene podrške na samo tri (umesto 105 mm, za oprema-

¹ Inicijator donošenja tog programa je bio general-major Milivoje Stanković, tada načelnik Uprave artiljerije, naš poznati artiljerijski stručnjak i publicista.

nje jedinica do nivoa divizije uvodi se 122 mm; oruđima 130 mm i 152 mm opremaju se jedinice višeg nivoa) i da se u sastav mehanizovanih jedinica uvedu samohodna oruđa kalibra 122 mm i 152 mm (radi povećanja pokretljivosti). U postupku realizacije navedenog programa, pod vrlo povoljnim uslovima, od SSSR-a je kupljena licenca za proizvodnju vučene haubice 122 mm D-30 i njene municije, a za opremanje mehanizovanih jedinica kupljena je određena količina samohodnih haubica 122 mm 2S1 (Gvozdika). Pored toga, od SSSR-a je kupljena manja količina vučenih topova 152 mm D-20 i konstrukciona dokumentacija (KD), da bi se, na osnovu savremenog rešenja topa D-20, pristupilo razvoju domaće vučene top-haubice 152 mm² (kodni naziv NORA-A).

Danas, sa dovoljne istorijske distance, treba istaći da su donete odluke bile optimalan kompromis „*komandantskih mera*“ (interventno opremanje jedinica uvezenim sredstvima) i „*programskih opredeljenja*“ (domaći razvoj i proizvodnja oruđa, municije, nišanskih i osmatračkih sprava i uređaja). Realizacija programa u segmentu razvoja bila je poverena VTI-u koji je imao tehnički kompetentan kadar³ (formiran od inženjera srednje generacije i većeg broja odabranih talentovanih inženjera mlade generacije) i stabilne izvore finansiranja programa razvoja.⁴ Radi stvaranja kapaciteta za proizvodnju sredstava izvršena je tehnološka modernizacija i doopremanje kapaciteta u fabrikama vojno-privrednog sektora, programski namenjenim za proizvodnju artiljerijskih oruđa, municije, nišanskih sprava i optoelektronskih uređaja. Preduzeća vojno-privrednog sektora su u prvoj polovini osamdesetih godina bila u stanju da proizvode najsloženije sisteme NVO za potrebe JNA i za izvoz.

² Kao rukovodilac projekta NORA u VTI, autor ovog rada predlagao je da se usvoji kalibar 155 mm zbog: logističke kompatibilnosti sa oruđem 155 mm M65 (osvojena domaća proizvodnja kopiranjem američke haubice 155 mm M1), većeg izvoznog potencijala oruđa čiji kalibar odgovara NATO standardu, a i zbog potrebe da sistem vatrene podrške može da bude potencijalno podržan od strane zemalja oba vojna bloka. Ipak, usvojen je kalibar 152 mm, u skladu sa vojnopoličkom orijentacijom i opredeljenjem JNA i državnih organa SFRJ u to vreme.

³ Plansko stipendiranje studenata na Mašinskom fakultetu (posebno na smeru vojnog mašinstva) i drugim fakultetima Univerziteta u Beogradu, upućivanje mladih talentovanih inženjera na posle diplomsko školovanje u visoke vojnotehničke škole u Francusku i Englesku.

⁴ Najveća ulaganja u naučnoistraživački rad u oblasti odbrambene tehnike u bivšoj Jugoslaviji bilo je krajem sedamdesetih godina prošlog veka – oko 20.000 dolara po jednom istraživaču godišnje. Kasnije, tokom osamdesetih godina (zbog smanjenog vojnog budžeta), ta ulaganja bila su znatno smanjena – na oko 10.000 dolara po istraživaču godišnje. U periodu 1986–1990, zbog političkih i ekonomskih sukoba između pojedinih republika, sredstva za istraživanje i razvoj u okviru vojnog budžeta bila su znatno smanjena [1].

Istorijska retrospektiva programa NORA

Sredinom sedamdesetih godina prošlog veka, kada je započeo rad na projektu NORA, u oba svetska vojno-politička bloka (NATO i Varšavski ugovor) jasno je potvrđeno opredeljenje za reafirmaciju⁵ nezamenljive uloge cevne (klasične) artiljerije u sistemu vatrene podrške kopnene vojske, sa sledećim tendencijama razvoja:

- smanjivanje broja kalibara, tako da osnovno oruđe podrške bude kalibar 155 mm ili 152 mm (zavisno od vojnopoličkih opredeljenja zemalja korisnika);

- naglašeni taktički zahtevi da se poveća domet, uvedu novi tipovi municije sa većom efikasnošću protiv sve raznovrsnijih ciljeva, poveća pokretljivost i manevar artiljerijskih jedinica postepenim uvođenjem većeg broja samohodnih oruđa, odnosno vazдушnim transportom vučenih oruđa manje mase.

Stoga je u okviru programa razvoja novog sistema osnovnog oruđa vatrene podrške NORA bilo planirano da se razviju tri modela oruđa kalibra 152 mm sa odgovarajućom municijom, i to:

- vučena top-haubica 152 mm NORA-A (cev dužine 39 kalibara); razvoj započeo 1976. godine, uvedena u naoružanje JNA 1984. godine;

- samohodni top 152 mm NORA-B (cev dužine 45 kalibara); razvoj započeo 1984. godine, a prekinut krajem 1991. godine;

- samopokretni top 152 mm NORA-C (cev dužine 45 kalibara); razvoj započeo 1984. godine, a prekinut krajem 1991. godine.

Vučena top-haubica NORA-A razvijena je postupkom modernizacije ruskog topa 152 mm D-20 sa osnovnim ciljevima taktičkog karaktera: povećanje dometa (sa 17 km na 24 km) i povećanje manevra vatrom (elevacija je povećana do + 63°)[3]. Domet je povećan primenom novog balističkog rešenja: ugradnjom nove cevi dužine 40 kalibara⁶ sa novoprojektovanom barutnom komorom zapremine oko 18 dm³; razvojem novog razornog projektila sa optimiziranim prednjim oživalom i upuštenim dnom projektila;⁷ razvojem nove organizacije barutnih punjenja za novoprojektovanu mesinganu čauru. Posle uspešno izvršenih završnih ispitivanja

⁵ Tokom i na kraju Drugog svetskog rata u operativnu upotrebu su uvedeni novi sistemi naoružanja (višecevni lanseri raketa i nuklearno oružje), te su mnogi vojnotehnički eksperti pod utiscima efekata tih oružja predviđali napuštanje upotrebe cevne artiljerije. Ipak, na osnovu ozbiljnih studija izvršavanja tipičnih borbenih zadataka i analiza cena – efikasnost zaključeno je da se cevna i raketna artiljerija skladno dopunjavaju a ne isključuju. Takođe, smirivanjem „hladnoratovske atmosfere“ između dva vojno-ideološka bloka u svetu je rastao uticaj „trećeg sveta“ i javnog mnjenja, koje je zahtevalo zabranu upotrebe nuklearnog oružja. Konačno, proces dekolonizacije i formiranja mnogih novih država bio je praćen mnogobrojnim regionalnim i lokalnim sukobima, u kojima je dat primat upotrebi klasičnog naoružanja [2].

⁶ Navedena dužina cevi 152 mm odgovara cevi 155 mm dužine 39 kalibara.

⁷ Krajem osamdesetih godina proces povećavanja dometa sistema NORA-A završen je usvajanjem u naoružanje projektila sa generatorom gasa M84-GG, čiji je domet bio 28,6 km.

probne partije oruđa i municije, sistem vučene top-haubice 152 mm NO-RA-A usvojen je za operativnu upotrebu u JNA kao model M84. Tako je domaćim razvojem osvojena serijska proizvodnja artiljerijskog sistema druge generacije, koji je u to vreme bio na nivou rešenja američke vučene haubice 155 mm M198, a tek nekoliko godina kasnije u bivšem SSSR-u se u toj kategoriji pojavila vučena haubica 152 mm 2A65 (pod kodnom oznakom MSTA-B).



Slika 1 – Konvertovani top 155 mm M46/84 spreman za marš
Figure 1 – 155 mm M46/84 Converted Gun ready for transportation



Slika 2 – Konvertovani top 155 mm M46/84 u položaju za gađanje
Figure 2 – 155 mm M46/84 Converted Gun in firing position

Počev od 1983. godine, u saradnji sa stranom firmom SRC,⁸ razvijen je konvertovani top 155 mm M46/84. Saradnja sa firmom SRC obuhvatala je: konverziju topa 130 mm M46 ugradnjom modernizacionog kompleta čiju osnovu čini cev 155 mm dužine 45 kalibara sa barutnom komorom oko 23 dm³; osvajanje proizvodnje projektila tipa ERFB-BT,⁹ ERFB-BB¹⁰ i generatora gasa po licencnoj dokumentaciji dobijenoj po ugovoru sa firmom SRC; osvajanje novih barutnih punjenja M11 i M2 za novoprojektovanu produženu mesinganu čauru i projektile 155 mm ERFB (po dokumentaciji SRC). Primenjenim balističkim rešenjem sa projektilom ERFB-BB iz konvertovanog topa dobijen je najveći domet od 39 km (ostvareno povećanje dometa je oko 45% veće od dometa topa M46) [4]. Time je dostignut svetski trend razvoja u oblasti vatrene podrške i stvorene su mogućnosti da se potencijalnim kupcima ponudi artiljerijski sistem treće generacije (balistički sistem sa dužinom cevi 45 kalibara, zapremina barutne komore 23 dm³).

⁸ Vlasnik firme i glavni projektant artiljerijskog sistema 155 mm GC-45 je bio dr Gerald Bull, poznat po projektu HARP (lansiranje rakete nosača satelita iz cevi modifikovanog broskog topa od 16 inča) 1960-1964. i projektu BABILON (projektovanje topa kalibara 350 mm i 1000 mm za potrebe Iraka) 1988-1990. godine.

⁹ ERFB-BT je optimizovani projektil velikog dometa sa kalibarnim ispustima i upuštenim dnom; projektil domaće proizvodnje imao je oznaku M86.

¹⁰ ERFB-BB je optimizovani projektil velikog dometa sa kalibarnim ispustima i generatorom gasa; projektil domaće proizvodnje imao je oznaku M87.

Kasnije, tokom 1986. godine, usvojen je u naoružanje konvertovani top 152 mm M46/86, dobijen na isti način kao i izvozna varijanta topa 155 mm M46/84, uz prekalibraciju cevi na kalibar 152 mm. Tako se u potpunosti ovladalo balističkim rešenjem artiljerijskih oruđa treće generacije, sa cevi dužine 45 kalibara (za varijantu 155 mm), odnosno 46 kalibara (za varijantu 152 mm).

Program NORA nastavljen je 1984. godine razvojem samopokretnog topa 152 mm NORA-C. Predmet prve faze razvoja bila su istraživanja u domenu definisanja koncepcije pomoćne pogonske grupe i ostvarenja funkcije upravljanja i samostalnog kretanja oruđa na vatrenom položaju. Korišćenjem PT oruđa 152 mm NORA-A realizovan je funkcionalni model (FM) oruđa NORA-C1, na kojem je za pogon usvojen vazduhom hlađeni benzinski motor iz vozila VW VARIANT, za prenos snage korišćeni su uvozni hidromotori velikog obrtnog momenta¹¹ (ugrađeni u pogonske točkove), a primenjeno je hidraulično upravljanje pogonskih točkova. U drugoj fazi razvoja, FM oruđa NORA-C1 je preveden u FM oruđa NORA-C2 na kojem su vršena istraživanja mogućih rešenja poluautomatskog potiskivača projektila (sa elektromotorno pogonjenim lancem) i pokretanja cevi oruđa po visini (ugradnjom servopojačavača male snage na točak mehanizma elevacije).

Po završetku preliminarnih istraživanja rešenja automatizovanih funkcija na FM oruđa NORA-C2, 1987. godine pristupilo se razvoju i izradi PT samopokretnog oruđa 152 mm NORA-C3 velikog dometa, korišćenjem osvojenog balističkog rešenja konvertovanog topa 152 mm M46/86. U okviru priprema za proizvodnju najpre je izrađena kompletna KD za podsistem naoružanja, pri čemu je postupkom reinženjeringa (kopiranjem sklopova topa 130 mm M46 i primenom domaćih standarda) izrađena KD za sklopove zatvarača i protivtrzajućeg uređaja, a zbog većih izmena, izrađena nova KD za sklopove cevi 152 mm dužine 46 kalibara sa dvokomornom barutnom komorom, zadnjaka (povećane dužine, da bi se ugradio mehanizam za poluautomatsko otvaranje zatvarača, kopirnog tipa) i kolevke (produžena, zbog novog dužeg zadnjaka). Po navedenoj KD pristupilo se izradi PT oruđa NORA-C3, čime je bio učinjen značajan tehnološki napredak u domenu metalurgije i kovanja¹² (osvajanje visoko kvalitetnog čelika za izradu otkovaka cevi, zadnjaka i zatvarača) i mašinske obrade¹³ (obezbeđenje opreme za obradu i olučenje cevi do kalibra 203 mm i dužine do 12 m).

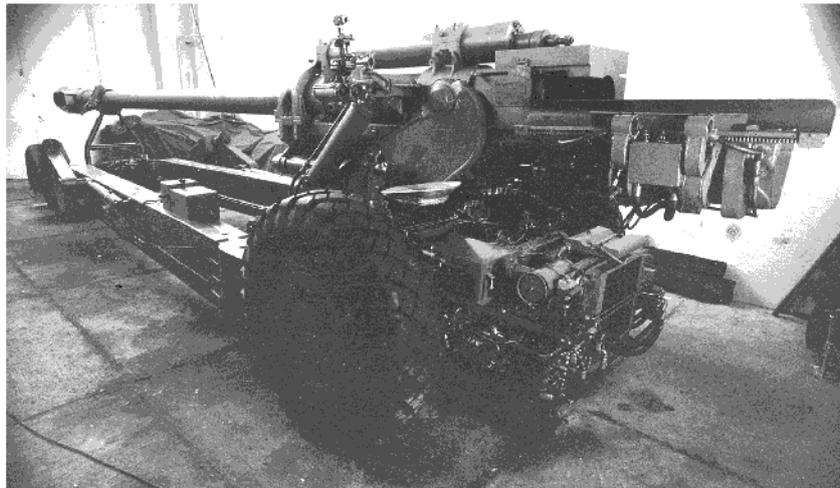
Korišćenje municije veće energetske moći imalo je za posledicu povećanje sile trzanja, te je projektovan novi gornji lafet veće mehaničke otpornosti, čija je nova konstrukcija bila prilagođena zahtevima da se pove-

¹¹ Proizvođač firma Hägglunds iz Švedske.

¹² U željezarni Ravne na Koroškem – Slovenija.

¹³ U kombinatu TMH „Bratstvo“ Novi Travnik – BiH.

ća postojeća elevacija cevi (sa 45° na 65°) i da se ugrade elementi novih sklopova za poluautomatsko (hidraulično) pokretanje cevi po elevaciji i pravcu i poluautomatsko potiskivanje projektila u ležište metka (sa hidrauličkim dovodjenjem na osu punjenja, ubacivanjem projektila i čaure u komoru i potiskivanjem projektila u cev silom potrebnom za urezivanje vodećeg prstena projektila u žljebljeni deo cevi). Projektovani su novi sklopovi donjeg lafeta, krakova i hodnog dela oruđa,¹⁴ da bi se obezbedila ugradnja pomoćne pogonske grupe (dizel motor nominalne snage 54 kW¹⁵ i hidromotori), komponenta za razvod snage, elemenata za upravljanje glavnim i pomoćnim točkovima (levi i desni, na kracima lafeta), hidropneumatskog sistema za oslanjanja točkova (koji je korišćen za spuštavanje oruđa na tlo pri pripremi za gađanje i prevođenje u marševski položaj), sedišta i komandne table vozača, podsklopova za poluautomatsko (hidraulično) pokretanje krakova lafeta pri prevođenju oruđa iz marševskog u borbeni položaj i obratno.



Slika 3 – Samopokretna top-haubica 152 mm NORA-C3, bočni pogled
Figure 3 – 152 mm Gun-Howitzer NORA-C3 with APU, lateral view

¹⁴ Pri projektovanju sklopova hodnog dela oruđa vodilo se računa da isti lafet može da se koristi za razvoj novog oruđa vatrene podrške 203 mm, kodnog naziva KOLOS. Projektovane balističke karakteristike oruđa KOLOS su bile: cev dužine 9135 mm, najveći dolet sa projektilom ERFB (mase oko 96 kg) ≥ 38 km, a sa projektilom ERFB-BB (mase oko 99 kg) ≥ 50 km.

¹⁵ Navedeni dizel motor sa vodenim hlađenjem je, u okviru razvoja terenskog vozila TARA 4x4, osvajalo preduzeće IMR Beograd, pa je jedan motor iz probne partije dobijen za potrebe projekta NORA-C. Njegove performanse nisu u potpunosti odgovarale koncepciji rešenja i postizanju željenih karakteristika kretanja PT oruđa (projektanti su želeli da koriste snažniji dizel motor sa vazдушnim hlađenjem strane proizvodnje).

Snagom pomoćne pogonske grupe ostvareno je kretanje oruđa na vatrenom položaju i na manjim rastojanjima (brzinom do 12 km/h na putevima i 6 km/h van puteva). Pogonska grupa je korišćena i za pogon mehanizovanih sklopova oruđa.¹⁶ Tokom izrade PT oruđa NORA-C3 lansirana je izrada probnih komada domaćeg sporohodnog, visokomomentnog hidromotora po dokumentaciji Instituta „Mihajlo Pupin“ u „Fabriци alata“ u Trebinju. Do kraja 1989. godine završena je izrada i interno ispitivanje PT oruđa, ali se razvoj sistema oruđa nije nastavio izradom probne partije, zbog bitno smanjenog budžeta za razvoj.

Razvoj poslednjeg oruđa u programu NORA, samohodne top-haubice 152 mm NORA-B, bio je iniciran taktičkom potrebom da se u formacije mehanizovanih jedinica uvedu samohodna artiljerijska oruđa povećane pokretljivosti, koja odgovarajućim postupcima automatizacije treba da obezbede kraće vreme reagovanja sistema i povećanu verovatnoću preživljavanja na vatrenom položaju.

U prethodnoj analizi (izrađenoj 1984. godine) razmatrane su tri varijante rešenja:

a) samohodni top sa kupolom ugrađenom na šasiju tenka M84 (koji je već bio uveden u serijsku proizvodnju);

b) samohodni top sa kupolom ugrađenom na šasiju novoprojektovanog terenskog automobila formule 8x8¹⁷ (sa bočnim prenosom transmisije i nezavisnim vešanjem točkova) i

c) samohodni top sa „otvorenom“ ugradnjom (bez kupole) naoružanja na platformu točkaškog vozila FAP 2832 formule 8x8 (osvojenog za raketni sistem „ORKAN“).

Usvojena je varijanta otvorene ugradnje naoružanja, jer je, pored ispunjavanja osnovnih polaznih TTZ, bila najprihvatljivija sa stanovišta cena – efikasnost. Izvršenom analizom bilo je utvrđeno da bi cena samohodnog topa sa otvorenom ugradnjom naoružanja na platformu terenskog vozila 8x8 bila samo do 20% veća od cene vučenog topa i formacijskog vozila za vuču oruđa. Varijanta samohodnog topa sa kupolom ugrađenom na šasiju novoprojektovanog vozila 8x8 bila bi skuplja za oko dva puta, a varijanta samohodnog topa sa kupolom ugrađenom na šasiju tenka M84 bila bi za oko četiri puta skuplja od usvojene varijante rešenja.

¹⁶ Poslovi automatizacije oruđa i osvajanja domaće proizvodnje hidromotora velike snage vođeni su u saradnji sa beogradskim institutom „Mihajlo Pupin“.

¹⁷ Za potrebe razvoja novih borbenih samohodnih sredstava Jugoslavija je u to vreme raspolagala samo sa dve gusenične šasije domaće proizvodnje: šasija transportera BVP M80 i šasija tenka M84. Prateći tendencije u svetu planiran je razvoj vozila točkaša, formule 8x8, koje bi se koristilo za razvoj: samohodnog artiljerijskog oruđa, lovca tenkova sa topom kalibra većeg od 100 mm, i drugih namenskih sredstava. Ugradnja kupole je zahtevala da transmisija bude postavljena bočno, duž vozila, pa je pri projektovanju usvojena hidrostatička transmisija. Za izradu idejnog rešenja vozila bili su angažovani: preduzeće „GOŠA“, Institut „Mihajlo Pupin“ i Mašinski fakultet iz Beograda.

Pri definisanju koncepcije samohodnog oruđa NORA-B vodilo se računa da se maksimalno iskoriste iskustva i rezultati prethodnog razvoja, pa je stoga usvojeno da oruđe ima identično osnovno naoružanje kao oruđe NORA-C3 (svi delovi oruđa pokretni po pravcu – sklop cevi 152 mm dužine 46 kalibara, kolevka, protivtrajući uređaj, gornji lafet, hidraulički cilindri elevacije, mehanizam pravca, aksijalni ležaj za vezu sa platformom i poluautomatski potiskivač projektila), sa mogućnošću da se konvertuje u kalibar 155 mm.

U periodu do kraja 1990. godine realizovan je i konstruktorski ispitani FM oruđa NORA-B. Kasnije, tokom 1991. godine, zbog iskazanog interesa jedne bliskoistočne zemlje, a u okviru pripreme oruđa za prikaz, otklonjeni su neki od nedostataka uočenih tokom konstruktorskog ispitivanja FM oruđa. Takođe, izvršene su konstruktorske pripreme za ugradnju cevi 155 mm, dužine 45 kalibara umesto cevi 152 mm i započet rad na konstrukcionom rešenju samozaptivanja barutne komore, radi korišćenja metka 155 mm sa barutnim punjenjem bez čaure.

Po definitivnom ukidanju sankcija na promet NVO, preduzeće „Jugoimport-SDPR“ je (posle 2000. godine) intenziviralo marketinške aktivnosti radi prodaje raspoloživih proizvoda NVO i onih čiji je razvoj ranije bio započet. Tako je „Jugoimport-SDPR“, polovinom 2002. godine, sa kupcem iz regiona jugoistočne Azije zaključio okvirni ugovor za prodaju samohodnog oruđa 155 mm NORA-B52 četvrte generacije (balistički sistem sa cevi dužine 52 kalibara), čiji domet treba da bude veći od 41 km (korišćenjem municije koju čine projektil tipa ERFB-BB i barutno punjenje zona 10). Predmet ugovora bila je isporuka: samohodnih oruđa 155 mm, realizovanih na osnovu korišćenja sklopova vučenog topa 130 mm M46; odgovarajuće količine municije velikog dometa, sa projektilom 155 mm tipa ERFB-BB; i baterijskih sistema za komandovanje i upravljanje vatrom (SKUV).

Radi stvaranja uslova za uspešnu realizaciju ugovora, „Jugoimport-SDPR“ je doneo odluku da formira radni tim¹⁸ čiji je zadatak bio da vodi i usmerava razvoj proizvoda koji su predmet ugovora, organizuje njihovu proizvodnju i izvršava sve ugovorne obaveze prema kupcu. Da bi poslovi razvoja i buduće serijske proizvodnje mogli uspešno i kvalitetno da se obave, u uslovima industrijske proizvodnje, radni tim je doneo odluku da se za realizaciju tri glavna podsistema (oruđe, municija, SKUV) angažuju:

– VTI, za učešće u fazi razvoja sistema oruđa na sledećim poslovima: izrada dela KD za oruđe; definisanje rešenja metka sa projektilom tipa ERFB-BB; definisanje strukture SKUV; učešće u doradi FM oruđa 152 mm NORA-B i u izradi i ispitivanju PT oruđa 155 mm NORA-B52; izrada balističkih računara radi integracije u odabrani SKUV; izradi proračunskih tablica gađanja;

¹⁸ Odgovarajućim rešenjem pomoćnika direktora „Jugoimport – SDPR“ bio sam angažovan za rukovodioca projekta, sa ovlašćenjima za sve tehničko-tehnološke poslove i delimičnim ovlašćenjima za finansijske poslove.

– „Lola sistem“ Beograd, za poslove dorade FM oruđa NORA-B, izrade PT oruđa 155 mm NORA-B52, finalizatora serijske proizvodnje oruđa za isporuke kupcu; kasnije, tokom izrade serijskih oruđa donete su odluke o glavnim kooperantima (stranim i domaćim) za izradu vitalnih otkovaka i odlivaka, mašinsku obradu cevi, nabavku šasije vozila, hidrauličnih i električnih komponentata za primenjenu PLC tehnologiju automatizovanih sklopova;

– „Sloboda“ Čačak, na poslovima kompletiranja metka sa projektilom 155 mm ERFB-BB u fazi razvoja i za serijske isporuke kupcu; naknadno je doneta odluka da se kompletiranje projektila izvrši u saradnji sa tehnološkim partnerima (iz Slovačke za projektil ERFB i domaća firma EDePro za jedinicu generatora gasa);

– „Milan Blagojević – Namenska“ Lučani, na poslovima osvajanja monoblok punjenja zona 10 (radi kompletiranja metka) u fazi razvoja i za serijske isporuke kupcu;

– „Senzor – Infiz“ Zemun, za poslove kompletiranja baterijskog SKUV u saradnji sa VTI i stranim tehnološkim partnerom (iz Slovenije).

U preliminarnoj fazi razvoja (juli–septembar 2002) doveden je u ispravno stanje FM oruđa 152 mm NORA-B i kompletiran model baterijskog SKUV radi prikaza delegaciji kupca krajem septembra 2002. godine. U prvoj fazi razvoja (2003) izvršena je dorada pojedinih sklopova FM oruđa 152 mm NORA-B da bi se obezbedilo uspešno prikazno gađanje delegaciji kupca (juna 2003), a zatim do kraja 2003. godine izvršena interna ispitivanja razmatranih rešenja za promenu sistema oslanjanja vozila (još uvek na šasiji vozila FAP 2832) radi smanjenja nivoa ubrzanja na mestima posluge oruđa (na platformi vozila) i stabilnosti oruđa pri gađanju. U drugoj fazi razvoja (2004–2005) pristupilo se izradi PT samohodnog oruđa 155 mm NORA-B52 na šasiji ruskog vozila KAMAZ 63501, formule pogona 8x8. Izradi PT je prethodila detaljna analiza svih sklopova sistema oruđa na sastancima radnog tima uz učešće predstavnika VTI, „Slobode“, „MBL“, „Senzor-Infiz“ i članova ekspertskeg tima (za koncepciju i pogon vozila, automatizaciju vozila i naoružanja, SKUV), koje je „Jugoimport-SDPR“ angažovao u prvoj fazi razvoja. Bitno je da se istakne da je PT bio naše prvo oruđe četvrte balističke generacije, sa novom cevi 155 mm dužine 52 kalibara. Interno ispitivanje PT vršeno je sukcesivno (zavisno od obima završenih poslova na izradi PT i potreba verifikacije otklanjanja uočenih nedostataka), počev od januara 2005. (početak prvog dela ispitivanja), pa do kraja maja 2006. (završetak četvrtog dela ispitivanja).

Uporedo sa ispitivanjem PT oruđa početkom 2005. godine lansirana je izrada prve partije oruđa (jedna baterija) i prve serije municije. Posle izvršenih ispitivanja gađanjem i otklanjanja konstatovanih nedostataka, prva partija oruđa i municije isporučena je kupcu oktobra 2006. Druga partija oruđa (jedna baterija) i druga serija municije isporučeni su kupcu maja 2007, a treća partija oruđa (dve baterije) avgusta 2008. U dogovoru sa kupcem svi baterijski SKUV bili su isporučeni ranije (krajem 2004) radi eventualne primene na modernizovanim haubicama 105 mm M56/33 i M2A1/33. Posle svake is-

poruke partije/serije oruđa i municije vršena je u zemlji kupca funkcionalna provera sistema oruđa i obuka osoblja kupca, a posle isporuke prve i treće partije oruđa izvršena su ispitivanja gađanjem radi verifikacije funkcije i definitivnog prijema balističkog sistema oruđa, municije i SKUV.



Slika 4 – Samohodna top-haubica 155 mm NORA-B52 iz serijske proizvodnje
Figure 4 – 155 mm Self-Propelled NORA-B52 from serial production

Realizacija projekta razvoja i izrade prve serije sistema oruđa NORA-B52 obavljena je u vrlo teškim ekonomskim i tehnološkim uslovima. Ugovor je stupio na snagu oktobra 2003. godine, te su se tek tada stekli uslovi za finansiranje faze razvoja. Treba istaći da je, ipak, zahvaljujući radnom timu koji je plan-ski i efikasno vodio sve aktivnosti u fazama razvoja, uvoza tehnološki vrlo restriktivnog repromaterijala i komponenata dvostruke namene, organizacije proizvodnje u preduzećima nosiocima izrade oruđa, municije i SKUV, kompanija „Jugoimport-SDPR“ uspela da za nešto manje od pet godina efektivnog angažovanja realizuje projekat razvoja i prvog izvoza sistema oruđa NORA-B52.

Filozofija upotrebe oruđa familije NORA

Familiju oruđa NORA čine: vučena top-haubica 152 mm NORA-A (M84); vučeni konvertovani topovi 155 mm M46/84 i 152 mm M46/86; samopokretna top-haubica 152 mm NORA-C; i samohodne top-haubice 152 mm NORA-B i 155 mm NORA-B52 (M03). Zajedničko za sva navedena oruđa je da pripadaju osnovnom kalibru vatrene podrške kopnene vojske, a mogu da se realizuju u kalibrima 152 mm odnosno 155 mm (zamenom samo cevi), zavisno od vojno-političkog izbora korisnika. Razlika je samo u filozofiji upotrebe tipičnoj za vučena odnosno samohodna oruđa. Dva od navedenih oruđa uvedena su u operativnu upotrebu (NORA-

A i NORA-B52), iako je najveću šansu za operativnu upotrebu imao konvertovani top 155 mm, jer je ruski top 130 mm M46 bio (i još uvek jeste) u naoružanju više od 55 zemalja sveta. Nažalost, iako je naša zemlja prva ponudila konverziju topa 130 mm M46, zbog događaja koji su nastali početkom 90-tih godina i uvođenja embarga na promet NVO bila je onemogućena njegova prodaja mnogim zainteresovanim zemljama.¹⁹

Vučena oruđa familije NORA projektovana su tako da se u što većoj meri ispune osnovni zahtevi filozofije upotrebe artiljerije: što veći domet uz očuvanje ili povećanje razornog dejstva projektila na cilju i što manja masa oruđa, bez smanjivanja energije projektila na ustima cevi. Stepenn ispunjenja navedenih zahteva može se sagledati iz uporednih podataka iz tabele 1.

Tabela 1 – Osnovne taktičke i projektne karakteristike oruđa familije NORA i baznih oruđa
Table 1 – Main tactical and technical characteristics for the NORA weapons family and basic weapons

Naziv oruđa <i>Weapon mark</i>	152 mm G-H NORA-A	152 mm D-20	Relation [2]/[3]	155 mm CG M46/84	130 mm Gun M46	Relatio n [5]/[6]
1	2	3	4	5	6	7
Masa oruđa, Mo (kg) <i>Weapon mass</i>	7080	5650	1,253	7680	7700	0,997
Maks. domet, Xm (m) <i>Max range</i>	24000	17400	1,379	30300	27150	1,116 ²⁰
Masa projektila, mp (kg) <i>Projectile mass</i>	43,56	43,5	1	45,6	33,24	1,372
Brzina projektila, vo (m/s) <i>Projectile velocity</i>	810	655	1,236	890	930	0,957
Dužina cevi, u kalibrima <i>Barrel longer, in calibers</i>	40	28	1,42	45	50	0,9
Polje dejstva po visini, (°) <i>Elevation field of action</i>	- 5 do + 63	- 5 do + 45	1,36	45	45	1
KRE ²¹ Cef = Xm . mp/Mo	149,92	133,96	1,119	179,906	117,767	1,527
KIM ²² Cm = mp . Ep /Mo	2018,34	1651,55	1,222	2321,55	1875,82	1,238
KSI ²³ Ci = I / Mo . g	0,7007	0,6548	1,070	0,8147	0,5661	1,440

¹⁹ Samo u šest zemalja, inače naših tradicionalnih kupaca (Egipat, Libija, Sirija, Irak, Iran, Indija), bilo je u operativnoj upotrebi oko 3600 topova M46 ruskog ili kineskog porekla.

²⁰ Poređenje je vršeno za razorni projektil (bez generatora gasa).

²¹ Koeficijent relativne efikasnosti.

²² Koeficijent iskorišćenja mase oruđa je odnos energije projektila na ustima cevi (Ep) prema masi oruđa.

²³ Koeficijent specifičnog impulsa (I).

Vučeno oruđe 152 mm NORA-A nastalo je modernizacijom topa 152 mm D-20, a ostvarene projektne i taktičke karakteristike potvrđuju opravdanost razvoja i borbeni kvalitet novog rešenja:

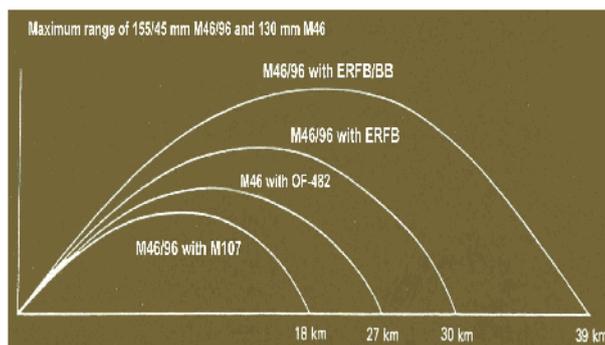
- najveći domet oruđa je povećan za oko 38% (sa 17400 m na 24000 m, za projektil sa upuštenim dnom), odnosno za 64% (na 28600 m, za projektil sa generatorom gasa), a to je postignuto novim balističkim rešenjem koje se svodi na zamenu postojeće novom, dužom cevi (40 kalibara) i razvoj novog metka, uz mogućnost korišćenja postojećeg, sa projektilom OF-540;

- primena novog metka zahtevala je povećanje barutne komore i izradu nove produžene čaure za smeštaj novog punog barutnog punjenja (mase 12,5 kg) za novi projektil 152 mm M84 sa povećanim eksplozivnim punjenjem (8,25 kg), te je njegova efikasnosti na cilju za oko 25% veća u odnosu na projektil OF-540 (masa eksplozivnog punjenja 6,24 kg);

- povećanjem polja dejstva po visini za 36% (sa 45° na 63°) oruđe NORA-A je prevedeno u klasu top-haubica, a gađanjem gomjom grupom uglova bitno je povećan manevar vatrom i time ostvaren novi kvalitet u izvršavanju zadataka vatrene podrške na ispresecanom (brdovitom) terenu;

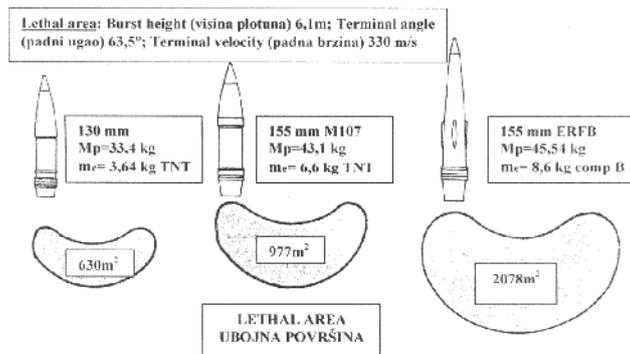
- sve navedene borbene prednosti ostvarene su uz povećanje mase oruđa za oko 25% i veći koeficijent specifičnog impulsa za samo 7%. Povećanje mase oruđa nije uticalo na prohodnost vučnog voza, jer je zadržana ista klasa vučnog vozila (formule 6x6) sa nepromenjenom putnom brzinom. Jedini nedostatak većeg impulsa je povećanje natpritiska udarnog talasa na mestima posluge oruđa (do najviše 0,55 bara), što zahteva da posluga koristi ušne štitnike pri opaljenju metka.

Opravdanost konverzije topa 130 mm M46 u topove 152 mm i 155 mm je vrlo očigledna, jer konvertovani top ima tri puta veću efikasnost na cilju,²⁴ a domet se povećava čak do 45% kada se koristi projektil tipa ERFB-BB (čiji je domet veći od 39 km).



Slika 5 – Poređenje dometa topa 130 mm M46 i konvertovanog topa 155 mm M46/84
 Figure 5 – 130 mm M46 Gun and 155 mm Converted Gun range comparison

²⁴ Imajući u vidu masu projektila i eksplozivnog punjenja projektila 155 mm ERFB (45,6 / 8,7 kg) i projektila 130 mm OF-482 (33,24 / 3,64 kg).



Slika 6 – Prikaz ubojne površine projektila 130 mm OF-482, 155 mm M107 i 155 mm HE ERFB
 Figure 6 – Lethal area review of 130 mm HE-482, 155 mm M107 and 155 mm HE ERFB projectiles

Povećanje pokretljivosti i smanjenje vremena reagovanja pri dejstvu na sve raznovrsnije ciljeve bili su težišni zahtevi u filozofiji upotrebe artiljerije početkom osamdesetih godina prošlog veka, te je razvoj samohodnih oruđa bio imperativ za sve moderne koncipirane armije sveta. Većina korisnika tada je pripadala generaciji tradicionalno formiranih oficira artiljerije koji preferiraju kupolnu ugradnju naoružanja na gusenične šasije. U osnovi takva rešenja nude odgovarajuću (bolju) zaštitu posade od dejstva protivničke artiljerije. Ipak, u konkretnom slučaju razvoja samohodnog oruđa NORA-B usvojili smo koncept otvorene ugradnje naoružanja na platformu terenskog točkaškog vozila (više o tome u poglavlju „Analiza koncepcije rešenja oruđa NORA-B“).

U poređenju sa samohodnim oruđima na kamionskoj platformi danas je, sa stanovišta filozofije upotrebe, teško naći opravdanje za dalji razvoj i usavršavanje sistema samopokretnih artiljerijskih oruđa (to su oruđa koja imaju pomoćnu pogonsku grupu za kretanje na vatrenom položaju i automatizaciju funkcija na vatrenom položaju). Naime, pojava ovog tipa oruđa u svetu je bila relativno uspešan pokušaj moćnih (finansijski i tehnološki) zapadnih kompanija da se artiljeriji nametne jedno sofisticirano prelazno rešenje od vučenih ka samohodnim oruđima. Ipak, respektabilna količina tih oruđa ušla je u operativnu upotrebu u mnogim zemljama sveta.²⁵ Danas se, sa dovoljne vremenske distance, može reći da je ta koncepcija bila samo usporavanje ka prelasku na samohodne sisteme i sticanje iskustava za mehanizovanje i automatizovanje funkcija na oruđima ugrađenim na kamionskoj platformi.

Iznete konstatacije o filozofiji nastanka i upotrebe konvertovanih topova 152 mm M46/86 i 155 mm M46/84 i samopokretnog topa 152 mm NORA-C dovode do zaključka da u ovom tekstu nije potrebna detaljnija analiza njihove koncepcije.²⁶

²⁵ To su, pre svega, švedska haubica 155 mm FH-77, NATO haubica 155 mm FH-70, južnoafričko oruđe 155 mm G5, francusko oruđe 155 mm TR, izraelski sistem 155 mm TIG 2000 i singapurska haubica 155 mm FH88.

²⁶ Iz raspoloživih objavljenih informacija sledi da je samo Indija sprovela delimičnu konverziju sopstvenih topova 130 mm M46 u kalibar 155 mm sa balističkim rešenjem cevi dužine 45 kalibara.

Analiza koncepcija rešenja top-haubice 152 mm NORA-A

U postupku modernizacije naše artiljerije osnovni taktički zahtev je bio da se američka haubica 155 mm M114 i njena kopija naše proizvodnje 155 mm M65 zamene savremenijim vučenim oruđem koji bi se razvilo na bazi ruskog topa 152 mm D-20.

Bitne prednosti koncepcije i konstrukcije ruskog topa D-20 u odnosu na američku haubicu M114 bile su [5]:

- savremeno rešenje vertikalnog klinastog zatvarača sa mehanizmom za poluautomatsko otvaranje zatvarača posle opaljenja prvog metka; takvo rešenje omogućava postizanje brzine gađanja od 6-8 metaka u prvom minutu gađanja, a pri produženom gađanju 4 metka/minut. Američka haubica je imala ručno otvaranje zavojnog zatvarača, sa do 3 puta manjom brzinom gađanja;

- savremeno rešenje jednoosovinskog hodnog dela oruđa sa uzdužno postavljenim torzionim oprugama (štapovima); takav sistem elastičnog oslanjanja oruđa u vožnji omogućava da se na dobrom putu ostvare brzine kretanja do 60 km/h. Američka haubica imala je hodni deo sa krutom osovinom, te su putne brzine vučnog voza bile ograničena na 30 do 40 km/h;

- jednostavnija i savremenija rešenja protivtrzajućeg uređaja, mehanizama za pokretanje cevi po visini i pravcu, krakova lafeta i drugih sklopova, te je vreme prevođenja oruđa iz marševskog u borbeni položaj i obratno bilo kraće u odnosu na haubicu M114.

*Slika 7 – Vučena top-haubica 152 mm M84
Snimak sa trupnog ispitivanja na jednom od vojnih poligona*

*Figure 7 – 152 mm M84
Towed Gun-Howitzer
Photo taken during military
troop firing tests*



Idejno rešenje sistema novog oruđa NORA-A bilo je zasnovano na potrebi da se sa što manje izmena u sklopovima naoružanja topa D-20 realizuje novo oruđe mnogo većeg dometa i da se povećanjem polja dejstva po visini (projektovanjem novog gornjeg lafeta i rekonstrukcijom mehanizma za pokretanje po visini) omogući gađanje gomjom grupom uglova, odnosno da se ruski top D-20 prevede u haubicu-top velikog dometa i vatrene moći. Naravno, produžavanjem krakova lafeta (zbog obezbeđivanja uzdužne stabilnosti pri gađanju), povećana je ukupna dužina oruđa na maršu, ali to nije kompromitovalo ukupna manevarska svojstva i pokretljivost vučnog voza (oruđe i vučno vozilo).

Pri razmatranju mogućih koncepcija rešenja odbačene su sve ideje da se automatizuju pojedine funkcije opsluživanja oruđa²⁷, jer bi se time kompromitovao osnovni zahtev – projektovanje oruđa minimalne mase! Stoga je, najpre, osvojena i u naoružanje uvedena osnovna verzija oruđa M84B1, a tek u drugoj fazi je završen razvoj verzije oruđa M84B2 sa poluautomatskim pneumatskim potiskivačem projektila²⁸, da bi se olakšao rad posluge, pogotovo pri gađanju gornjom grupom uglova (elevacija cevi veća od 45°).

Analiza koncepcija rešenja samohodne top-haubice NORA-B

Idejno rešenje samohodnog oruđa NORA-B bilo je inicirano taktičkim zahtevom da se smanji dužina na maršu tandema oruđe – vučno vozilo, što je jedna od mana svih vučenih artiljerijskih oruđa. Tako je u našem VTI, po prvi put u svetu, rođen koncept da se naoružanje vučenog oruđa *natovari* na šasiju terenskog točkaškog vozila.²⁹ Danas je takav koncept samohodnog oruđa poznat po akronimu *TMG (Truck Mounted Gun)*, proizvodi se u nekoliko vodećih tehnoloških zemalja sveta i uveden je u operativnu upotrebu u više od 10 zemalja.

U vreme izrade Prethodne analize za sistem NORA-B nije vršeno detaljno razmatranje radi izbora tipa i vrste vozila. Naime, imperativ je bio da vozilo bude domaće proizvodnje, pa je izbor mogao da se vrši samo

²⁷ Automatizacija uređaja za pokretanje cevi po visini i pravcu zahtevala je uvođenje agregata za spoljni izvor energije i sklopova za automatsko pokretanje cevi.

²⁸ Ugradnja potiskivača projektila zahteva rekonstrukciju sklopa branika nišandžije, a na sklop kraka lafeta ugrađuje se zamenljivi gasni rezervoar, sa kojim se bez dopunjavanja pritiska gasa može ispaliti do 30 metaka (zavisno od elevacije cevi pri gađanju). Odabran je tip pneumatskog potiskivača da se ne bi uvodio spoljni izvor energije, a dopunjavanje pritiska vazduha ili azota u rezervoaru vrši se ručnom pumpom.

²⁹ Iskreno govoreći, tada (1984. godine), kao autor tog rešenja, nisam očekivao da će, desetak godina kasnije, koncept „otvorene ugradnje naoružanja na platformu točkaškog vozila“ biti masovno prihvaćen u mnogim zemljama sveta.

između dva terenska vozila preduzeća FAP Priboj. U serijskoj proizvodnji bilo je vozilo FAP 2026 formule 6x6 (koje je već bilo usvojeno za vuču oruđa NORA-A), ali je procenjeno da čak i uz odgovarajuće adaptacije (ugradnja dopunskog rama i drugo) ne bi moglo da zadovolji projektne zahteve za izabranu koncepciju rešenja i oslanjanja na tlo pri gađanju (opterećenje pri dejstvu dinamičke sile opaljenja metka; nedovoljan prostor na platformi vozila za smeštaj naoružanja, municije i posade). Pošto je u okviru razvoja višecevnog raketnog sistema ORKAN već bila lansirana izrada probne partije terenskog vozila FAP 2832 formule 8x8, odlučeno je da se jedno od vozila iz probne partije koristi i za razvoj oruđa NORA-B [6].

Pri formiranju koncepcije i idejnog rešenja budućeg samohodnog oruđa vodilo se računa o tome da je već osvojen sklop naoružanja konvertovanog topa (u kalibrima 152 mm i 155 mm) i da JNA poseduje veću količinu ruskih topova 130 mm M46, te da se korišćenjem sklopova naoružanja topa M46 bitno može smanjiti cena i skratiti vreme razvoja i buduće proizvodnje oruđa NORA-B.

Na osnovu usvojene koncepcije, projektantima je preostalo da konstruktivna rešenja glavnih podsistema oruđa (naoružanje, hidraulički, elektroenergetski i optoelektonski podsystem) realizuju integracijom sklopova PT oruđa 152 mm NORA-C3, pokretnih po pravcu sa šasijom terenskog vozila FAP 2832, ugradnjom novoprojektovanog sklopa zvonastog lafeta sa valjkastim ležajem velikog prečnika³⁰ u novoprojektovani dopunski ram vozila, za koji su vezani krakovi i stope za oslanjanje vozila pri gađanju.

Osnovne zahteve filozofije upotrebe oruđa (što brže reagovanje sistema od trenutka dobijanja podatka o cilju do otvaranja vatre, a da posada svoje funkcije vrši bez zamora i bezbedno), trebalo je obezbediti adekvatnim stepenom automatizacije funkcija opsluživanja oruđa. To je na FM oruđa NORA-B bilo izvedeno delimično, samo automatizacijom funkcija prevođenja krakova oruđa iz marševskog u borbeni položaj, poluautomatskim pokretanjem cevi po visini i pravcu i primenom poluautomatskog potiskivača projektila.

FM oruđa NORA-B bio je projektovan tako da se borbeni sektor dejstva nalazi u smeru suprotnom smeru vožnje. To je zahtevalo da naoružanje sa donjim lafetom bude na pokretnoj platformi, koja se posle gađanja zakreće za 180° i cev oruđa dovodi iznad kabine vozila pri prelasku u marševski položaj. Na nepokretnoj platformi, iza kabine vozača, bila je smeštena kabina za ostale članove posade, a do nje kontejner za smeštaj borbenog kompleta.

³⁰ Mehanička otpornost lafeta i izbor tipa i dimenzija ležaja izvršeno je na osnovu dinamičke sile trzanja pri opaljenju metka.

Izrada i ispitivanje PT oruđa NORA-B52 – značajne izmene, uz očuvanje koncepta TMG

Zahtev stranog kupca da mu se isporuči samohodno oruđe 155 mm na kamionskoj šasiji, sa balističkim rešenjem zasnovanim na cevi dužine 52 kalibra, mogao je da se realizuje *samo i jedino* ako se kao osnova koriste koncepcija rešenja realizovana na FM oruđa NORA – B i iskustva stečena u prethodnim istraživačko-razvojnim aktivnostima programa NORA.

Na osnovu ozbiljnih stručnih analiza doneti su zaključci o koncepciji rešenja i projektnim zahtevima na osnovu kojih treba da se pristupi izradi PT oruđa NORA-B52:

1. Umesto vozila FAP 2832 koristiti vozilo KAMAZ 63501, fomule 8x8. Izbor vozila izvršio je stručni tim na osnovu razmatranja dobijenih ponuda pet potencijalnih ponuđača, radi:

a) smanjenja ubrzanja i vibracija koje se prenose na nepokretnu i pokretnu platformu vozila, odnosno na poslužioce koji sede ili stoje na tim platformama, a koje su bile veće od dopuštenih,

b) smanjenja vremena prevođenja oruđa iz marševskog u borbeni položaj i obrnuto,

c) smanjenja broja poslužioaca, njihovog zamora i bezbednijeg rada pri prevođenju oruđa iz marševskog u borbeni položaj i obrnuto.

Posle izvršenih računarskih provera i dopunskih ispitivanja FM oruđa, odlučeno je da se poboljša sistem oslanjanja vozila pri gađanju. Umesto rešenja primenjenog na FM usvojeno je potpuno novo rešenje prednjeg para stopa i zadnjeg para krakova, da bi prevođenje iz marševskog u borbeni položaj i obratno bilo jednostavnije i uz skraćenje vremena prevođenja do tri puta. Umesto primenjenog krutog oslanjanja vozila pri opaljenju metka³¹ na ašove stopa i krakova usvojen je koncept poluelastičnog oslanjanja vozila na ašove stopa i krakova (ugradnjom gasnih prigušivača udara), ali istovremeno i na sve točkove vozila. Pri prevođenju stopa i krakova u borbeni položaj, pod dejstvom teleskopskih hidrauličnih cilindara vrši se samoukopavanje ašova, a pri tome se delimično rasterećuje sistem oslanjanja točkova (za približno polovinu elastičnog hoda opružnih gibnjeva i gasnih amortizera).

2. Novi sistem oslanjanja oruđa pri gađanju, uz konstrukcione izmene na pokretnoj i nepokretnoj platformi vozila i zvonu donjeg lafeta, omogućio je:

a) da se u osnovnom sektoru dejstva (suprotno smeru kretanja vozila) poveća polje dejstava po visini od - 5° do + 65° (na FM samo do + 51°), uz zadržavanje polja dejstva po pravcu levo i desno do 30° (ukupno 60°),

³¹ Na FM oruđa sistem oslanjanja vozila (uključujući i sve točkove) pri gađanju se potpuno podizao sa tla, te je oruđe bilo kruto oslonjeno na četiri oslone površine ašova stopa i krakova. Posledica takvog rešenja je bila da se ubrzanja i vibracije (pri dejstvu sile opaljenja metka) direktno prenose na platformu vozila, sklopove naoružanja i poslugu koja je stajala na platformi. Izmerene veličine vertikalnih ubrzanja na mestima nišanskih sprava i nišandžije bile su nekoliko puta veće od dopuštenih za dejstvo na stojeću figuru čoveka. To je bio razlog da se na PT oruđa uvede sistem poluelastičnog oslanjanja vozila i da poslužioци svoje funkcije obavljaju sedeći na sedišta sa elastičnim nosačima.

b) da se uvede i pomoćni sektor dejstva (u smeru kretanja vozila, gađanjem preko kabine vozača) i to polje dejstva po visini od + 25° do + 65°, a po pravcu levo i desno do 25° (ukupno 50°).

Navedenim izmenama sektora dejstva po visini oruđe klase top prevedeno je u klasu top-haubica, sa mogućnošću gađanja gomjom grupom uglova. Zahvaljujući toj izmeni pri izvršenju vatrenog udara (balistički izabranim putanjama projektila) iz jednog oruđa može da se ostvari jednovremeno dejstvo više projektila (3 do 4) na isti cilj, kako bi se:

- izbeglo stajanje poslužilaca oruđa na pokretnoj i nepokretnoj platformi oruđa, a time i prenošenje neprihvatljivo visokog nivoa ubrzanja na njih,
- izbegla potencijalna opasnost od nepropisnog rukovanja municijom pri stavljanju projektila na kašiku poluautomatskog punjača i ručnog stavljanja barutnog punjenja u ležište metka (barutnu komoru cevi),
- smanjio broj poslužilaca i olakšao njihov rad pri gađanju, povećala brzina gađanja i omogućilo brzo izvršenje kratkog vatrenog udara sa najmanje 3 do najviše 12 metaka.

Odlučeno je da se umesto poluautomatskog potiskivača projektila projektuje i na PT oruđa ugradi automatski (elektrohidraulički) punjač³² projektila i barutnih punjenja, koji se sastoji od sklopova smeštenih na pokretnu platformu, i to:

- (a) kasete sa 12 projektila (smeštena desno od ramena kulevke) i mehanička ruka koja uzima projektil iz kasete i donosi ga na liniju punjenja,
- (b) kasete sa 12 barutnih punjenja (smeštena levo od ramena kulevke) i mehanička ruka koja uzima punjenje iz kasete i donosi ga na liniju punjenja,
- (c) lančani potiskivač projektila i barutnih punjenja, postavljen iza zadnjaka cevi, na nepokretnu platformu.

Odlučeno je, takođe, da se komandir i nišandžija sa opremom koju opslužuju smeste:

- (d) komandir, sa sedištem i opremom (radio stanica, displej topa (GD), GPS prijemnik, antene za radio-stanicu i GPS) – u kabinu postavljenu ispred desne kasete punjača oruđa,
- (e) nišandžija, sa sedištem i opremom (električna palica za pokretanje cevi, komandni panel, nosač nišanskih sprava, daljinar, panorama i optički nišan) – u kabinu smeštenu ispred leve kasete punjača oruđa.

Odlučeno je, takođe, da na nepokretnoj platformi, iza kabine vozača, a prema kasetama punjača, budu postavljeni kontejneri za smeštaj preostalog dela borbenog kompleta (24 projektila i 24 barutnih punjenja).

3. Da bi se izbeglo korišćenje dizel motora vozila za pogon automatizovanih funkcija oruđa i time smanjio utrošak goriva, smanjila buka i mogućnost otkrivanja vatrenog položaja, a poboljšali (učinili ekološki boljim) uslovi rada posluge odlučeno je da se na nepokretnu platformu PT oruđa

³² Za izradu idejnog rešenja automatskog punjača bila je angažovana firma VESYS.

ugradi samostalna (pomoćna) pogonska grupa (dizel motor snage oko 20 kW i odgovarajuća hidraulična pumpa).³³

4. Uvođenje automatskog punjača zahtevalo je da se na PT oruđa izvrše poboljšanja sklopa cevi i zatvarača, i to:

a) da se umesto ručnog uvede mehanizovano otvaranje i zatvaranje tela zatvarača. U toku ispitivanja PT oruđa najpre je provereno hidrauličko rešenje (prema predlogu VTI), ali je konačno za PT i za serijsku upotrebu usvojen pouzdaniji mehanički uređaj kopimog tipa, bez spoljnog izvora energije,

b) da se razvije novi i pouzdan uređaj za automatsko uvođenje kapisli u ležište na telu zatvarača. U toku ispitivanja PT proverena su tri tipa uređaja, a konačno je usvojen za serijsku proizvodnju oruđa uređaj „karabinskog tipa“.³⁴

5. Na osnovu nedostataka koji su uočeni pri ispitivanju FM oruđa (neravnomerno pokretanje cevi po pravcu, velike amplitude i klačenje cevi po visini, sistem blokade cilindra elevacije, nedovoljna mehanička otpornost klipnjača cilindra elevacije) odlučeno je da se izvrše odgovarajuće rekonstrukcije na mehanizmima za pokretanje cevi oruđa po pravcu i po visini.

6. Uvođenjem automatskog punjača stvoreni su uslovi da se smanji broj poslužilaca na ukupno 5 (komandir + nišandžija + vozač + dva dodavača). Odlučeno je:

a) da za vreme gađanja i na maršu komandir i nišandžija sede na svojim sedištima u kabinama na pokretnoj platformi,

b) da vozač i dodavači na maršu budu smešteni u kabini vozača, a pri gađanju mogu da budu u kabini ili u zaklonu na tlu,

c) da pri prevođenju vozila iz marševskog u borbeni položaj jedan od dodavača silazi iz kabine vozila i preuzme funkcije opsluživanja komandnog pulta za prevođenje stopa i krakova iz marševskog u borbeni položaj (komandni pult je pri projektovanju postavljen na levu bočnu stranu dopuskog rama vozila, između kabine vozača i levog kraka),

d) da dodavači, kada se u toku gađanja potroši municija u kasetama punjača, vrše dopunu kasete, prenošenjem projektila i punjenja iz municijskih kontejnera u kasete.

7. Visok nivo automatizovanih funkcija oruđa zahtevao je (pre svega zbog programirane funkcije automatskog punjača) da se elektrooprema FM oruđa (relejnog tipa) zameni na PT oruđa PLC³⁵ tehnologijom za automatizaciju podsistema naoružanja, a da se hidraulični razvodnici zamene elektro-hidrauličnim servorazvodnicima. Uvođenje PLC kontrolera na oruđe zahtevalo je da se izvrši njegova integracija sa baterijskim SUKV. Usvojeno je da se komunikacija između PLC i SKUV (posredstvom GD) obavlja preko RS-485 interfejsa. U pojedinim režimima rada

³³ Tokom ispitivanja PT konstatovane su mane i nepouzdan rad pogonske grupe (loše rešenje hladnjaka razvijenog za primenjen traktorski dizel motor preduzeća IMR, vibracije interfejsa za vezu motora i hidrauličke pumpe), te se zbog kratkog vremena odustalo od korišćenja pomoćne pogonske grupe za PT i serijsku proizvodnju namenjenu izvozu.

³⁴ Prema autorskom rešenju firme VESYS.

³⁵ PLC – programabilni logički kontroler.

obavlja se komunikacija između PLC i GD, a u drugim režimima rada GD samo prosleđuje informacije dobijene od komandnog računara ka PLC-u i obrnuto od PLC prema komandnom računaru.

8. Da bi se skratilo ukupno vreme reakcije sistema oruđa (vreme od uočavanja cilja do opaljenja prvog metka) usvojeno je da se PT oruđa adaptira i modemizuje za vezu sa elementima baterijskog SKUV:

a) da komandir obavlja vezu sa komandnim mestom baterije preko GD, ugrađenog u komandni panel komandira,

b) da nišandžija upravlja svim automatizovanim funkcijama naoružanja i održava vezu sa komandirom i komandnim mestom baterije preko displeja PLC, ugrađenog u komandni panel nišandžije,

c) da određivanje stajne tačke oruđa vrši komandir pomoću GPS uređaja ugrađenog u GD, a komunikacija sa komandnim mestom da se održava pomoću radio modema ugrađenog u GD (antene radio modema i GPS-a su prilikom projektovanja ugrađene spolja na kabinu komandira),

d) da se izvrši automatizacija nišanske linije, ugradnjom odgovarajuće opreme (enkoderi za pravac i elevaciju, dvoosni inklinometar za merenja nagiba vozila, automatski tragač severa,³⁶ hardver i softver za prenošenje elektro signala na mehanizme za pokretanje cevi po visini i pravcu),

e) u slučaju korišćenja klasičnih nišanskih sprava da se usmeravanje oruđa vrši goniometrom sa optičkom spravom (ovaj uređaj je sastavni deo SUKV), a tako određen osnovni pravac zauzet na panorami treba da se materijalizuje pomoću kolimatora (postavljenog bočno levo u odnosu na smer gađanja),

f) da se komunikacija komandira sa nišandžijom i ostalim članovima posade održava interfonskom opremom.



Slika 8 – FM oruđa 152 mm NORA-B u položaju za marš. Iza kabine vozača (sa komandirom) je kabina za ostala četiri člana posade

Figure 8 – 152 mm NORA-B FM in traveling position. The crew cabin is behind the driver's cabin



Slika 9 – PT oruđa 155 mm NORA-B52 spreman za marš. Uočavaju se bitne izmene koncepcije i konstrukcije rešenja u odnosu na FM oruđa NORA-B

Figure 9 – 155 mm NORA-B52 PT in traveling position. The significant concept and design modification is visible in comparison with the NORA-B weapon

³⁶ Zbog ograničenih finansijskih sredstava tokom izrade PT oruđa odustalo se od automatizacije nišanske linije.



Slika 10 – FM oruđa 152 mm NORA-B na vatrenom položaju
Šasija vozila je potpuno podignuta sa tla – koncept krutog oslanjanja platforme oruđa sa naoružanjem

Figure 10 – 152 mm NORA-B FM in firing position

The vehicle chassis is lifted from the ground – rigid suspension system concept of the weapon platform



Slika 11 – PT oruđa 155 mm NORA-B52 na vatrenom položaju

Izmena koncepcije oslanjanja oruđa pri gađanju – usvojen je koncept poluelastičnog oslanjanja vozila

Figure 11 – 155 mm NORA-B52 PT in firing position

Concept of the vehicle suspension system during firing is changed – semi elastic suspension system is adopted

Tokom razvoja i ispitivanja PT oruđa 155 mm NORA-B52, koji su trajali skoro 18 meseci, uočavane su i otklanjane mane konstrukcionih rešenja na pojedinim sklopovima oruđa, ali i na elementima municije i SKUV. Analize usvojenih izmena konstrukcionih rešenja proveravane su teorijskim proračunima sklopova i elemenata oruđa, uključujući i strukturalnu analizu naponskog stanja poluelastično oslonjenog hodnog dela vozila i proveru stabilnosti oruđa pri dejstvu sile opaljenja metka (pri različitim uglovima gađanja po pravcu i elevaciji).

Pri analizi rezultata internih ispitivanja potrebno je obezbediti visok nivo objektivnog i samokritičnog ocenjivanja konstrukcionog rešenja sklopa ili uređaja. Taj kriterijum je tim pre morao da se primeni pri internom ispitivanju PT oruđa NORA-B52, jer se ono delom vremenski preklapalo sa aktivnostima već lansirane izrade prve serijske partije oruđa. U ovom tekstu navode se samo dva primera otklonjenih nedostataka uočenih pri ispitivanju PT oruđa, koji se (direktno ili posredno) odnose na funkciju, bezbednost i pouzdanost kompletnog sistema oruđa.

Prvi primer: izmene na zadnjaku i zatvaraču. Bitna koncepcijska razlika FM oruđa 152 mm NORA-B i PT oruđa 155 mm NORA-B52 je u tome što je FM oruđa NORA-B koristio dvodelni metak sa projektilom 152 mm i mesinganu čauru sa odgovarajućim barutnim punjenjem. Pri tome na zadnjaku topa 130 mm M46, koji je korišćen na FM oruđa NORA-B nije bilo praktično nikakvih dorada! Pošto oruđa kalibra 155 mm koriste dvodelni metak sa projektilom 155 mm i barutno punjenje bez čaure bilo je neophodno da se ugradi uređaj za zaptivanje barutnih gasova (tip ta-

kozvanog „samozaptivanja“ gasova između zaptivnog prstena na zadnjaku i zaptivne ploče na zatvaraču). Zbog potrebe da se smanji vreme reagovanja sistema oruđa bile su nametnute rekonstrukcije zadnjaka i zatvarača radi ugradnje mehanizma za poluautomatsko otvaranje zatvarača i uređaja za automatsko uvođenje i izbacivanje kapisle M82 posle njenog opaljenja. Uvođenjem navedenih uređaja posledično se javila potreba da se uvedu uređaji za blokiranje i deblokiranje mehanizma za opaljivanje metka,³⁷ kao i uređaj za daljinsko opaljivanje iz kabine nišandžije.

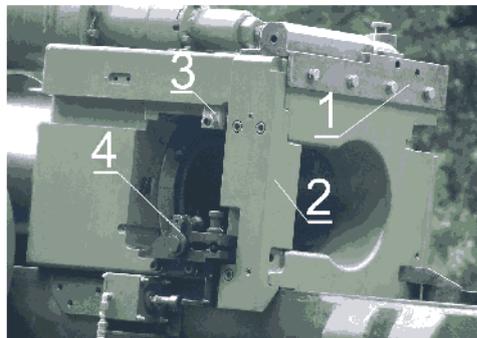
Implementacija svih navedenih uređaja smanjila je mehaničku otpornost zadnjaka u kritičnim preseccima, pa se kao radikalno rešenje namevalo izrada novog zadnjaka većih gabarita i povećane otpornosti, ali su vreme i ograničena finansijska sredstva nametnula primenu palijativnog rešenja – ugradnja bočnog ojačanja zadnjaka (radi formiranja zatvorenog rama umesto postojećeg horizontalnog „C“ profila), da bi se smanjile elastične deformacije pri opaljenju metka. Ipak, primenjeno rešenje ne otklanja pojavu eventualnih trajnih mestimičnih deformacija, odnosno pojavu nagnječenja zadnjeg dela zadnjaka na površini kontaktnog naleganja tela zatvarača (ova pojava je moguća pri čestom gađanju sa punim ili tormančnim barutnim punjenjem, što za posledicu ima da specifični kontaktni pritisak bude veći od dopuštenog). Svakako, trajno rešenje će biti projektovanje novog zadnjaka, nove geometrije i potrebne otpornosti.

Slika 12 – Pogled na zadnjak sa leve bočne strane.

- 1 – kućište opruge zatvarača;
- 2 – ojačanje zadnjaka;
- 3 – graničnik zatvarača;
- 4 – mehanizam za opaljenje

Figure 12 – Breech ring, left lateral view

- 1 – breech block spring housing;
- 2 – breech ring strengthening;
- 3 – breech block stopping wedge;
- 4 – firing mechanism



Drugi primer. osvajanje odgovarajućih tehnoloških rešenja elemenata metka. Pri razvoju bilo kog mehaničkog sistema potrebno je obezbediti prihvatljivi (često kompromisni) optimum tokom razmatranja rešenja elemenata podsistema koji su funkcionalno povezani. U konkretnom slučaju, tokom intemih ispitivanja PT oruđa trebalo je rešavati uticaj primenjenih rešenja laborisanog barutnog punjenja, kapisle M82 i pripaljivača generatora gasa na balističke karakteristike sistema oruđa, mehaničku otpornost delova oruđa i pouzdanost funkcije pojedinih uređaja i kompletnog sistema oruđa.

³⁷ Da bi se sprečilo neželjeno opaljenje metka imperativno se zahteva ugradnja navedenih blokada, tako da nišandžija vrši opaljenje tek kada dobije odobrenje od komandira odeljenja.

Monoblok barutno punjenje, zona 10. Na opitima koji su vršeni 1990/91. godine u saradnji VTI – MB Lučani – SRC Brisel osvojena su monoblok barutna punjenja zona 10, zona 9 i zona 8 za korišćenje municije 155 mm tipa ERFB i ERFB-BB iz oruđa 155 mm čija je dužina cevi 45 kalibara. Da bi se obezbedilo pravilno i potpuno sagorevanje monoblok punjenja bio je primenjen postupak „upenjavanja“ (zalivanja poliuretanskom penom) slobodno nasutih 19-kanalnih granula (od jednobaznog NCD baruta) u sagorljivi plašt izrađen po tehnologiji osvojenoj za delimično sagorljivu čauru tenkovske municije 125 mm. Primenjena sagorljiva pena popunjavala je kovolumen punjenja i obezbeđivala krut i čvrst oblik monoblok punjenju pri njegovom rukovanju (u transportu i pri stavljanju u ležište metka). Nažalost, tokom ponovnog osvajanja monoblok punjenja zona 10 (2004. i 2005. godine) radi ispitivanja PT oruđa NORA-B52 i laboracije barutnih punjenja za serijske isporuke kupcu, zbog neodgovarajućeg kvaliteta repromaterijala za „penu“, prilikom opaljenja metka registrovana je pojava čađi (zbog nepotpunog sagorevanja pene), te je odlučeno da se odustane od postupka „upenjavanja“ barutnog punjenja. Posledice te neadekvatne odluke su se kasnije manifestovale pri prijemu prve i druge partije oruđa, u vidu povremene pojave većeg od dopuštenog pritiska pri gađanju sa barutnim punjenjem zona 10 (do 3700 umesto do ≤ 3300 bara), odnosno pri gađanju sa tormentačnim punjenjem (do 4100 umesto do ≤ 3700 bara). Analizom je ocenjeno da je povećanje pritiska verovatno bilo uzrokovano pojavom udamih talasa u barutnoj komori, generisanih nekontrolisanim kretanjem slobodno nasutih granula baruta u sagorljivi plašt punjenja. Pored toga, treba reći da je pri dejstvu sile potiskivača automatskog punjača (barutno punjenje se potiskuje u ležište metka brzinom od oko 1,5 m/s) moguća pojava početnog rasturanja granula u plaštu i oštećenje nedovoljno dobrog fiksiranja pripale i propale u plaštu). Kada je promenjen postupak laboracije monoblok punjenja (granule se stavljaju u platnenu kesu torusnog oblika, koja se čvrsto pritegna zatim stavljanja u sagorljiv plašt; smanjene su količine i način fiksiranja donje i gornje pripale i propale) dobijeno je regularno sagorevanje baruta. Svakako, konačno rešenje prihvatljivo za sistem oruđa 155 mm treba da bude osvajanje bi-modularnih barutnih punjenja, koja pokrivaju sve domete sa 6 modula.

Kapisa M82. Primena kapisle M82 u kompletiranju metka sa projektilom 155 mm tipa ERFB i barutnim punjenjem zona 10 radi upotrebe iz oruđa NORA-B52 je poučan primer kako nedovoljno poznavanje uslova korišćenja municije može da uzrokuje ozbiljne tehničke probleme u sistemu oruđe – municija. Naime, proizvođač municije je u realizaciju projekta ušao sa pretpostavkom da je već osvojio tehnologiju izrade kapisle M82. Nažalost, tek kasnije (pri ispitivanju prve partije oruđa NORA-B52, sredinom 2006) je utvrđeno da mehanička otpornost kapisle M82 iz tekuće proizvodnje ne zadovoljava pri gađanju sa barutnim punjenjima zona 10, a da može da zadovolji samo pri gađanju sa punjenjima zona 7 i zona 8. Već tokom ispitivanja PT oruđa i prve serije municije (krajem 2005) ukazano je proizvođaču da tehnolo-

logija izrade košuljice kapisle (obrada rezanjem na strugu, umesto postupkom izvlačenja po ugledu na izradu čaure za municiju 7,62 mm) ne može da obezbedi zahtevanu mehaničku otpornost pri pritiscima barutnih gasova za zonu 10. Međutim, u to vreme mehanizam za automatsko punjenje kapisli u telo zatvarača nije imao korektnu i pouzdanu funkciju, pa je proizvođač municije uzroke svih nedostataka koji su se pojavljivali pri opaljivanju kapisle (deformacije, progorevanje i drugo) nekritički i subjektivno „pripisivao“ funkciji mehanizma za automatsko punjenje kapisli. Zabluda proizvođača je naime bila zasnovana na iskustvu o dobrom ponašanju kapisle M82, koju je jedan od kupaca koristio za pripaljivanje barutnog punjenja M4A2 (zona 7) pri ispaljivanju projektila 155 mm M107 iz samohodne haubice 155 mm M109.³⁸

Tako je, konačno, dokazano da proizvođač treba da pristupi osvajanju i uvođenju nove tehnologije za izradu košuljice kapisle (postupkom dubokog izvlačenja). U daljem toku razvoja proizvođač je najpre osvojio kapislu M82 verzije P1 (ojačanje košuljice kapisle unutrašnjim čeličnim plaštom sa odvojivom pokrivicom na vrhu kapisle). Međutim, pri ispitivanju probnih komada kapisli M82 verzije P1 konstatovano je da pri opaljenju može da se pojavi slučaj odvajanja pokrivke od tela plašta kapisle (pritisak sagorevanja crnog baruta u kapisli potiskuje i odvaja pokrivicu od košuljice), što je uzrokovalo deformisanje i zaglavljivanje pokrivke u ležištu kapisle, odnosno javlja se zastoj koji onemogućavaju nastavak gađanja. Posle toga je u narednom periodu proizvođač osvojio kapisle M62, verzija R, sa mesinganim umesto čeličnog unutrašnjeg plašta, a vrh kapisle je oblikovan kao „ruža“, odnosno odstranjena je pokrivka kao poseban deo konstrukcije kapisle. Ispitivanjem je utvrđeno da i dalje treba poboljšati rešenje kapisle M82R (otkloniti plastičnu deformaciju iznad venca na dnu kapisle), sa ciljem da mogu da se koriste bez deformacija pri pritisku barutnih gasova nivoa do 4000 bara.

Ocena serijske verzije oruđa NORA-B52-K0

Prelazak na serijsku proizvodnju oruđa NORA-B52 sproveden je po postupku koji je bio nametnut obavezama realizacije izvoznog ugovora. Ipak, tokom serijske proizvodnje realizovane u preduzeću LOLA-SI-STEM, odabranom za finalizatora, sukcesivnom doradom KD, formiranjem tehnološke dokumentacije, izradom i nabavkom neophodne opreme i edukacijom proizvodnog kadra vidljivo je unapređivan industrijski nivo proizvoda. Verzija rešenja oruđa usvojenog za serijsku izradu dobila je

³⁸ Pri gađanju iz oruđa 155 mm M109 (kratka cev oznake M126A1, zapremina barutne komore 13 litara) pritisak sa barutnim punjenjem M4A2 (zona 7) iznosi 2495 bara. Kada se gađa iz modernizovane haubice M109A1 (dugačka cev oznake M185, zapremina barutne komore 18,84 litara) pritisak sa barutnim punjenjem zona 7 je 1903 bara, a sa barutnim punjenjem M119A1 (zona 8) pritisak je 2060 bara.

oznaku K0.³⁹ Za detaljniji opis konstrukcionih rešenja pojedinih sklopova zainteresovan čitalac može da konsultuje literaturu pod [7].

Konačno, pri analizi koncepcije rešenja oruđa NORA-B52 može se reći da su oprečni zahtevi projektanata i investitora kompromisno rešeni zajedničkim stavom da oruđe po kriterijumu cena–efikasnost mora da bude višestruko povoljnije u poređenju sa svim sada u svetu realizovanim oruđima iste klase rešenja. To je postignuto korišćenjem šasije terenskog vozila formule 8x8, sa dopunskim ramom, nepokretnom i pokretnom platformom na kojima su, uz prikladnu arhitekturu, integrisani sklopovi naoružanja, automatskog punjača sa kasetama za projektele i barutna punjenja, kontejnera za preostali deo municijskog kompleta i kabine za smeštaj svih članova posade (pri gađanju i u toku vožnje). Dobra strana ovakvog rešenja je, sa borbenog aspekta, što je ostvaren osnovni sektor dejstva u smeru suprotno smeru vožnje, a pomoćni u smeru vožnje preko kabine vozača (mogućnost dejstva u oba smera je bitna prednost u odnosu na konkurentna rešenja TMG koncepcije). Sa logističkog aspekta dobra strana usvojenog rešenja je što su na jednom vozilu ugrađeni naoružanje, posada i borbeni komplet municije, te se tako znatno smanjuje broj logističkih vozila (za prevoz municije i druge opreme) u borbenoj jedinici nivoa divizionu. Odabranim rešenjem svesno je usvojen koncept po masi težeg (u odnosu na neke konkurente – francuski CEAZAR, izraelski ATMOS), ali znatno jeftinijeg oruđa, realizovanog upotrebom legiranih konstrukcionih čelika, budući da naša sirovinska, tehnološka i proizvodna baza ne može da prati trend razvoja i proizvodnje lakih oruđa zasnovanih na primeni skupih, visokokvalitetnih legura od lakih materijala. U odnosu na konkurentna rešenja sistem NORA-B52, po kriterijumu dejstva projektila na cilju ima istu efikasnost, a po kriterijumu tučene površine u rejonima dejstva je superiorniji.

Na prijemnim ispitivanjima gađanjem (svih oruđa NORA-B52-K0 serijske proizvodnje) u Srbiji, balističkim opitima na poligonu Crni Rt u Crnoj Gori i završnim ispitivanjima u zemlji kupca, prikupljeni su vrlo korisni podaci o ponašanju, funkciji i pouzdanosti sklopova oruđa, elemenata municije i sistema za upravljanje vatrom. Projektni tim je, na osnovu analiza rezultata ispitivanja, sačinio izveštaj u kojem je predložio investitoru da se radi poboljšanja pouzdanosti funkcije, jednostavnijeg održavanja i poboljšanja tehnologije izrade i montaže oruđa izvrše odgovarajuće modifikacije KD sklopova oruđa verzije K0. Rezime dorada svodi se na sledeće:

A) Izmene koje se odnose na celo oruđe:

– veća primena odlivaka i otkovaka (čeličnih i/ili aluminijumskih); na primer: razna kućišta, nosači, poluge, ručice, kašike donosača, nosači projektila i barutnih punjenja u kasetama i kontejnerima i drugo;

– zbog primenjene PLC tehnologije za automatizaciju pojedinih funkcija oruđa koristi se više tipova mikroprekidača; potrebno je izvršiti revizi-

³⁹ K0 – K znak da se koristi vozilo KAMAZ; 0 znak za klasičan sistem orijentacije oruđa u odnosu na sever.

ju mikroprekidača radi smanjenja broja tipova i povećanja pouzdanosti funkcije (posebno pri radu u vremenski različitim uslovima eksploatacije);

– zadržavajući koncept otvorene ugradnje naoružanja redizajnirati kabinu standardnog vozila i kabine komandira i nišandžije, sa ciljem da se dobiju robustniji zaobljeni oblici (na sastavima limova i/ili kutija) manje osetljivi na dejstvo udarnog talasa i sa manjim rizikom da se poslužiocci povrede na spojevima limova i kutija (razmotriti mogućnost da se navedene kabine izrađuju od staklo-plastike, uz delimično ojačanje limovima).

B) Izmene koje se odnose na pojedine sklopove:

– projektovati novi zadnjak većih dimenzija i mase (sa zatvorenim zadnjim ramom) da bi se izbegle elastične deformacije zadnjeg (sa leve strane otvorenog) rama zadnjaka pri opaljenju; navedena izmena bi uzrokovala odgovarajuće dorade zatvarača i bila bi praćena manjim doradama u mehanizmima za automatsko otvaranje i zatvaranje zatvarača i mehanizmu za automatsko punjenje kapisli i opaljivanje (sve u cilju povećanja pouzdanosti);

– izvršiti potrebno redizajniranje nedeljivih spojeva pokretne i nepokretne platforme, interfejsa za kretanje pokretne po nepokretnoj platformi i elementa/sklopova automatskog punjača, radi: (a) obezbeđenja veće krutosti pokretne platforme i smanjenja njene elastične deformacije pri statičkom opterećenju masom ugrađenih sklopova naoružanja i dinamičkom opterećenju pri opaljenju metka; (b) poboljšanja uslova i tačnosti pokretanja oruđa po pravcu; (c) poboljšanja tehnologije montaže i veće tačnosti pozicioniranja sklopova automatskog punjača na pokretnu platformu oruđa.

Naredna faza razvoja – verzija potpuno automatizovanog oruđa

U razvoju samohodne verzije artiljerijskog sistema NORA (počev od funkcionalnog modela oruđa NORA-B, pa do savremenog rešenja NORA-B52) bio je primenjen postupak postepenog dostizanja krajnje željenih borbenih svojstava, uz očuvanje osnovne koncepcije rešenja, uvođenje hardvera za automatizaciju novih funkcija ili uz modifikacije hardvera već automatizovanih funkcija radi poboljšanja ostvarenih performansi. Imajući u vidu realizovano rešenje verzije NORA-B52-K0, kao i svetske tendencije u domenu razvoja samohodnih artiljerijskih sistema, odnos cene i efikasnosti i aktuelne tehnološke i ekonomske mogućnosti domaće industrije, nameće se potreba da poslednja faza razvoja ovog samohodnog oruđa treba da bude verzija NORA-B52-K1 sa potpunom automatizacijom svih funkcija opsluživanja oruđa, a sa ciljem da se obezbedi ispunjenje sledećih zahteva i/ili operativnih zadataka:

– svako oruđe treba da ima mogućnost samostalne navigacije, orijentacije i sračunavanja elemenata gađanja na ciljeve koje mu je dodelio odabrani osmatrač (sa bilo kog osmatračkog mesta baterije ili divizion);

– skratiti ukupno vreme reagovanja sistema oruđa (otvaranje vatre po dolasku na vatreni položaj bez izlaženja članova posluge iz kabina);

- povećati brzinu gađanja pri izvršenju vatrenog udara sa 6 do 12 metaka;
- obezbediti režim istovremenog pada 4 ili više projektila na cilj;
- povećati pouzdanost rada glavnih automatizovanih funkcija oruđa;
- smanjiti broj članova posluge oruđa (sa 5 na 4); stoga razmotriti opravdanost smeštaja svih članova posade u produženu kabinu vozila, čime se pruža mogućnost redizajniranja automatskog punjača (povećanje broja projektila i barutnih punjenja u kasetama punjača, odnosno uklanjanje sklopa kontejnera za ostatak municijskog borbenog kompleta);
- rekonstrukcijom platforme koja nosi podsistem naoružanja i svih sklopova koji se na nju ugrađuju treba da se zadovolje zahtevi dozvoljene nosivosti šasije i osovinskog opterećenja pogonskih mostova standardnog vojnog terenskog vozila 8x8;
- interfonsku vezu komandira sa svim članovima posade integrisati sa komunikacionim podsistemom sistema za upravljanje vatrom.



Slika 13 – Ispitivanje jednog od serijskih oruđa 155 mm NORA-B52 pre isporuke kupcu – februara 2007. godine.

Opit gađanja na maksimalni domet sa projektilom ERFB-BB na poligonu Crni Rt u Crnoj Gori (vidljiv je plamen gasova na ustima cevi i trag sagorevanja goriva generatora gasa)

Figure 13 – Testing of one 155 mm NORA-B52 from serial production before delivery to buyer – February 2007.

Firing at the max range with the projectile ERFB-BB at the Crni Rt test ground in Montenegro (powder gas flame is visible at the barrel muzzle as well as the trace of BB unit combustion)

U skladu sa napred definisanom koncepcijom rešenja u postupku razvoja oruđa verzije K1 treba projektovati i realizovati dva nova sistema – automatizovani navigacioni sistem (ANS) i automatizovani sistem za upravljanje vatrom na oruđu, prema sledećim projektnim zahtevima:

Automatizovani navigacioni sistem (ANS)

Automatizovani navigacioni sistem namenjen je za brzo posedanje vatrenog položaja i tačno usmeravanje oruđa u komandovani azimut osnovnog pravca (AzOP) i treba da obezbedi:

- određivanje položaja (koordinata) stajne tačke oruđa i pravca geografskog severa,
- određivanje azimuta osnovnog pravca vozila $AzOP_v$ i dovođenje uzdužne ose vozila u $AzOP_v$,

- dovođenje oruđa na vatrenom položaju u AzOP i pamćenje vrednosti odstupanja zauzetog AzOP u odnosu na AzOP_v,
- posle svakog opaljenja treba tačno da se odredi nova vrednost AzOP (zbog pomeranja uzdužne ose vozila nakon opaljenja), izvrši korekcija i oruđe ponovo dovede u AzOP,
- komunikaciju sa PLC kontrolerom oruđa i GD preko standardnog serijskog interfejsa,
- prikazivanje određenih i izračunatih podataka na komandnim tablama komandira, vozača i nišandžije,
- neprekidno određivanje koordinate vozila u pokretu i prikaz na digitalnoj karti (navigacija po karti ili koordinatama) i pravca geografskog severa u toku marša,
- tačnost određivanja pozicije da bude < 12 m, a usmeravanja oruđa da bude < 0-01.

Ugradnju svih modula sistema ANS na određeno mesto oruđa NO-RA-B52-K1 i funkciju u svim uslovima dejstva oruđa treba rešiti u skladu sa tehničkim i eksploatacionim zahtevima za baterijski SUKV.

Automatizovani sistem za upravljanje vatrom na oruđu (ASUVO)

Automatizovani sistem za upravljanje vatrom na oruđu treba da ima mogućnost izbora načina gađanja cilja:

- po procedurama koje su realizovane na oruđu varijante K0 i
- po procedurama potpuno automatskog izvršenja komandi za otvaranje vatre, tj. da se automatski realizuju procesi (bez učešća članova posade) punjenja oruđa, usmeravanja cevi na cilj i opaljenja (u skladu sa generisanom komandom za otvaranje vatre).

Poželjno je, takođe, da se softversko rešenje SKUV obogati digitalizovanim ravanskim i trodimenzionim prikazivanjem taktičke situacije, kao i vizuelizacijom teatra operacija u realnom vremenu, i tako prevede na viši nivo – u sistem za upravljanje artiljerijskim borbenim dejstvima.

Automatizovani sistem za upravljanje vatrom na oruđu treba da obezbedi:

- automatski prijem elemenata gađanja od AFCCS (u obliku kako se daju za oruđe NORA-B52-K0) i prikazivanje podataka na komandnim tablama komandira (integrisana sa GD) i nišandžije;
- automatski prijem komandi sa AFCCS i poruka za vrstu paljbe, kao i prikazivanje komandi i poruka na komandnim tablama komandira i nišandžije;
- kontinualno merenje uglova pravca i elevacije cevi (na primer: pomoću optičkih apsolutnih enkodera uz mogućnost generisanja novih referentnih „nulnih“ položaja za merenje uglova pomoću enkodera pri zauzimanju AzOP;
- korekciju orijentacije oruđa (usmerenja u AzOP zbog pomeranja oruđa posle opaljenja), automatski pomoću automatizovanog navigacionog sistema ili ručno (vrši nišandžija);

- korekcije orijentacije, merenje bočnog nagiba ramena kulevke i uzdužnog nagiba pokretne platforme vozila (na primer pomoću dvoosnog inklinometra, ...);
- automatsko zauzimanje elemenata gađanja, izvršenje punjenja oruđa (sa odabranim tipom projektila, upaljača i barutnog punjenja) i usmeravanje ose cevi na cilj (prema izračunatim / korigovanim vrednostima za elevaciju i pravac i zavisno od vrste paljbe);
- pripremanje, pamćenje i slanje (na zahtev sa komandnog mesta) podataka o realizaciji gađanja, stanju oruđa (ispravnost, granice dejstva,...) i stanju municije u kasetama i kontejnerima (vrsta, količina, temperatura baruta,...);
- prenos poruka i komandi između članova posade interfonskim putem;
- izbor načina rada (na zahtev komandira) pri punjenju oruđa i zauzimanju elementa gađanja (automatski ili poluautomatski kako je to već realizovano u verziji K0) i
- ravansku i prostomu vizualizaciju dejstava na nivou artiljerijskog divizionara i kreiranje sistema za upravljanje artiljerijskim dejstvima otvorenog za uključivanje u više nivoa planiranog ili postojećeg C4I sistema kod korisnika.

Moguće idejno rešenje za ANS

Optimalno idejno rešenje za realizaciju ANS na oruđu NORA-B52-K1 bilo bi da se ugrade modul GPS i modul inercionog navigacionog sistema (uz mogućnost izbora kombinovanog načina rada). Takva kombinacija rešenja je relativno skupa i zahteva komplikovanu i složenu ugradnju, pa je moguće jeftinije idejno rešenje (samo na bazi GPS). Više o pozicioniranju, orijentaciji i navigaciji artiljerijskih oruđa na bazi GPS čitalac se upućuje na literaturu pod [8] i [9].

Osnovne karakteristike mogućeg rešenja ANS treba da budu:

- određivanje stajne tačke (trenutni položaj), određivanje geografskog severa, navigacija (u pokretu), orijentacija oruđa u AzOP i prikaz parametara kretanja ili orijentacija na digitalnoj karti ili u obliku mesta koordinata na mrežnoj skici;
- mogućnost ažuriranja položaja stajne tačke;
- tačnost određivanja pozicije: 15 m ili 2,5 m (za slučaj dGPS);
- tačnost određivanja azimuta: < 0-018 za razmak između antena od 2 m;
- temperatura primene: -30^oC do +60^oC;
- ostali uslovi primene po MIL-STD 810E i MIL-STD 461-462.

Moguće idejno rešenje za ASUVO

U skladu sa postavljenim zahtevima za ugradnju ASUVO na oruđe NORA-B52-K1 idejno rešenje mora da se dopuni i uskladi sa novim modulima/sistemima. Za verziju K1 treba redizajnirati postojeće hardversko i softversko rešenje komandne table komandira i GD verzije oruđa K0.

Modul ANS treba ugraditi na pogodno i pregledno mesto u kabini vozača, polazeći od pretpostavke da će u verziji oruđa K1 komandir biti na mestu suvozača u kabini vozila.

Osnovne karakteristike mogućeg rešenja ASUVO treba da budu:

- digitalna ravanska i prostorna vizualizacija borbenih dejstava na nivou baterije i artiljerijskog divizionara;
- automatski prijem elemenata gađanja sa GD;
- automatski prijem (generisanje) komandi i signala;
- mogućnost izbora načina rada (automatizovano ili ručno);
- mogućnost merenja uglova pravca i elevacije sa tačnošću do 0-002 u celom sektoru dejstva i zauzimanja pravca i elevacije sa tačnošću 0-005 do 0-01;
- mogućnost merenja uglova nagiba sa tačnošću od 0-005; mogućnost generisanja referentnih „0“ za enkodere i prikaz trenutne izmerene vrednosti i zadane vrednosti;
- tačnost orijentacije i zauzimanja AzOP sa greškom do 0-015;
- automatsko generisanje signala gotovosti i podataka o realizaciji gađanja;
- temperatura primene: -30° C do $+60^{\circ}$ C;
- ostali uslovi primene po MIL-STD 810E i MIL-STD 461-462;
- da izdrži udare i ubrzanja pri gađanju (na mestu ugradnje) sa svim tipovima municije iz borbenog kompleta;
- ostali zahtevi isti kao za realizovano rešenje verzije NORA-B52-K0.

Dalji razvoj sistema oruđa NORA-B52

Dalji razvoj samohodnih oruđa vatrene podrške zasigurno će slediti tendencije: povećanja dometa, povećanja preciznosti i tačnosti sistema municija-oruđe, ostvarivanja veće pokretljivosti oruđa na terenu i višeg nivoa taktičke pokretljivosti, skraćivanja vremena reagovanja, smanjenja broja članova posade, uvođenja u upotrebu novih tipova municije posebne namene sa ciljem da se oruđa podrške osposobe i za duge namene (neutralisanje oklopljenih ciljeva na velikim daljinama, gađanje pokretnih ciljeva). Navedeni trendovi će se ostvariti većim stepenom robotizacije i automatizacije funkcija sklopova oruđa, grafičkim prikazom borbene situacije na svakom oruđu, uvođenjem u upotrebu novih osmatračkih i drugih senzora u sistem za upravljanje vatrom (radar za merenje početne brzine projektila, bespilotna letelica i drugo), primenom novih materijala i tehnologija za izradu vitalnih delova oruđa, primenom novih senzora i tehnologija u projektovanju i proizvodnji pametne municije.

Koncept otvorene ugradnje naoružanja je danas uglavnom prihvaćen od većeg broja vodećih vojnotehnoških zemalja sveta (Francuska, Švedska, Izrael, JAR i druge), te je sa taktičkog aspekta takav koncept prihvatljiv i za izvoz i za VS. Koncept otvorene ugradnje je tim pre prihvatljiv za oruđa

velikog dometa, koja po potencijalnim ciljevima djeluje sa pripremljenih položaja udaljenih za oko 2/3 najvećeg dometa od prednjeg položaja protivničkih trupa i ciljeva. Sve navedeno dokazuje da zahtev oklopljavanja naoružanja, posade i municije (koji se nalaze na šasiji vozila) ili zahtev kupolne ugradnje naoružanja nije taktički opravdan, a istovremeno bitno povećava cenu proizvoda i narušava druge taktičke performanse samohodnog oruđa (brzina na maršu, prohodnost van puteva, mogućnost vazdušnog transporta, otežano opsluživanje oruđa u borbi, složeno i skupo održavanje).

Ipak, „Jugoimport-SDPR“ je tokom 2009. godine započeo razvoj i izradu prototipa samohodnog oruđa NORA-B52 verzije K1,⁴⁰ sa rešenjem koje radikalno napušta koncept otvorene ugradnje naoružanja već primenjen na verziji K0. Na osnovu podataka objavljenih o tom rešenju [10] autori članka tu verziju oruđa promovisu kao oruđe „NORA treće generacije“ pri čemu čine bitne stručne i činjenične greške. Naime, u svetu (pa i kod nas), uobičajeno je da se artiljerijska oruđa generacijski klasiraju prema balističkom sistemu u kome su projektovana. Stoga, samohodna top-haubica 152 mm NORA-B je već pripadala oruđima treće generacije (balistički sistem baziran na korišćenju cevi dužine 45 kalibara), a samohodna top-haubica 155 mm NORA-B52-K0 pripada oruđima četvrte generacije (balistički sistem baziran na korišćenju cevi dužine 52 kalibara). Sva oruđa koja pripadaju familiji NORA-B52 mogu se dalje smatrati samo verzijama oruđa četvrte generacije. Shodno tome, prototip oruđa NORA-B52-K1 koga razvija Jugoimport-SDPR može biti samo nova verzija oruđa familije NORA-B52, *pod uslovom da je zadržana osnovna koncepcija rešenja – otvorena ugradnja naoružanja na platformu terenskog vozila (koncept TMG)*.

U članku pod [10] navodi se da je oruđe NORA-B52-K1 realizovano sa potpunom balističkom zaštitom⁴¹ sklopova kabine vozača, kupole naoružanja, municijskog kontejnera i rezervoara od dejstva streljačkog oružja i parčadnog dejstva artiljerijskih projektila (prema STANAG 4569, nivo II prednja i zadnja strana i nivo I bočne strane) i od dejstva protivoklopnih mina (prema STANAG 4569, nivo 2A i 2B). Ukoliko je pozivanje na navedene STANAG norme tačno, za oklopljavanje kabine i kupole bi trebalo da se koriste pancime ploče debljine 6 mm i 8 mm da bi štatile od dejstva streljačke municije 7,62 x 51 NATO i 7,72 mm x 39 API BZ ruske proizvodnje sa rastojanja od 30 metara. Međutim, sa tom debljinom primenjenih pancimih ploča nije obezbeđena zaštita od dejstva parčadi artiljerijske municije, što je potencijalno češći slučaj od dejstva streljačkim oružjem! Nije jasno koji su delovi vozila zaštićeni i na koji način od dejstva protivoklopnih mina (sa masom eksploziva ≥ 6 kg) što odgovara navedenom nivou zaštite?

⁴⁰ Saradnja autora sa „Jugoimport-SDPR“, u svojstvu rukovodioca projekta NORA, je prekinuta na kraju 2008. godine, posle uspešnog završetka realizacije izvoza sistema oruđa NORA-B52-K0. Koncept koga „Jugoimport-SDPR“ nudi u verziji koju je nazvao NORA-B52-K1 bitno odstupa od koncepcije po kojoj je prepoznatljiv brend oruđa NORA-B52 (koga i dalje koristi bez valjanog tehničkog opravdanja!).

⁴¹ Realizovano rešenje neodoljivo podseća na „dvostrbu kamilu“, jer se do njega došlo samo spoljnim oklopljavanjem sklopova oruđa verzije K0.

Ukoliko je navedena zaštita sprovedena (a čak i da jeste ona nije dovoljna) masa oruđa je povećana za više od 6000 kg, te se neminovno nameće potreba projektovanja specijalne šasije vozila, jer nijedno vojno terensko vozilo 8x8 nije projektovano za tako velika opterećenja prednjih i zadnjih mostova vozila. Povećana masa vozila bitno će smanjiti prohodnost vozila pri kretanju na terenu (konstatacija da je povećana mobilnost oruđa ne može da bude tačna!), a biće smanjena i brzina kretanja na putevima (i podatak o maksimalnoj brzini od 90 km/h treba uzeti sa rezervom). O radnom veku i pouzdanosti nesumnjivo preopterećene kamionske šasije ne treba ni govoriti. Očigledno je, dakle, da je insistiranje na oklopnoj zaštiti u koliziji sa potrebom ponderisane optimizacije svih uticajnih borbenih karakteristika sistema oruđa, a potpuno neprihvatljiva sa stanovišta cena–efikasnost. Uostalom, teško je naći relevantno taktičko opravdanje za koncepciju i filozofiju borbene upotrebe artiljerijskog sistema čiji je dolet veći od 40 km u uslovima urbanog ratovanja ili bilo koje druge situacije u kojoj će biti izložen dejstvu streljačke municije.⁴² Posebno je problematična zaštita od dejstva protivtenkovskih mina klasične kamionske šasije koja nema nikakvu podnu oblogu niti nezavisno oslanjanje točkova!



Slika 14 – Samohodno oruđe NORA-B52-verzija K1 u marševskom položaju
Lažna dilema za projektante i korisnike – otvorena ili kupolna ugradnja?
Dve kupole na jednoj šasiji – zašto?

Figure 14 – NORA-B52-K1 SP weapon in traveling position.
False dilemma for designers and users – open mounted armament or turret-mounted armament? Two turrets mounted on one chassis – Why?



Slika 15 – Samohodno oruđe NORA-B52-verzija K1 u borbenom položaju
Oklopljenost sklopa naoružanja je suvišna.
Zadržati oblik prednjeg dela oruđa za smeštaj posade

Figure 15 – NORA-B52-K1 SP weapon in firing position. Weapon assembly armour is not necessary. Keep the shape of the vehicle front part for crew accommodation

⁴² Francuski sistem 155/52 mm CAESAR, mase manje od 20 000 kg, nema apsolutno nikakvu zaštitu posluge (koja pri gađanju stoji na tlu), a ipak je uveden u operativnu upotrebu u više zemalja i njegove performanse koriste se kao osnova za definisanje taktičko-tehničkih zahteva za nabavke kod novih, potencijalnih kupaca.

Ako potencijalni korisnik (VS ili neki strani partner) izričito traži kupno rešenje samohodnog oruđa podrške na točkaškom vozilu treba usvojiti koncept rešenja slovačkog oruđa 155 mm ZUZANA na specijalnoj (a ne standardnoj) šasiji vozila 8x8. Pri tome, da bi automatski punjač mogao da se koristi pri svim uglovima elevacije, treba napustiti koncept korišćenja sklopova topa 130 mm M46, odnosno umesto koritaste kolevke treba projektovati cilindričnu kolevku obujmnog tipa (po ugledu na kolevku oruđa NORA-A), jer se tako skraćuje rastojanje od donosača projektila i barutnog punjenja do ramena kolevke, što je uslov za kompaktno rešenje punjača i nižu visinu vatrene linije.

Zaključak

Program, koncept i obim modernizacija u nastavku razvoja sistema oruđa NORA-B52 treba usaglasiti sa potrebama nove organizacije Vojske Srbije (i potencijalnih stranih korisnika), kao i sa ograničenim finansijskim resursima u dugoročnom planu opremanja VS. Prema podacima objavljenim na internet sajtu, VS ima ukupno 16 divizionara artiljerijskih oruđa (u kalibrima 122 mm, 130 mm i 152 mm), a od toga samo 4 divizionara samohodnih oruđa (122 mm). Najveći dolet naših oruđa je u rasponu od 15,3 km (122 mm), 24 km (152 mm), 27 km (130 mm), do 31 km (uz pretpostavku da se deo municije 130 mm remontuje i modernizuje ugradnjom generatora gasa, čiji je razvoj ranije završen). Iz navedenog sledi da su potencijalne potrebe VS:

- povećanje broja samohodnih divizionara sa 4 na najmanje 8, odnosno da se proizvedu i uvedu u naoružanje 4 divizionara samohodne top-haubice 155 mm NORA-B52,
- povećanje najvećeg dometa do 41 km (uvođenjem divizionara NORA-B52).

Predlog modernizacije usaglašen je sa finansijskim resursima već samom koncepcijom rešenja sistema oruđa NORA-B52. Naime, kao što je već rečeno, koncept otvorene ugradnje naoružanja je usvojen (pored ostalog), jer je takva opcija samohodnog oruđa znatno jeftinija od drugih razmatranih rešenja. Dopunski, vodilo se računa da raspolažemo većom količinom vučenih topova 130 mm M46, čiji se sklopovi naoružanja mogu koristiti u verziji NORA-B52. Jedini taktički nedostatak ove opcije jeste korišćenje sklopa „koritaste“ kolevke, što ima za posledicu da automatski punjač oruđa NORA-B52 zahteva da se za ispaljivanje narednog projektila cev oruđa dovodi u elevaciju oko 40°, čime se vreme jednog ciklusa povećava za nekoliko sekundi, odnosno moguće je ostvariti brzinu gađanja od 4 metaka/minut. Insistiranje na većim brzinama nije imperativno, jer sa navedenom brzinom vatreni udar sa 8 metaka može da se izvrši za 2 minuta, a zatim da se u naredna 2 minuta napustiti vatreni položaj i tako izbegne moguće dejstvo protivničke artiljerije.

Na osnovu prethodno izvršene analize može se zaključiti da rešenje koje „Jugoimport-SDPR“ nudi za verziju NORA-B52-K1 nije konceptijski i tehno-ekonomski prihvatljivo i da se treba vratiti koncepciji otvorene ugradnje naoružanja. Pri tome, polazno idejno rešenje oruđa pune automatizacije otvara mogućnost za smanjivanje broja članova posade, a time i za poboljšanje arhitekture i smanjenje mase otvorenih sklopova oruđa. Naime, u verziji K1 svi članovi posade se mogu smestiti u produženu kabinu vozila, a oslobođen prostor na pokretnoj platformi (na kojem su u verziji K0 bile kabine za komandira i nišandžiju) treba iskoristiti za produženje kasete projektila i barutnih punjenja i u njih smestiti kompletan borbeni komplet (uz preporuku da se on smanji na samo 24 umesto 36 metaka). Time kontejner za dopunsku municiju postaje suvišan, pokretna platforma se primiče ka kabini vozila, čime se dobija prihvatljiviji raspored masa koje opterećuju prednje i zadnje mostove vozila. Oruđe bi tako imalo bolje manevarske sposobnosti pri kretanju na terenu sa većim usponom, a ukupna masa oruđa sa posadom i borbenim kompletom smanjila bi se na oko 25 do 26 tona (što je za oko 3 tone manje u odnosu na realizovanu verziju K0, a čak 8 do 9 tona manje u odnosu na verziju K1 koju nudi „Jugoimport-SDPR“).

U postupku realizacije samohodnog oruđa 155 mm verzije NOR-B52-K1 najpre treba doraditi KD za oruđe verzije K0, a paralelno s tim završiti razvoj sledećih podсистema radi kompletiranja artiljerijskog sistema 155 mm:

- sistem za upravljanje vatrom integrisati sa predlozima za automatsko usmeravanje cevi oruđa na pravac severa, automatsko određivanje azimuta pravca i automatsko navođenje cevi oruđa (po elevaciji i pravcu) na odabrani cilj,

- nastaviti započeti razvoj bi-modularnih barutnih punjenja, prema već usvojenim polaznim zahtevima, saglasno usvojenom balističkom sistemu za cevi dužine 52 kalibara, a koja se mogu koristiti (sa odgovarajućim redukcijama broja modula) i iz cevi dužine 45 i 39 kalibara,

- nastaviti započeti razvoj (sa firmom EdePro) novog projektila 155 mm RA-BB sa ugrađenim raketnim motorom i generatorom gasa. Projektovani domet novog domaćeg projektila oznake tipa RA-BB bi bio oko 50 km iz cevi dužine 52 kalibara sa postojećom zapreminom barutne komore. Novim balističkim rešenjem, sa barutnom komorom zapremine 25 dm³, domet bi mogao da se poveća do oko 55 km,

- proširiti municijski komplet razvojem i uvođenjem u upotrebu osvetljavajućeg i dimnog projektila na bazi našeg standardnog razornog projektila 155 mm M88,

- ambicije da se samostalno razvija kasetni projektil 155 mm nisu opravdane ni realne. Važno je istaći da već iz postojećeg oruđa verzije NORA-B52-K0 može da se lansira ruski sistem KRASNOPOLJ u kalibru 155 mm, laserski navođen za završnom delu putanje. Time bi (ukoliko to korisnici budu tražili) sistem oruđa NORA bio osposobljen za dejstvo protiv oklopljenih ciljeva na velikim daljinama (15 do 20 km).

Svakako, pre nastavka razvoja sistema oruđa sa potpunom automatizacijom treba da se izvrši usaglašavanje TTZ sa zahtevima VS. Na taj način investitor („Jugoimport-SDPR“) i potencijalni korisnik (MO, odnosno VS) sa jasnim obavezama ulaze u realizaciju projekta, uz bitnu marketinšku prednost da se za izvoz nudi sistem oruđa koji je *usvojen za potrebe VS*. Razvoj sistema oruđa vodio bi investitor, uz aktivno učešće VTI i TOC (kojima bi MO otvorio funkcionalni zadatak) na poslovima razvoja i ispitivanja, a realizaciju bi vršila preduzeća iz grupe odbrambenih tehnologija (imenovana za nosioce proizvodnje, finalizacije i integracije glavnih podsistema oruđa).

Imajući u vidu dostignuti stepen razvoja sistema oruđa NORA-B52 procenjuje se da bi za izradu PT oruđa, nulte serije municije sa projektilima tipa ERFB-BT i ERBF-BB (oko 500 komada metaka) i baterijskog SKUV realno bilo potrebno oko 12 do 16 meseci. Interna, završna i trupna ispitivanja trebalo bi izvršiti po svim procedurama Pravilnika o opremanju VS sredstvima NVO, čime bi se fazno stvarali realni taktički, tehnološki i proizvodni uslovi za opremanje VS (odnosno stranih korisnika) respektabilnim artiljerijskim sistemom oruđa. Po uspešno izvršenom završnom ispitivanju donela bi se *odluka o uvođenju sistema oruđa u naoružanje VS*, a opremanje bi se vršilo prema dinamičci obezbeđenja budžeta za finansiranje plana dugoročnog opremanja VS.

Konačno, razvoj i proizvodnju artiljerijskih sistema naoružanja treba organizovati prema proverenim tehnološkim procedurama i odredbama Pravilnika o opremanju VS sredstvima NVO. Pri tome je presudan uticaj menadžmenta svake kompanije da moguće rizike izbegne, odnosno sveđe u prihvatljive norme [11].

Literatura

- [1] Stamatović, A.: *Vojna privreda druge Jugoslavije 1945–1991.*, Vojnoizdavački zavod, 2001, Beograd.
- [2] „Raketna ili klasična artiljerija u savremenim uslovima“, Materijali sa okruglog stola održanog 2.jula 1975. u Beogradu, Kumulativna naučno-tehnička informacija broj 31, VTI, oktobar 1975., Beograd.
- [3] Paligorić, A.: Prethodna analiza „Novo oruđe vatrene podrške kalibra 152-155 mm“, Reg. broj 02-25-093, 1975, VTI, Beograd.
- [4] Paligorić, A.: Program realizacije „Konverzija topa 130 mm M46 u top 155 mm M46/84“, Reg. broj 02-25-194, 1985, VTI, Beograd.
- [5] Paligorić, A.: Program realizacije „Oruđe vatrene podrške 152 mm NO-RA“, Reg. broj 02-25-145, 1978, VTI, Beograd.
- [6] Paligorić, A.: Prethodna analiza „Samohodna top-haubica 152 mm NO-RA-B“, Reg broj 02-25-185, 1984, VTI, Beograd.
- [7] Paligorić, A., Vujičić, N.: „Samohodni top-haubica 155 mm NORA-B52“, *Novi glasnik*, broj 2, april-jun 2006, Vojnoizdavački zavod, Beograd.
- [8] Radojević, S., Čurčić, J.: „Razvoj globalnih satelitskih navigacionih sistema“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 57, No. 3, pp 111-126, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2009.

[9] Sekulović, D., Đurković, V., Milošević, M.: „Pozicioniranje, orijentisanje i određivanje daljine do cilja na samohodnom višecvnom raketnom lansirnom sistemu korišćenjem GPS i elektronskih karata“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 3, pp 32-46, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2010.

[10] Lijaković, A., Marinković, P.: „NORA treće generacije“, YU Report, Ju-goimport-SDPR, broj 29, jun 2010, str. 46-53, Beograd.

[11] Jovanović, D.: „Upravljanje rizicima u proizvodnji naoružanja i vojne opreme“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 1, pp 5-12, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2010.

ANALYSIS OF THE DESIGN CONCEPT OF “NORA” FAMILY ARTILLERY WEAPONS

FIELD: Mechanical Engineering (Engineering Design,
Automation Control Systems)

Summary:

The development of the NORA family started as far as back to 1976 at the Military Technical Institute of the Yugoslav's People's Army. The programme covered development of several types of the main artillery weapon: the 152 mm NORA-A towed gun-howitzer, the 152 mm NORA-B self-propelled gun-howitzer and the 152 mm gun-howitzer with APU. Under the same programme, the conversion of the Russian 130 mm towed gun M46 into the 155 mm M46/84 gun (for export needs) and the 152 mm M46/86 gun respectively (for the needs of the YPA) was completed. Only the 152 mm M84 (NORA-A) towed howitzer was introduced in service, while the development of the NORA-B and NORA-C weapons was carried on until 1992. After it had been suspended for many years, the development of the NORA-B weapon was continued in 2003, followed by serial production of the 155 mm NORA-B52 self-propelled system for the export needs.

Introduction & History of the NORA Programme

The programme aimed at modernizing the YPA artillery (adopted in 1975) anticipated radical changes in the organization and equipping the units with new weapons, and more specifically envisaged to: reduce the number of calibres to three (122 mm, 130 mm, 152 mm); replace the 105 mm and 155 mm towed howitzers with the 122 mm and 152 mm howitzers; introduce the 122 mm self-propelled weapons in the formation of mechanized units (a certain number of Russian self-propelled howitzers was purchased to that effect) and the 152 mm self-propelled weapons (through local development).

The paper gives the chronology of the NORA programme, with an overview of the fundamental historical, tactical-technical and technological aspects related to the creation and development of the

NORA-A, NORA-B, NORA-C weapons and the 152/155 mm converted guns. It has pointed out how important it is to introduce in operational service artillery weapons of the second ballistic generation (powder chamber of 18 l volume and barrel of 39/40 caliber length), the third generation (powder chamber of 23 l and barrel of 45/46 caliber length), and the fourth generation (powder chamber of 23 l and barrel of 52 caliber length). The development of the NORA-B self-propelled weapon is explained in detail, with an overview of possible design concepts (tracked vehicle with turret-mounted armament, wheeled vehicle with turret-mounted armament and wheeled vehicle with open-mounted armament). The paper mentions that as early as 1984 and for the first time in the world, a concept of open truck-mounting of 152/155 mm armament was adopted and implemented on a platform of a wheeled vehicle of 8x8 formula. In the years that followed, this concept was broadly adopted and acknowledged as a TMG concept (Truck Mounted Gun).

The Philosophy of Use of NORA Family Weapons

It is common to all weapons of the NORA family that they belong to the main calibre of army fire support, and may be executed in calibres of 152 mm or 155 mm respectively (by mere replacement of barrel), depending on the military and political choice made by the user. The only difference may be found in the philosophy of using the weapons that is typical for either towed or self-propelled weapons. All weapons of the NORA family have been designed so as to meet as much as possible the basic requirements of the principles that govern the use of artillery: achieving the longest possible range while preserving or even increasing the projectile target effectiveness and, reducing the weapon mass as much as possible without decreasing the projectile energy at the barrel muzzle. The extent of fulfilment of the said requirements has been analyzed by computation of the main technical and combat characteristics and properties (as shown in Table 1).

Analysis of the Design Concept used for the 152 mm NORA-A Towed Gun-Howitzer

In the process of upgrading our artillery, the main tactical requirement has been to replace the American 155 mm M114 howitzer and its locally produced copy, the 155 mm M65, with a more up to date weapon that would be developed based on the Russian 152 mm D-20 gun. Accordingly, the preliminary solution of the new NORA-A weapon system reflected the need to obtain a new weapon of significantly longer range with the minimum changes made on D-20 gun assemblies and to enable firing with upper angles thanks to the increase of elevation field action. Briefly, the idea was to convert the Russian D-20 gun into a long range and high fire power gun-howitzer. The attained tactical advantages of the NORA-A weapon are indicated in Table 1 of this paper.

Analysis of the Design Concept of the NORA-B Self-Propelled Gun-Howitzer

The concept and the preliminary solution of the NORA-B self-propelled weapon were initiated by: the tactical requirement to reduce the length of the weapon-towing vehicle tandem length on the march, which is considered to be one of the shortcomings of towed artillery weapons; the requirement to use a locally made vehicle (the FAP 2832 off-road vehicle, formula 8x8 was adopted); the requirement to have maximum unification of subsystems and assemblies of the NORA family (achieved by modular integration of all assemblies moving in traverse taken over from the 152 mm NORA-C prototype (PT) that had already been executed); the need to reasonably decrease the price and reduce the production period (by using the assemblies of the available 130 mm M46 guns - cradle, counter-recoil unit, sighting devices). Based on these design imperatives, the designers had to opt for integration of design solutions used in weapon main subsystems (such as armament, hydraulic subsystem, power supply subsystem, optoelectronic subsystem) with a chassis of an available off-road vehicle. To be able to do it, they had to use a newly designed assembly of a bell type carriage housing with roller bearing of large diameter, mounted in a newly designed additional frame to which the trails for weapon suspension at firing are attached.

The main requirements behind the philosophy of weapon use (shorter time of weapon response before opening fire, reduced fatigue and safe operation for the crew), were to be met by an adequate automation of Weapon serving functions. It has been achieved with the adopted design solution and an adequate designing of NORA-B functional model (FM) assemblies (as described in the paper).

Manufacture and testing of the NORA-B52 PT weapon – important modifications, while preserving the TMG concept.

On the basis of serious technical analyses, it has been concluded that the NORA-B52 PT weapon should and may be executed only and uniquely on condition that the TMG concept is maintained, but also subject to eliminating deficiencies established during the tests of the NORA-B FM weapon and further increasing the degree of automation. The paper has systematized modifications and improvements made on the NORA-B52 weapon, the most important ones being the introduction of: a system of vehicle semi-elastic suspension at firing of rounds, an automatic loader of projectiles and monoblock propellant charges and a unit for automatic loading and firing of primers. The increased scope of weapon's automated functions necessitated that the electrical equipment of the FM weapon (of relay type) be replaced on the PT weapons with PLC technology for automation of the armament subsystems. The introduction of PLC controllers on the weapon necessitated to perform its integration and ensure communication with the battery FCCS through the GD. The imposed contractual requirements

made it necessary to use the chassis of Kamaz 8x8 vehicle instead of the FAP vehicle. The paper describes the results achieved and experience gained during the tests of PT weapons.

Assessment of the NORA-B52-K0 Weapon, Series Production Version

The launching of the series production of the NORA-B52 weapon was conducted in a procedure dictated by the obligations assumed under an export contract, with partial overlapping between the stage of PT testing and the stage of launching the first lot and successive rework of the design documentation. In the course of the series production in the LOLA-SYSTEM Company, the industrial level of the product was markedly improved with each new lot as the technological documentation was drafted and a part of tools made, necessary equipment purchased and the production personnel educated. The version of the design concept adopted for the series production was referenced as NORA-B52-K0. Rework of the design documentation is suggested for the purpose of further series production of the K0 version of the weapon.

The Next Stage of Development— Full Automation Weapon Version

The development of the NORA-B self-propelled weapon has been based on the procedure of progressive achievement of the expected combat properties. The status of the implemented solution of the NORA-B52-K0 weapon version and current technological and economic capabilities of the local industry constitute good grounds for the next stage of development of this self-propelled weapon, which should result in the NORA-B52-K1 weapon version featuring full automation of all weapon serving functions. The tactical and technical requirements for operational missions of the K1 version have been suggested with a statement that, while maintaining the concept and almost all assemblies of the K0 version, it is necessary to design and execute two more new systems – automated navigational system and fire control system on the weapon. Design requirements have been stated and possible solutions of new systems indicated.

Further Development of the NORA-B52 Weapon System

Having in mind world tendencies in the future development of self-propelled weapon systems intended for fire support, the procedures have been mentioned of how to materialize these trends. It has been stated that the concept of open mounting of armament is nowadays accepted by a considerable number of countries worldwide (France, Sweden, Israel, South Africa, and others), and that it is also convenient for the Military of Serbia.

However, Yugoimport-SDPR Company started the development of an armoured self-propelled NORA-B52 PT weapon in 2009, with the aim to provide ballistic protection for the assemblies accommodated in the driver's cabin, for the turret-mounted armament, ammunition container and fuel tank from the effects of small arms and fragmentation effects of artillery projectiles. So, the TMG concept was thus abandoned on the version of armoured PT weapon. Also, it has been stated that

armour protection would substantially increase the mass of the NORA-B52 weapon (by about 6 tons) without providing the proclaimed level of protection in compliance with STANAG 4569.

Conclusion

The programme, the concept and the scope of upgrades in further development of the NORA-B52 weapon system should be harmonized with the needs of the new organization of the Military of Serbia (and prospective foreign users), and with limited financial resources in the long term plan for equipping the Military of Serbia. Based on data published on the official Internet site of the Military of Serbia concerning the structure and number of artillery battalions in the Military of Serbia, a general upgrade programme has been suggested. It should be implemented by increasing the number of self-propelled battalions and the maximum range up to 41 km, with an objective to introduce in service few battalions armed with the NORA-B52-K1.

Based on the previously made analysis, it may be concluded that the solution offered by Yugoimport-SDPR for the NORA-B52-K1 version is not acceptable for conceptual and techno-economic reasons; consequently, the concept of an open mounting of armament should be brought back. It has been established that the initial preliminary solution of a fully automated weapon version referred to as K1, proposed by the author of this paper, opens the possibility to reduce the number of crews and thus improve the architecture and reduce the mass of weapon. In such a way, the total mass of K1 weapon version would be reduced to about 25 to 26 tons (which is by 3 tons less compared to the executed version K0, and even 8 to 9 tons less compared to K1 version offered by Yugoimport-SDPR).

It has been suggested that, in parallel with the development of the K1 weapon version, the development of a large number of subassemblies should also be carried out, for the purpose of completing the 155 mm artillery system (new types of ammunition and ammunition elements and the fire control system). A proposal has been presented as to the procedure under which the NORA-B52 artillery weapon, version K1 (full automation) would first be adopted for the needs of the Military of Serbia, and subsequently, after the conditions have been met for that, a Decision on introducing the subject weapon system in the Military of Serbia would be made.

Key words: artillery weapon, gun, howitzer, projectile, propellant charge, modular charges, igniters, primer, fire control systems.

Datum prijema članka: 24. 12. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 28. 01. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 30. 01. 2011.

PRIMENA INTEGRISANIH SISTEMA ZA OCENU STANJA SLOŽENIH STRUKTURA

Jovičić S. Stevan, Mićović M. Aleksandar,
Vojska Srbije, Tehnički opitni centar, Beograd

OBLAST: mašinstvo, vazduhoplovne tehnologije i održavanje

Sažetak:

U radu su prikazane mogućnosti integrisanih sistema za ocenu stanja struktura. Detaljno su prikazana laboratorijska ispitivanja koja su potvrdila mogućnosti piezoelektričnih senzora da na zadovoljavajući način obavljaju emitovanje, odnosno prijem Lambovih talasa i otkriju postojanje prskotina u panelima vazduhoplovnih konstrukcija, primenom „puls-eho“ metode. Za potrebe pretraživanja većih površina dat je prikaz korišćenja fazno pomenog rasporeda piezoelektričnih senzora-davača kako bi se formirao ultrazvučni strukturalni radar. Za obezbeđenje kvaliteta pretraživanja PWAS imaju mogućnost samotestiranja, koristeći svojstva elektromehaničke impedance.

Key words: integrisani, piezoelektrični senzori-davači, Lambovi talasi, ocena stanja bez razaranja, održavanje.

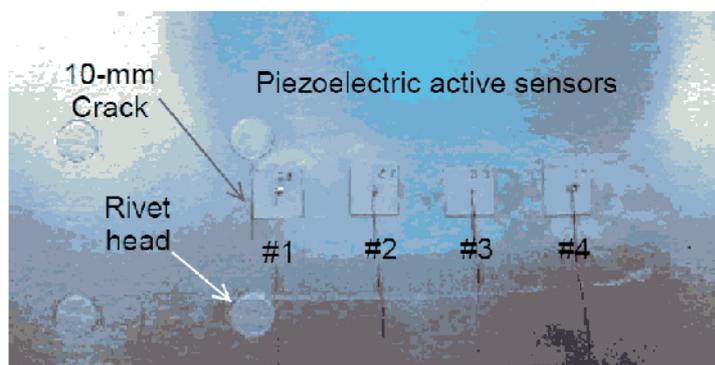
Uvod

U potreba integrisanih sistema za ocenu stanja složenih struktura bez razaranja predstavlja naprednu tehniku koja predstavlja prelaz od konvencionalnih, ultrazvučnih metoda ka integrisanim sistemima za praćenje stanja „SHM“ (Structural Health Monitoring). Ovakvi i slični sistemi ugrađuju se u savremene konstrukcije, kao što su recimo vozila „IVHM“ (Integrated Vehicle Health Management). Praćenje stanja složenih struktura, kao što su letelice, zbog svojih specifičnosti, zahteva razvoj malih, lakih, jeftinih i prilagodljivih senzora koji mogu biti integrisani u strukturu sa minimalnim uticajem na masu i uz prihvatljivo povećanje troškova.

Integrisani u strukturu

Integrisani sistemi za praćenje stanja veoma su bitni za kvalitetnu ocenu stanja [1] strukture. Ovi senzori treba da budu u stanju da prate promene stanja u realnom vremenu i signaliziraju prisustvo defekata kao i početnih, inicijalnih oštećenja. Sadašnja, uobičajena ultrazvučna ispitivanja, tankozidnih strukt-

ura (npr. oplata trupa i krila vazduhoplova, zidova rezervoara za smeštaj goriva ili velikih cevovoda) zahtevaju priličan utrošak vremena i znatnu preciznost, koju nije lako postići prilikom ispitivanja većih površina. Jedna od metoda kojom se može povećati efikasnost u inspekciji struktura predstavlja korišćenje „vođenih“ talasa (npr. Lambovi talasi), umesto konvencionalnih ultrazvučnih talasa [2]. „Vođeni“ talasi se prostiru duž sredine površine tankih ploča ili takozvanih plitkih ljuski, i imaju osobinu da se prenose na relativno velika rastojanja sa veoma malim gubitkom amplitude što im pruža mogućnost u pokrivanju velike površine sa minimalnim brojem instaliranih senzora [3]. „Vođeni“ Lambovi talasi otvaraju nove mogućnosti za isplativo otkrivanje oštećenja u vazduhoplovnim strukturama i veliki broj radova je objavljen u skorije vreme koji se bave ovom temom [4]. Tradicionalno, „vođeni“ talasi su generisani – uneseni impulsnim tonom u površinu oplata pod određenim uglom, uz pomoć relativno velikog generatora ultrazvučnih talasa [5]. Šnelovim zakonom omogućena je konverzija na mestu interfejsa koja se odatle, kombinacijom pritishnih i smicajnih talasa, simultano generiše u tanku ploču. Konvencionalne Lambove sonde (klinasti ili češljasti pretvarači) suviše su teške i skupe da bi ušle u razmatranje za masovnu primenu na složenim strukturama (npr. vazduhoplovne strukture) kao deo „SHM“ sistema. Zbog toga se moraju koristiti drugačiji tipovi senzora. Nekoliko različitih istraživačkih centara nedavno je ispitivalo novu generaciju Lambovih talasnih davača-senzora baziranih na piezoelektričnom principu „PWAS“ (Piezoelectric Wafer Active Sensors) [6]. Ovi piezoelektrični senzori su jeftini, prilagodljivi, nezahtevni u pogledu montaže, a mogu biti montirani na površinu postojeće strukture, umetnuti između slojeva materijala i postavljeni na mestima preklopa ili unutar elemenata strukture izrađenih od kompozitnih materijala [7]. Na slici 1. prikazan je položaj piezoelektričnih senzora (PWAS) postavljenih u rednom, linijskom rasporedu, u okolini pojasa zakovica, kao i jedna veštački simulirana prskotina. Očigledan je minimalan uticaj ovih davača-senzora na strukturu koja je predmet monitoringa. Ovi PWAS su teški samo 68 mg, veoma su tanki (0,2 mm) i vrlo jeftini – 7 US \$ po komadu.



Slika 1 – Piezoelektrični aktivni senzori montirani na panelu letelice
 Figure 1 – Piezoelectric wafer active sensors mounted on the aircraft panel

Rade na piezoelektričnom principu koji uparuje elektro i mehaničke karakteristike materijala (mehaničko opterećenje T_{kl} , napon na istezanje S_{ij} , električno polje E_k , pomeranje D_j).

$$S_{ij} = s_{ijkl}^E \cdot T_{kl} + d_{kij} \cdot E_k \quad (1)$$

$$D_j = d_{jkl} \cdot T_{kl} + \varepsilon_{jk}^T \cdot E_k \quad (2)$$

gde je S_{ijkl}^E mehanička karakteristika zavisnosti materijala, merena pri nuliranom električnom polju ($E=0$), ε_{jk}^T je dielektrična konstanta pri nuliranom mehaničkom opterećenju ($T=0$), a d_{kij} predstavlja efekat veze piezoelektričnog elementa. Za primene nedestruktivne ocene stanja strukture PWAS senzori mogu biti korišćeni i kao aktivne i kao pasivne sonde. Zbog toga je potrebno da senzori mogu da ispune sledeće četiri potrebe [8]:

- otkrivanje relativno udaljenih oštećenja korišćenjem „puls-eho“ i „pitch-catch“ metoda,
- otkrivanje relativno bliskih oštećenja pomoću metode visoke impedanse,
- praćenje nastanka i rasta prskotine korišćenjem metode akustične emisije i
- otkrivanje oštećenja uz pomoć metode „udara male brzine“.

Rad sa piezoelektričnim sensorima je drugačiji od rada sa konvencionalnim ultrazvučnim sondama. Na primer, PWAS ostvaruje svoju namenu primanjem, registrovanjem odziva ploče na pobudu izazvanu Lambovim talasima i registrovanjem ravanaskih naprezanja, dok konvencionalne ultrazvučne sonde ili senzori registruju odziv preko normalnog naprezanja. Pored toga, PWAS su čvrsto inkorporirani u strukturu i prate dinamička ponašanja strukture, dok su ultrazvučne sonde relativno slobodne od strukture i imaju sopstvena dinamička ponašanja. Na kraju, PWAS su širokopojasni uređaji, dok su ultrazvučne sonde uskopojasni uređaji. Glavna prednost PWAS nad ultrazvučnim sondama jeste u njihovoj maloj masi i malim dimenzijama, niskom profilu i niskoj ceni. Uprkos svojoj veličini ovi novi uređaji su u stanju da ispune mnoge funkcije koje imaju i konvencionalne ultrazvučne sonde. Karakteristike piezodavača korišćenih u eksperimentu prikazane su u tabeli 1 i 2, a moguće ih je naći i na web sajtu proizvođača (www.americanpiezo.com). Metoda detekcije oštećenja uz pomoć elektromehaničke impedance je komplementarna tehnici koja koristi svojstva prostiranja ultrazvučnih talasa. Oprema koju nude proizvođači ultrazvučnih mernih uređaja, kao opciju, sastoji se od sonde koje imaju mogućnost upotrebe za analizu mehaničke impedanse. Metodu analize mehaničke impedanse karakteriše analiza pobudnih oscilacija koje se unose u ispitni materijal korišćenjem davača koji istovremeno mere unesenu normalnu silu i indukovanu brzinu. Savremena analiza rezultata dobijenih primenom ove

metode koristi amplitudu i fazni pomeraj za otkrivanje oštećenja na ispitivanoj površini materijala. Pri izvođenju eksperimenta dobijena je visoka tačnost rezultata, korelacija je iznosila 99,99% pri čemu je greška u izmerenoj i realnoj brzini prostiranja talasa iznosila 0,1%.

Tabela 1
Table 1

Dimension	Units (mm)	Standard Tolerance
Length or Width of Plates	<13mm	+/-0.13mm
Thickness of All Parts	0.20mm to 0.49mm	+/-0.025mm

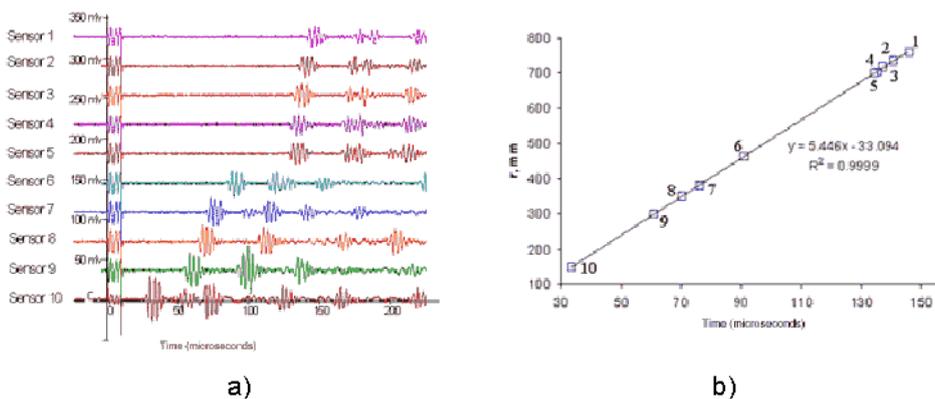
Tabela 2
Table 2

PROPERTY	UNIT	SYMBOL	APC 840	APC 841	APC 880	APC 850	APC 855	APC 856
Relative Dielectric Constant	1	$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	1250	1350	1000	1750	3250	4100
Dissipation Factor Measured: C 1 KC @ Low Field	%	$\tan\delta$	0.4	0.35	0.35	1.4	2	2.7
Curie Temperature	$^{\circ}\text{C}$	T_0	325	320	310	360	195	150
Coupling Coefficient	1	k_p	0.59	0.60	0.50	0.63	0.65	0.65
		k_{33}	0.72	0.68	0.62	0.72	0.74	0.73
		k_{31}	0.35	0.33	0.30	0.36	0.38	0.36
		k_{15}	0.70	0.67	0.55	0.68	0.66	0.65
Piezoelectric Coefficient	10^{-12} C/N or m/V	d_{33}	290	275	215	400	580	620
		$-d_{31}$	125	109	95	175	270	260
		d_{15}	480	450	330	590	720	710
Piezoelectric Coefficient	10^{-3} V-m/N or m^2/C	g_{33}	26.5	25.5	25	26	19.5	18.5
		$-g_{31}$	11	10.5	10	12.4	8.8	8.1
		g_{15}	38	35	28	36	27	25
Young's Modulus	10^{10} N/m ²	Y_{11}^E	8	7.6	9	6.3	6.1	5.8
		Y_{33}^E	6.8	6.3	7.2	5.4	4.8	4.5
Frequency Constants L=Longitudinal Mode T=Thickness Mode R=Radial Mode	Hz-m or m^2/s	N_L	1524	1700	1725	1500	1475	---
		N_T	2005	2005	2110	2032	1930	1980
		N_R	2130	2055	2080	1980	1980	---
Elastic Compliance	10^{-12} m^2/N	S_{11}^E	11.8	11.7	10.8	15.3	14.8	15.0
		S_{33}^E	17.4	17.3	15.0	17.3	16.7	17.0
Density	g/cc	ρ	7.6	7.6	7.6	7.7	7.5	7.5
Mechanical Quality Factor	1	Q_m	500	1400	1000	80	75	72

PWAS generisani Lambovi talasi

Osnovni principi generisanja Lambovih talasa i njihova detekcija putem PWAS davača-senzora verifikovana je u laboratorijskim uslovima u jednom jednostavnom eksperimentu. Pravougaona ploča dimenzija 914 mm

x 504 mm x 1,6 mm pokrivena je sa 11 kvadratnih PWAS senzora debljine 0,2 mm (APC 850), koji su postavljeni u rasporedu pravougaone mreže. Na ovaj način pripremljen eksperiment omogućio je autorima da verifikuju upotrebu Lambovih talasa u postupku njihovog generisanja, odnosno detektovanja od strane PWAS senzora. Tom prilikom je registrovana višesmerna transmisija, a signali su bili dovoljno jaki i sa prihvatljivim nivoom šuma koji je omogućavao detektovanje „eho-a” (odziva). Dokaz ovih osobina je posebno važan za PWAS, koji su ipak manji, lakši u odnosu na konvencionalne ultrazvučne davače, uz karakteristiku da su i mnogo manji potrošači energije. Da bi se dokazalo da su Lambovi talasi koji su pobuđeni od strane PWAS višesmerni, korišćen je jedan PWAS (označen brojem 11) kao predajnik, a ostali PWAS (od 1 do 10) kao prijemnici. Signali koji su registrovani u ovom eksperimentu prikazani su na slici 2. U svakom redu, elektromagnetska veza između inicijalnog signala („bang”) vidi se u blizini izvora. Zatim, uočavamo prvi talasni paket, koji odgovara talasu koji je dobijen od PWAS predajnika, a praćen je ostalim talasnim paketima koji odgovaraju refleksiji od krajeva ploče. Vremenska razlika između inicijalnog signala i vremena dolaska talasnog „paketa” predstavlja vreme „leta” (Time of flight). TOF na taj način definiše razdaljinu koju je prešao talas. Slika 2b pokazuje linearnu, pravolinijsku zavisnost između TOF i rastojanja. Kosina (nagnutost ili ugao) ove linije predstavlja brzinu eksperimenta $c_g = 5,446$ km/s, dok teorijska brzina iznosi, 5,440 km/s. Veoma dobra podudarnost između teorijske i realno postignute brzine potvrđuje mogućnosti korišćenja Lambovih talasa koje generišu PWAS. Talasi su dovoljno jaki i čisti, rasprostiru se višesmerno i na zadovoljavajući način odgovaraju teorijskim pretpostavkama.

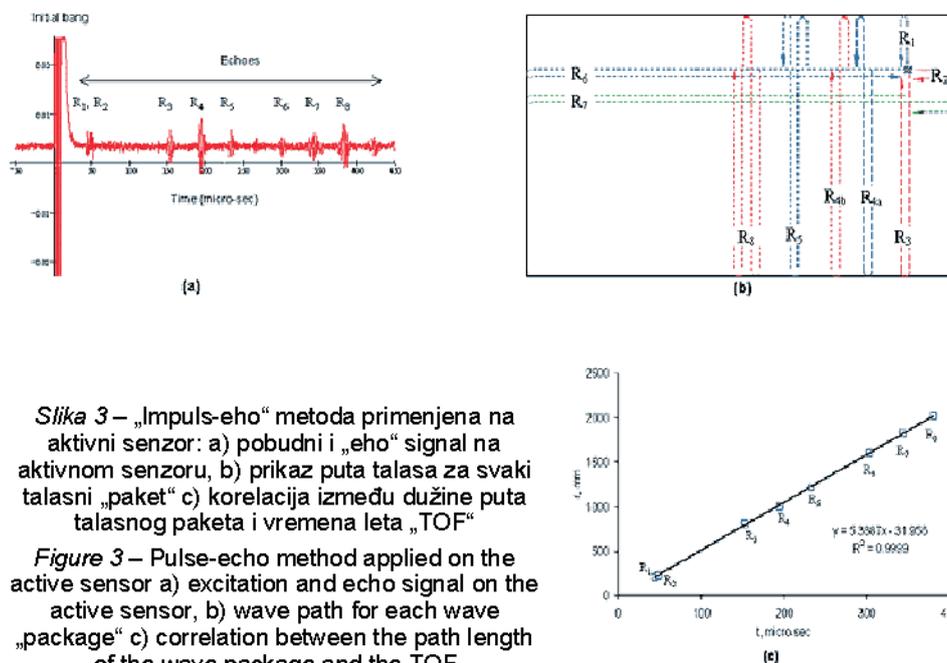


Slika 2 – a) Prijem signala od strane aktivnih senzora 1-10, korelacija između radijalnog rastojanja i vremena leta „TOF” (Time of flight)

Figure 2 – a) Signal reception of active sensors 1-10, corellation between the radial distance ant the Time of Flight (TOF)

Impulsni eho postignut upotrebom PWAS

Piezoelektrični senzori (11) upotrebljeni su kako bi se pokazale „eho“ karakteristike. Na slici 3a. prikazano je da signal sa senzora 11. ima dve jasne zone. Inicijalni talas (udar), tokom koga PWAS 11 radi kao predajnik i „eho“ zonu koja sadrži talasne „pakete“ reflektovane od krajeva ploče i poslate nazad ka PWAS 11. Ovi povratni talasi obrađeni su radi ocene mogućnosti ove metode („puls-eho“ metoda). Kako talas generisan od inicijalnog udara pretrpi višestruke refleksije od krajeva ploče, svaka od tih refleksija ima drugačiji put, kao što se i vidi na slici 3b. Interesantno je primetiti da su dužine puta za refleksiju R_1 i R_2 približno iste. Zbog toga su i „eho“-i R_1 i R_2 u „impuls-eho“ signalu skoro superponirani. Takođe, interesantno je primetiti da refleksija R_4 ima dva moguća puta R_{4a} i R_{4b} koji su iste dužine. Odatle i odzivi koji odgovaraju ovim dvema refleksijama stižu istovremeno i formiraju jedan jači „eho“, koji ima približno dvostuki intenzitet u poređenju sa ostalim povratnim signalima – „ehoima“. Crtež TOF svakog pojedinačnog „eho“-a prikazan je na slici 3c. Prava linija ima veoma dobru korelaciju ($R^2=99,99\%$). Odgovarajuća brzina talasa iznosi 5,389 km/s (što je blizu teorijske vrednosti od 5,440 km/s). „Eho“-i su snimljeni sa razdaljine od preko 2 m, što je izuzetno za tako mali ultrazvučni uređaj. Na taj način pokazano je da je PWAS u potpunosti sposoban za predaju i prijem impulsnih „eho“ signala zapanjujuće snage i čistoće.



Slika 3 – „Impuls-eho“ metoda primenjena na aktivni senzor: a) pobudni i „eho“ signal na aktivnom senzoru, b) prikaz puta talasa za svaki talasni „paket“ c) korelacija između dužine puta talasnog paketa i vremena leta „TOF“

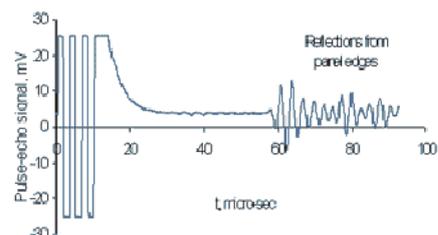
Figure 3 – Pulse-echo method applied on the active sensor a) excitation and echo signal on the active sensor, b) wave path for each wave „package“ c) correlation between the path length of the wave package and the TOF

Otkrivanje prskotina uz pomoć PWAS

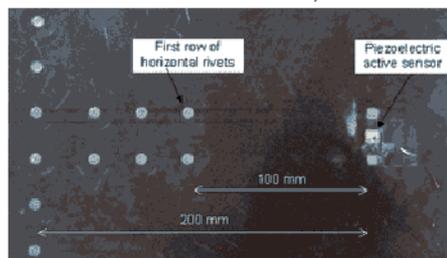
Eksperimenti sa širenjem talasa izvršeni su na panelima letelica da bi se ilustrovala mogućnost otkrivanja prskotine primenom „puls-eho“ metode. Panel koji je ispitivan bio je tipične vazduhoplovne konstrukcije, sa osobinama koje ga odlikuju, posedovao je vertikalni spoj i horizontalne učvršćivače. Na slikama 4_a, 4_c i 4_e prikazani su načini instalacije PWAS na strukturalno kompleksniji panel. Na slikama 4_b, 4_d i 4_f prikazan je izgled registrovanih signala na PWAS. PWAS su locirani na sličnim mestima (200 mm udesno od vertikalnog reda zakovica). Na slici 4_a prikazana je situacija koja je najjednostavnija, u kojoj je prisutan samo vertikalni red zakovica na levom kraju slike. Na slici 4_b prikazan je inicijalni signal (centriran, na vremenskoj osi od 5,3 μ s) i višestruki odziv od upletenih krajeva ploče. Povratni talasi, „eho“-i, (odzivi) počeli su da pristižu posle otprilike 60 μ s. Na slici 4_c prikazan je vertikalni red zakovica, daleko levo, i dodatni horizontalni dupli red zakovica prema PWAS.



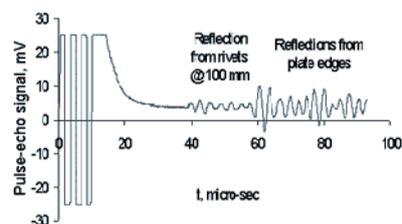
a)



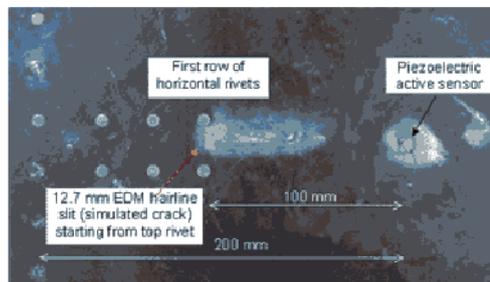
b)



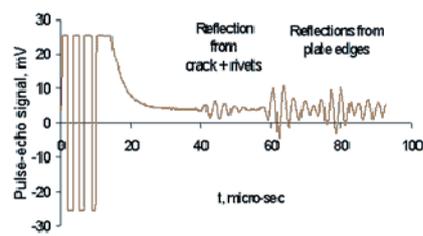
c)



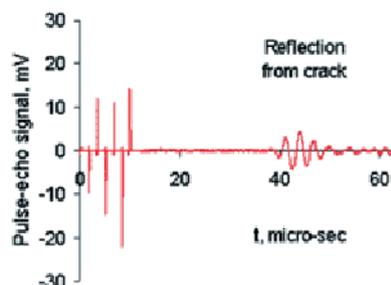
d)



e)



f)



g)

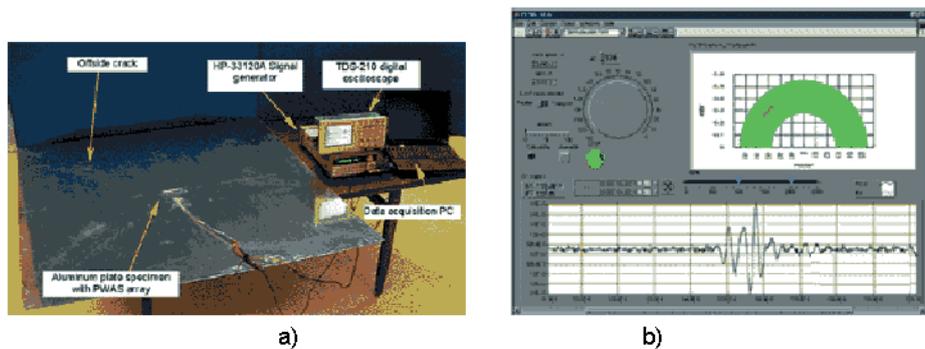
Slika 4 – Eksperiment otkrivanja prskotine u laboratorijskim uslovima: 4a-4c (panel, 1 mm 2025T3) uzorci sa postepeno povećanom složenosti
Figure 4 – Experiment showing the crack detection in laboratory conditions: 4a-4c (panel, 1 mm 2025T3) samples with gradually increased complexity

Na slici 4d vidi se da su sensorima registrovani višestruki povratni talasi od krajeva panela i spojeva, ali i da PWAS registruju i pozadinski šum od zakovica koje su pozicionirane na početku horizontalnog pojasa zakovica. Ovi pozadinski šumovi uočljivi su u okolini 42 μm . Na slici 4e, prikazana je oblast panela koja je slična prethodno razmatranoj uz još jednu osobinu. Na ovom panelu veštački je generisana prskotina (12,7 mm, EDM prerez debljine vlasi kose) koja se nalazi pored prvog otvora za zakovicu u gornjem horizontalnom redu. Na slici 4f prikazan je izgled dijagrama koji veoma liči na dijagram koji je dobijen u prethodnom opitu. Primećuje se jedino mala razlika na poziciji 42 μm . Karakteristika na 42 μm odgovara superpoziciji refleksije od zakovice i od prskotine. Otkrivanje prskotine izgleda veoma problematično, jer su „eho“-i od prskotine i zakovice superponirani. Ova otežavajuća okolnost rešena je korišćenjem metode diferenciranja signala (npr. oduzimanje signala koji je prisutan na slici 4g). U praksi, ovakva situacija bi odgovarala oduzimanju signala od prethodno snimljenog zapisa na neoštećenoj strukturi, a zatim analize dobijene razlike. Na ovaj način javlja se potreba za formiranjem banke podataka o svakoj pojedinačnoj strukturi koja se prima od korisnika. To je upravo situacija koja se koristi kod sistema za praćenje stanja koji se nalaze na savremenim letelicama. Kada se dva signala oduzmu njihova razlika će ukazati na postojanje oštećenja. „Eho“, markiran kao refleksija od prskotine, nalazi se na 42 μm (npr. TOF=37 μm) koja odgovara 5,4 km/s, 200 mm-tarskom ukupnom putu od PWAS do prskotine koja se nalazi na 100 mm. Jasnoća i čistoća signala od otkrivene prskotine je zapanjujuća. To je razlog što je PWAS ocenjen kao sposoban za registrovanje čiste i nedvosmislene detekcije strukturalnih oštećenja – prskotina. Ručno brisanje, podešavanje ugla zvučnog izvora može se ostvariti pomoću upravljačkog dugmeta. Signal i odziv pri određenom upadnom uglu (ovde je $\phi_0=136^\circ$) prikazan je na slici 5.

Fazno pomereni PWAS

Prednosti upotrebe fazno pomerenih davača za ultrazvučna ispitivanja je velika. Kompanija „Krautkramer Inc.“ prizvodi linearno fazno pomerene davače koji se koriste za inspekciju veoma tankih uzoraka, kao i za bočna ispitivanja tankih zidova ili ploča. Ovi davači mogu da iniciraju ulazne talase koji se generišu kroz površinu materijala. U ovim istraživanjima upotreba tehnike fazno pomerenih davača razvijena je za potrebe struktura sastavljenih od tankih zidova (oplate aviona, rezervoari za skladištenje, velike cevi u cevovodima, gasovodima, naftovodima) koje se ispituju upotrebom Lambovih talasa kako bi se pokrila velika površina. Istraživači su ovaj uređaj nazvali „integrisani ultrazvučni strukturalni radar“ i pokazali njegovu efikasnost na realnoj konstrukciji. PWAS su raspoređeni u mrežu koju su činili kvadratni elementi stranice 7 mm sa ravnomernim rastojanjem između njih od 9 mm. PWAS fazna mreža bila je postavljena u centru kvadratne aluminijumske ploče stranice 1,2 m (slika 5); šablon talasa koji je generisan od fazno raspoređenih davača rezultat je superponiranja talasa generisanih od svakog pojedinačnog elementa. Sekvencijalnim impulsima svakog pojedinačnog elementa u rasporedu davača u približnim vremenima, ultrazvučni talasni front može biti fokusiran ili upravljani – vođen u određenom pravcu. Zbog toga je elektronsko brisanje i refokusiranje talasnog snopa dobijeno bez fizičkog manipulisanja davačima. Usputno, kontrola široke zone ploče postala je moguća kreiranjem ultrazvučnih Lambovih talasa koji pokrivaju celu ploču. Jedanput, kada je upravljanje snopom i njegovim fokusiranjem postalo moguće, određivanje mesta oštećenja postalo je relativno jednostavno. U toku eksperimenta koji bi dokazao efikasnost metode pretpostavljene su dve tipične situacije. U prvom slučaju to je 19 mm dugačka bočna prskotina, pozicionirana na 409 mm od rasporeda davača u smeru 136° .

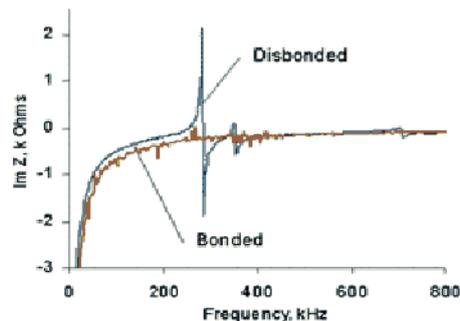
Ovde se vidi da je „eho“ koji je primljen sa strane prskotine predstavljao samo pozadinski šum generisan na krajevima prskotine. Slika 5a desno vizualizuje metodu otkrivanja prskotine, predstavlja prednju ploču integrisanog ultrazvučnog radarskog grafičkog interfejsa (EUSR-GUI). Čišćenje signala je automatsko, kako bi se slika strukturalnog oštećenja pokazala u prozoru desno. Ručno podešavanje može se postići okretanjem kontrolnog točkića. Niži prozor pokazuje rekonstruisan ugao snopa $\Phi_0=136^\circ$ koji odgovara lokaciji prskotine, slika 5b.



Slika 5 – Potvrda koncepta eksperimenta: tanka ploča sa devet piezoelektričnih davača i prskotinom od 19 mm
Figure 5 – Verification of the experiment concept: thin plate with nine piezoelectric probes and the 19 mm crack

PWAS self test (samotestiranje)

Kako su PWAS sonde čvrsto zalepljene na strukturu, trajnost lepka i mogućnost sonde da se odvoji od strukture treba uzeti u obzir. Prema svemu što je rečeno, potrebno je propisati proceduru kojom će se utvrditi kvalitet veze između davača i strukture. Procedura je zasnovana na PWAS elektromehaničkoj impedansi. Na slici 6 crvena kriva uporedno daje prikaz $I_m Z$ spektra dobro zalepljene sonde PWAS za strukturu [9].



Slika 6 – Samotestiranje spoja piezodavača i strukture čije se stanje prati
Figure 6 – Self-test of the bond of the PWAS and the structure monitored

Ukoliko to jeste slučaj javiće se pravilna kriva sa malim rezonancama u strukturi. Nepričvršćeni PWAS pokazuje jaku sopstvenu rezonancu i bez strukture rezonance pri vrednosti od 267 kHz (plava kriva). Pojava ove rezonance PWAS i nestanak strukturne rezonance karakteriše osobi-

nu koja nedvosmisleno ukazuje na pojavu odvajanja PWAS od strukture i može se koristiti za samotestiranje (automatsko) PWAS senzora. Za lakše raspoznavanje ovih otkaza poželjno je snimiti vibracije.

Zaključak

Integrirani NDE piezoelektrični wafer senzori PWAS mogu biti strukturalno integrirani ili fazno pomereni. Mogu biti postavljeni čak i u zatvorenim strukturama u toku proizvodnje ili remonta (kao što je slučaj sa strukturama krila) i ostavljeni na tom mestu u toku celog životnog (radnog) veka strukture. Integrirani sistem NDE otvara nove horizonte primene PWAS senzora radi pronalazačenja oštećenja „In-situ“ – na mestu ugradnje, što znači na samom sredstvu i u realnim uslovima eksploatacije i praćenju stanja struktura, kao što su letelice, rakete, sudovi pod pritiskom, tankovi za gorivo i cevovodi. Ova napredna tehnologija je u razvoju i zahteva ozbiljna istraživanja kako bi se u potpunosti iskoristio sav njen potencijal. U eri sve veće konkurencije na tržištu korisnik čija bi se služba održavanja samo bavila savršenim održavanjem svojih letelica ne bi imao šanse da ekonomski preživi. Takav prilaz održavanju doveo bi ga do toga da bi sve letelice koje ima u floti bile u izuzetno dobrom stanju uz samo jednu manu – sve vreme bi provodile u hangarima [10]. Primena integriranih piezoelektričnih wafer senzora umnogome olakšava i pojednostavljuje pronalazačenje oštećenja na sredstvima, naročito ako je korisnik oformio banku podataka sa unesenim snimcima odziva struktura koji su izrađeni pri prethodnim pregledima i kontrolama. Na taj način bi se pratio prirast oštećenja i donosile odluke o karakteru intervencija na strukturi.

Literatura

- [1] Kropas-Huges, C. V., „*Vision of future directions of NDE*“, Review of quantitative Nondestructive evaluation, vol 21, 2002.
- [2] „*Emerging technology guided waves ultrasonics*“, June 1998.
- [3] Viktorov, I. A., „*Rayleigh and Lamb waves*“ Planum press 1967.
- [4] Dalton, R. P., Cawley, P., Lowe, M. J. S., „*The potential of guided waves for monitoring large areas of metallic aircraft structure*“, Nondestructive evaluation 2001.
- [5] Alleyne, D. N., Cawley, P., „*Optimization of lamb wave inspection techniques*“ NDTE International 1992.
- [6] Keilers, C. H., Chang, F. K., „*Identifying delamination in composite beam using built-in piezoelectrics*“, Intelligent material systems and structures 1995.
- [7] Giurgiutiu, V. et al, Zagrai, A., „*Characterization of PWAS*“, J. Intelligent material systems and structures 2000.
- [8] Giurgiutiu, V. et al, Zagrai, A., „*Embedded active sensors for In-situ structural health monitoring of thin wall structures*“, Pressure vessel technology 2002.

[9] Lines, D., Dickson, K., „*Optimization of high frequency array technology for lap-joint inspection*“, Proceedings of the 3rd Joint conference on aging aircraft. 1999.

[10] Jovičić, S. „*Primena sredstava za zaštitu od korozije - put ka ekonomičnijem održavanju*“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 57, No. 2, pp 94–100, ISSN 0042–8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2009.

EMBEDDED NDE WITH PIEZOELECTRIC WAFER-ACTIVE SENSORS

FIELD: Mechanical Engineering, Aeronautical and Space Engineering

Summary

Embedded nondestructive evaluation (NDE) is an emerging technology that will allow for the transitioning from conventional ultrasonic methods to embedded systems for structural health monitoring (SHM), such as those envisaged for the Integrated Vehicle Health Management (IVHM). Structural health monitoring for IVHM requires the development of small, lightweight, inexpensive systems to be embedded in the airframe with minimum weight penalty and at affordable costs. For non-destructive evaluation, PWASs can be used as both active and passive probes. The main advantage of PWASs over conventional ultrasonic probes lies in their small size, light weight, low profile, and low cost. In spite of their size, these novel devices are able to replicate many of the functions of the conventional ultrasonic probes.

PWAS-generated Lamb waves

The basic principles of Lamb-wave generation and detection by PWAS probes were first verified in simple laboratory experiments. The time difference between the initial bang and the wave-package arrival represents the time-of-flight (TOF). The TOF is consistent with the distance traveled by the wave. Very good accuracy is observed, proving that PWAS-generated Lamb waves are loud and clear, propagate omnidirectionally, and correlate well with the theory.

Pulse-echo with PWAS

A piezoelectric wafer-active sensor was used to demonstrate pulse-echo capabilities. These echoes were processed to evaluate the pulse-echo capabilities of the method. Since the wave generated by the initial bang underwent multiple reflections from the plate edges, each of these reflections had a different path length. The echoes were recorded from over 2 m distance, which is remarkable for such small ultrasonic devices. Thus, it was proven that PWASs are fully capable of transmitting and receiving pulse-echo signals of remarkable strength and clarity.

PWAS crack detection

Wave-propagation experiments were conducted on an aircraft panel to illustrate crack detection through the pulse-echo method. The panel has a typical aircraft construction, featuring a vertical splice joint and hori-

zontal stiffeners. In practice, such a situation would correspond to subtracting a signal previously recorded on the undamaged structure from the signal recorded now on the damaged structure. Such a situation of using archived signals is typical of health monitoring systems. When the two signals were subtracted, the result indicated the presence of the crack. This differential signal shows a loud and clear echo due entirely to the crack. Thus, PWASs were determined to be capable of clean and unambiguous detection of structural cracks.

PWAS phased arrays

The advantages of phased-array transducers for ultrasonic testing are multiple. By sequentially firing the individual elements of an array transducer at slightly different times, the ultrasonic wave front can be focused or steered in a specific direction. Thus, electronic sweeping and/or refocusing of the beam was achieved without physically manipulating the transducers. In addition, inspection of a wide zone was possible by creating a sweeping beam of ultrasonic Lamb waves covering the whole plate. Once the beam steering and focusing was established, crack detection was done with the pulse-echo method.

PWAS self-test

Since the PWAS probes are adhesively bonded to the structure, the bond durability and the possibility of the probe becoming detached are of concern. To address this, a PWAS self-test procedure has been identified that can reliably determine if the sensor is still perfectly attached to the structure. The procedure is based on PWAS in-situ electromechanical impedance. This emerging technology requires a sustained R&D effort to achieve its full developmental potential for applicability to full-scale aerospace vehicles.

The capability of embedded piezoelectric wafer-active sensors (PWASs) to perform in-situ nondestructive evaluation (NDE) is explored in this article. Laboratory tests are used to prove that PWASs can satisfactorily perform Lamb wave transmission and reception, and crack detection in an aircraft panel with the pulse-echo method is illustrated. For large-area scanning, a PWAS phased array is used to create the embedded ultrasonics structural radar. For quality assurance, PWASs are self-tested using electromechanical impedance.

Key words: *Embedded, wafer-active sensors, Lamb waves, nondestructive evaluation, maintenance.*

Datum prijema članka: 20. 05. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 18. 10. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 20. 10. 2010.

VIRTUELNI ATLASI SVETA

Borisov A. *Mirko*, Branković D. *Radoje*, Vojska Srbije
Vojnogeografski institut, Beograd

OBLAST: geonauke (geomatika)

Rezime:

U radu se iznose neke od mogućnosti vezano za aktuelnu problematiku prezentacije i vizualizacije geoprostornih podataka. Danas internet pruža mnoge mogućnosti posmatranja geoprostorne stvarnosti i fenomena koji se u njoj javljaju. Polje geodezije i kartografije je posebno interesantno, a virtuelni atlas postali su veoma atraktivni.

Key words: *internet, virtuelni atlas, Google.*

Uvod

Virtuelni atlas (eng. *Virtual Globes*) jesu softverske 2D ili 3D aplikacije bazirane na podacima sa interneta koje pružaju geoprostome informacije i modele Zemlje. Na aplikaciju su često dodati podaci o reljefu, kao što su, na primer, modeli visina, a satelitski i aerofoto snimci kombinuju se i referenciraju na model kako bi korisnici dobili utisak 3D virtuelnog atlasa. Na taj način, atlas omogućava korisniku da se slobodno kreće u virtuelnom okruženju uz mogućnost menjanja pozicije i ugla gledanja. U poređenju sa običnim atlasima, virtuelni atlas korisniku pruža dodatne mogućnosti da odabere da li želi da posmatra geografske objekte, puteve, zgrade, apstraktne prezentacije demografskih karakteristika, kao što je struktura naseljenih mesta i sl. ili kombinaciju pomenutih [1].

Virtuelni atlas sastoji se, obično, od dva segmenta. Grafički deo služi za prezentaciju slika i karata, dijagrama i drugih grafičkih prikaza, a pretraživački deo omogućuje orijentaciju i pretraživanje svih informacija atlasa. Mnogi autori razlikuju tri tipa virtuelnih atlasa:

- pokazne,
- interaktivne i
- analitičke atlase.

Pokazni atlas sastoje se od skeniranih geografskih karata i slika, koje se sadržajno i kartografski ne mogu menjati.

Interaktivni atlas omogućuju izbor i kombinaciju određenih varijabli (područje, tip dijagrama, granice klasa objekata i fenomena, boje). Interaktivnost je, međutim, ograničena ugrađenim mogućnostima.

Analitički atlas omogućuju korisniku da, kao i u GIS, bira sadržaj karte i kartografski ga uobličuje prema vlastitim potrebama. Pritom često postoje i mogućnosti numeričko-kvantitativne analize.

Po teritorijalnom zahvatu virtuelni atlas izrađuju se kao atlas sveta, kontinenta, država i oblasti. Takođe, po sadržaju se dele na opštegeografske i tematske, a po nameni na naučno-priručne, turističke i školske.

Primena virtuelnih atlasa

Virtuelni atlas mogu se koristiti za istraživanje ili navigaciju (povezivanjem sa GPS uređajem) i njihov dizajn varira shodno njihovoj primeni. Za detaljan prikaz Zemlje često se koriste satelitski snimci kojima može da se prikaže ne samo zumiranje i nagib, već i rotacija. Najpoznatiji virtuelni atlas su:

- NASA World Wind,
- Google Earth i
- ERDAS TITAN.

NASA World Wind je jedan od najambicioznijih softverskih projekata za široku javnost, koji predstavlja kombinaciju globalnog informacionog sistema koji se sastoji od geografskih karata, radarskih i satelitskih snimaka visoke rezolucije krupnijih od 15 m po pikselu. Sa njima je do skoro jedino raspolagala američka vojska. Oni pokrivaju područje cele Zemljine kugle, a mehanizam za zumiranje približava korisnika željenoj tački bez gubitaka u kvalitetu. Takođe, postoji mogućnost trodimenzionalnih prikaza pojedinih atraktivnih područja kakva su kanjoni, vodopadi ili, na primer, gradovi.

Klijentski program kojim se pristupa World Wind ima 180 MB. U potpunosti je prilagođen širokom auditorijumu i njime se upravlja jednostavnim komandama uz pomoć miša. Osim geografskih karata, program prikazuje animacije koje demonstriraju aktuelne efekte uragana, promenu godišnjih doba, požare, poplave, vulkanske aktivnosti i druge elementarne nepogode. U planu su atraktivna poboljšanja programa, tako da se mogu posmatrati dna okeana, pratiti razvoj ratnih operacija u realnom vremenu, a planira se i dodatno povećanje rezolucije snimaka.

Google Earth je virtuelni atlas razvijen u kompaniji Keyhole, Inc. koju je kompanija Google kupila 2004. godine [2]. Postoje tri verzije ovog softvera: Google Earth, Google Earth Plus i Google Earth Pro. To su virtuelni programi koji prikazuju Zemlju i omogućavaju pregledanje i istraživanje različitih svetskih lokacija. Google Earth kombinuje pretragu podataka sa prikazom satelitskih snimaka, karata, terena i trodimenzionalnih zgrada kako bi omogućio prikaz geoprostorne stvarnosti.

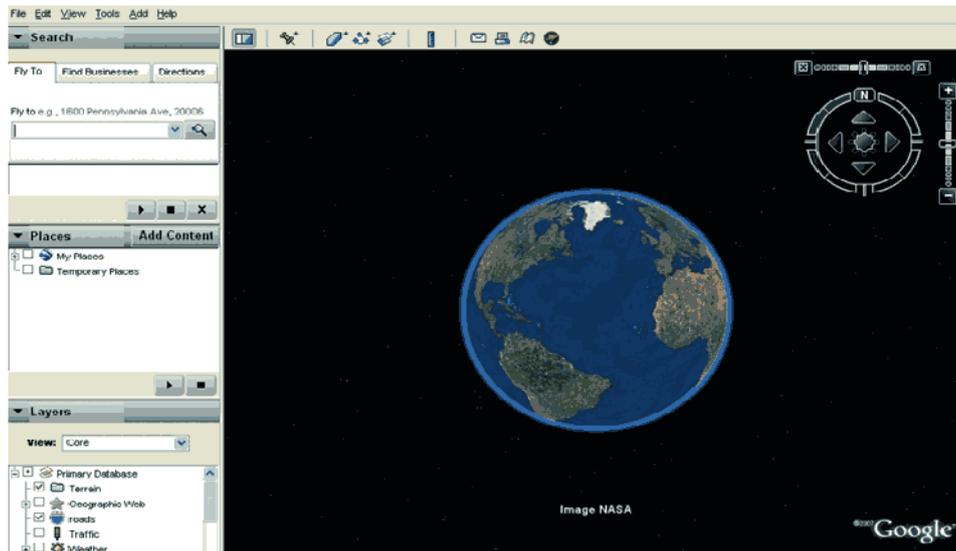
ERDAS TITAN je dinamična online solucija koja služi za razmenu geoprostornih podataka, veb servisa i podataka zasnovanih na lokacijama u jedinstvenom i sigurnom okruženju. ERDAS TITAN omogućava korisnicima da razmenjuju, pronalaze, vizualizuju, pristupaju i pohranjuju geoprostorne podatke u varijetetima desktop, internet aplikacija i 3D virtuelnih atlasa. Ovo 3D okruženje dozvoljava običnim korisnicima, ali i raznim organizacijama, da objavljuju svoje geoprostorne podatke i omoguće drugim korisnicima da koriste i pregledavaju te podatke.

Google Earth

Google Earth tj. Google Zemlja je virtuelni program koji prikazuje Zemlju i omogućava pretraživanje različitih lokacija. Prvobitno poznat kao Earth Viewer, Google Earth je razvijen u kompaniji Keyhole Inc. koja je raspolagala sa impresivnom tehnologijom vezanom za prikazivanje satelitskih snimaka. Razlika između Google Earth-a i drugih sličnih aplikacija je u tome što se umesto običnih geografskih karata prikazuju visokokvalitetni satelitski snimci [4]. Za većinu glavnih gradova i mnogih poznatih lokacija moguće je toliko se približiti površi Zemlje da se bez problema mogu videti ulice, automobili, zgrade, pa čak i ljudi. Program je kombinovan sa raznim planovima gradova, putokazima i aplikacijama koje korisnicima omogućavaju zanimljivije pretraživanje.

Google Earth kombinuje pretragu podataka sa prikazom satelitskih snimaka, geografskih karata, modela terena i trodimenzionalnih zgrada da bi omogućio prikaz geoprostorne stvarnosti. Nakon što se skupi dovoljan broj snimaka određenog područja, snimci se kombinuju i postavljaju na površ Zemlje. Google postavlja snimke koji se koriste za prikazivanje Zemlje na server, odakle ih korisnik preuzima svaki put kada koristi program. Pošto se satelitski snimci preuzimaju sa servera, korisnik Google Earth mora biti povezan na internet svaki put kada želi da koristi program. Google Earth prepoznaje kada će preuzeti koji snimak, jer prati koordinate po kojima se korisnik kreće, kao i nagib Zemlje i uvek preuzima snimke sa boljom rezolucijom.

Interfejs programa Google Earth je veoma komforan. Sistem za upravljanje je podeljen na nekoliko regiona. Najveći deo interfejsa zauzima radna površina gde je prikazana Zemlja i navigacioni tasteri koji omogućuju rotaciju, zumiranje, nagib i navigaciju. Sa leve strane nalazi se meni sa izborom lokacije koju želimo da pogledamo. U delu interfejsa *Layers* može se uključiti prikaz 3D zgrada, terena, ulica, saobraćajnica, itd.



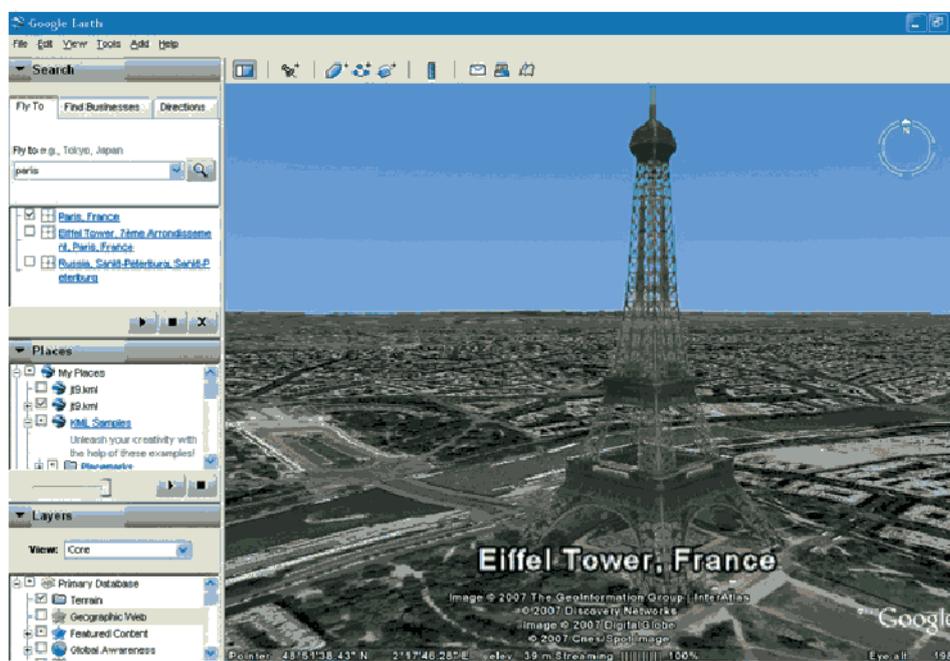
Slika 1 – Izgled početnog prozora Google Earth
Figure 1 – Google Earth home window

Pretraživanje se obavlja unosom imena države, regije, grada ili čak kućne adrese, posle čega Google Earth zumira prikaz Zemlje iz vasiona, sve dok ne postigne maksimalnu rezoluciju. Rezolucija snimaka koji se koriste za prikazivanje Zemlje nije ista za sva područja. Zbog toga se neka područja vide savršeno, neka postaju mutna kada se dođe do nivoa ulice, dok se u nekim naseljenim područjima uopšte ne mogu raspoznati zgrade. Većina zemalja prikazana je sa najmanje 15 metara rezolucije, dok najveću rezoluciju od 15 cm imaju gradovi Las Vegas (Nevada) i Kembriđž (Massachusetts). Kada je u pitanju prikaz gradova Srbije u Google Earth-u, najvećom rezolucijom je prikazan Beograd, koji možemo staviti u rang sa većim gradovima Evrope i sveta, poput Atine, Barselone i Bagdada, sa rezolucijom od 0,7 m/pixel (jedan piksel = 0,7 metara u prirodi).

Iako postoji još programa koji služe ovoj nameni, jednostavno upravljanje interfejsom, velika količina informacija i, što je najvažnije, brzina, daju programu Google Earth prednost nad konkurentima, od kojih je na prvom mestu NASA program za pregled lokacija na planeti. Iako ime NASA u startu zvuči impresivno, njihov softver je sporiji u odnosu na Google Earth, a i interfejs mu je siromašniji, što ga automatski isključuje kada su u pitanju nestrpljivi kućni korisnici i relativno spore veze na internetu.

Takođe, Google Earth omogućuje korisnicima da izbliza pogledaju snimke bilo koje lokacije na planeti (svetske metropole, reke, planine i regije u kojima žive). Označeni su važniji objekti poput škola, bolnica, restorana, hotela, manastira, benzinskih pumpi, bioskopa, biblioteka, poli-

cijskih stanica i drugih javnih servisa. U svakom trenutku moguće je uključiti ili isključiti prikaz 3D terena, zgrada, mostova, saznati u sekund tačne koordinate nekog objekta i promeniti ugao pogleda na lokaciju koju je korisnik posetio. Program daje i preporuke za izbor puteva ukoliko se putuje automobilom (samo za SAD i Evropu). Važnije lokacije imaju i 3D prikaze koji se mogu rotirati i izbliza pogledati. Omogućeno je memorisanje najinteresantnijih mesta, crtanje po snimcima, pisanje beleški i slanje snimaka e-poštom.

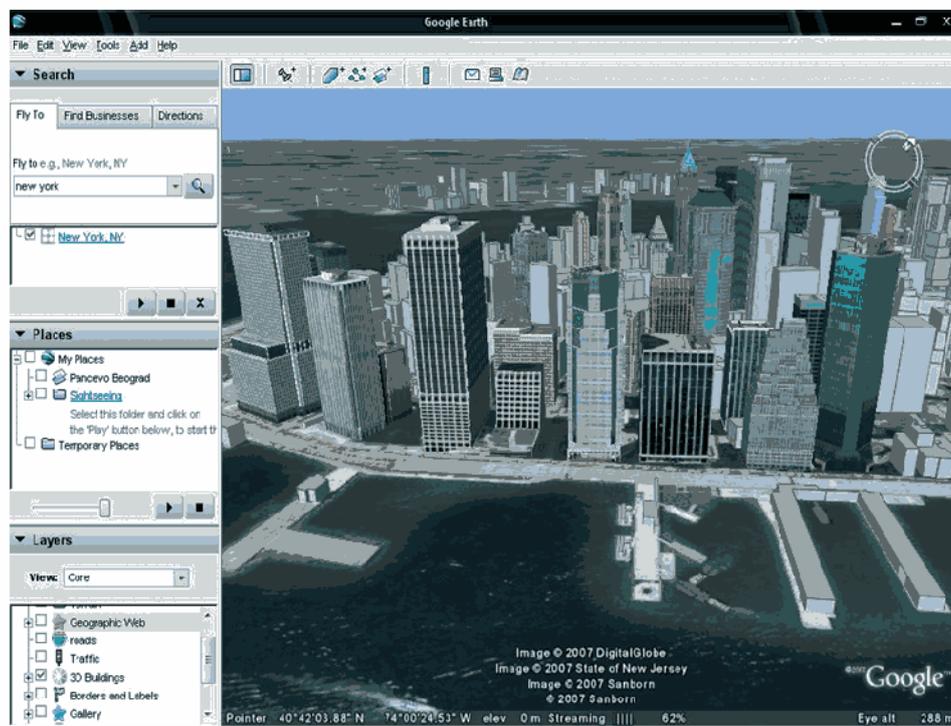


Slika 2 – 3D prikaz Ajfelove kule u Parizu

Figure 3 – 3D presentation of the Eiffel tower in Paris

Kompanija Google objavila je integraciju „stotine“ 3D građevina grada Hamburga u Nemačkoj u njihovu aplikaciju „Earth“ koji će na taj način postati prvi Googleov 3D grad. Prema rečima zvaničnog predstavnika, kompanija planira da kreira 3D slike koje će ljudima omogućiti da idu na interaktivna putovanja kroz gradove. Geoprostorni podaci će biti vezani za lokalnu pretragu, na primer, prikazivaće se restorani na ulicama i slično.

Početkom 2006. godine Google je objavio verziju Google Earth 4. koju karakteriše veliki broj 3D objekata u različitim gradovima širom sveta. Na sledećoj slici prikazan je 3D prikaz Njujorka u Google Earth.



Slika 3 – 3D prikaz Njujorka
Figure 3 – 3D presentation of New York

Visoki funkcioneri vlasti Indije, Južne Koreje i Tajlanda veoma su zabrinuti zbog dostupnosti satelitskih snimaka, vojne i državne infrastrukture putem servisa Google Earth. Iako ovaj alat može biti veoma koristan, jer je pomoću njega moguće videti delove sveta koji se na drugi način ne bi mogli videti, u pogrešnim rukama mogao bi biti i opasan.

Google Earth kritikovan je iz nekoliko razloga. Kritike govore o tome da Google Earth krši pravo na privatnost svakog čoveka i predstavlja pretnju nacionalnoj sigurnosti. Neki od političara, na primer, smatraju da je Google Earth pretnja nacionalnoj sigurnosti, jer pruža detaljni prikaz vojnih i nekih drugih objekata koji bi mogli postati mete napada terorista. Neke od fotografija nisu visoke rezolucije, ali neke veoma detaljno prikazuju ono što je u nekim zemljama označeno kao vojna tajna. I zaista, sa razlogom su vlade ovih zemalja zabrinute, jer postoji mogućnost da teroristi iskoriste ove satelitske fotografije za planiranje napada.

Putem Google Earth geografske mape Indije u velikoj rezoluciji postale su dostupne korisnicima. Kompanija je odabrala Indiju, ali i nekoliko drugih zemalja u razvoju, kako bi demonstrirala mogućnosti svoje usluge, ali je ta odlu-

ka izazvala zabrinutost indijskih vlasti [3]. Službenicima tamošnjih državnih agencija, zaduženih za bezbednost, naloženo je da pregledaju mape dostupne putem usluge Google Earth i daju procenu stanja nacionalne bezbednosti. Indijski predsednik izneo je tvrdnju da je Google posebno odabrao pojedine zemlje u razvoju, koje su ionako pod pretnjom terorističkih napada, i na internetu objavio visokokvalitetne satelitske snimke tih zemalja. Korisnici usluge Google Earth mogu na mapama Indije, pored ostalog, videti Parlament, predsedničku rezidenciju, zgrade u Delhiju u kojima su smeštene državne ustanove, kao i više vojnih objekata u raznim delovima zemlje.

Međutim, Debi Frost, portparol Google, tvrdi da Google Earth koristi informacije iz javnih izvora i da su prikazane fotografije stare nekoliko godina. Ona je izjavila i da Google ozbiljno shvata ove stavove pojedinih zemalja i da je sa njima spreman na razgovore o svemu što njih može brinuti.

Izraelski mediji preneli su pisanje britanskog „Gardijana“ da palestinske ekstremističke organizacije, koje iz pojasa Gaze raketama napadaju jug Izraela, koriste satelitske snimke Google Earth da izvide koju će izraelsku teritoriju gađati. Google je tim povodom saopštio da obraća pažnju na zabrinutost da Google Earth stvara nove bezbednosne rizike, naglasivši da ono što se vidi na programu i mapama nije nešto jedinstveno. Komercijalni satelitski i vazdušni snimci visoke rezolucije svake zemlje na svetu dostupni su iz više izvora.

Sledeća velika kritika Google Earth usmerena je na imena kojima su označavane lokacije. Imena u Google Earth često ne označavaju originalna imena mesta, što može predstavljati problem korisnicima. Google Earth kritikovan je zbog toga što nije uvek geografski i politički tačan. Indijska vlada uputila je protest kompaniji Google zbog toga što je pokrajina Kašmir predstavljena kao deo Pakistana, a Indija polaže pravo na deo Kašmira koji se trenutno nalazi pod upravom Pakistana.

Zbog navedenih kritika određeni vojni objekti širom sveta se više ne mogu jasno videti, već samo do određenog nivoa kada postaju zamučeni.

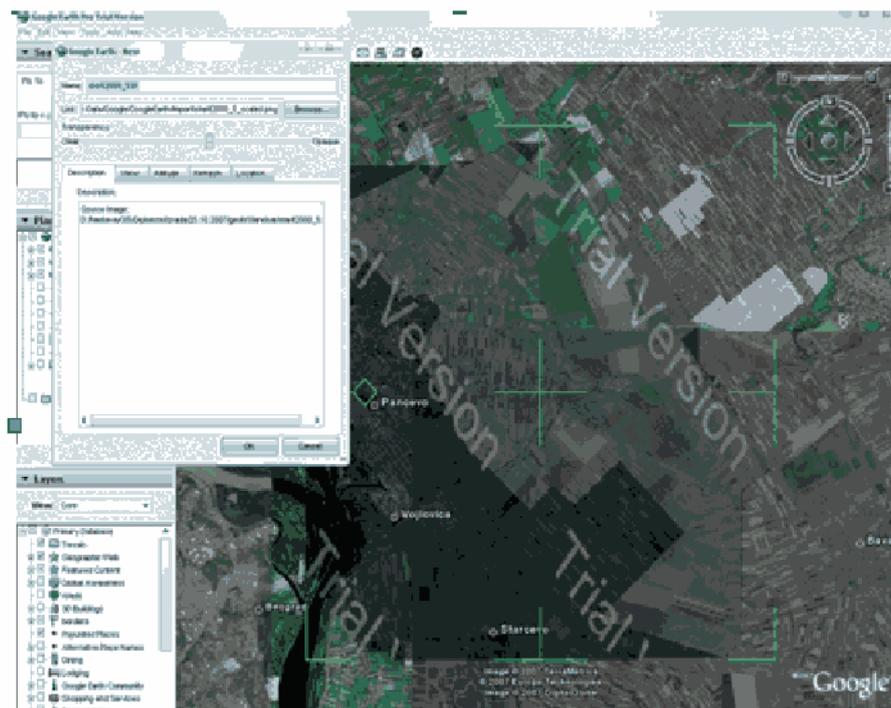
Google Earth je izazvao pažnju stručne javnosti i osvrte u mnogim časopisima širom sveta. Već 2005. godine objavljen je opširan članak u časopisu *GIS Development* sa mnogim izrazima neskrivenog oduševljenja. Članak se završava zapažanjima 12 uglednih stručnjaka, među njima i Ramona Lorenza, potpredsednika ICA-e i predsednika Španskog društva za kartografiju, fotogrametriju i daljinska istraživanja, zatim Vanesse Lawrence, direktorke Ordnance Surveya i Preetha Pulusani, jedne od direktora u kompaniji Intergraph [3]. Ramon Lorenzo ističe da će Google Earth imati pozitivan uticaj na školovanje studenata u svetu u odnosu na njihovo poznavanje Zemljine kugle i da smo na pragu velike utopije geografskog znanja u kojem će Zemlja u digitalnom obliku biti lako i trenutno dostupna univerzitetskoj zajednici.

Glavni urednik časopisa *GIM International*, Mathias Lemmens, ističe da je Google Earth privukao ne samo milione ljudi širom sveta, nego je i fascinirao stručnjake iz područja geonauka. Jedan od urednika istog ča-

sopisa komentarisao je pitanje da li je Google Earth alternativa komercijalnom GIS softveru [5]. Odgovor je i da i ne; ne – zbog nedostatka analitičkih mogućnosti kojima raspolažu savremeni GIS softveri, a da – jer je svrha geoprostorne podatke učiniti dostupnim širokoj javnosti, vladinim institucijama ili kompanijama.

Prikaz satelitskih snimaka u Google Earth-u

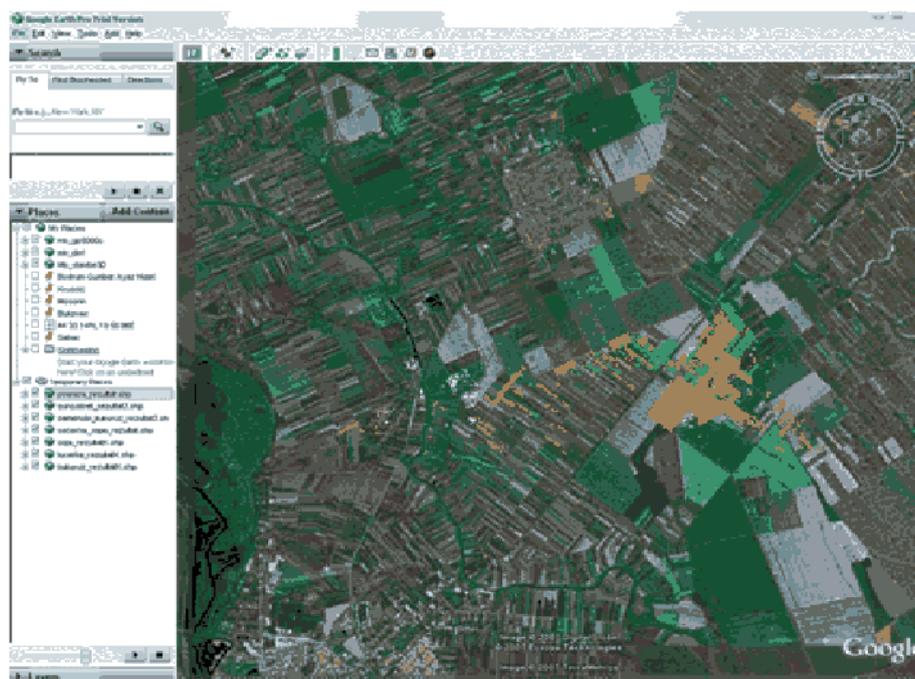
Za primer je uzet *Landsat* satelitski snimak grada Pančeva. Snimak je prethodno georeferenciran u Gaus–Krigerovoj projekciji, sedma zona, da bi mogao da se učita na odgovarajuće koordinate u Google Earth-u. Georeferenciranje se radi pomoću programskog paketa *Erdas Imagine 9.0*. Posle toga, snimak se učitava u Google Earth i automatski smešta na odgovarajuće koordinate. Ograničeni deo površine snimaka predstavlja površinu, tj. granice učitano snimka. Pošto je importovanje snimaka moguće jedino u Google Earth Pro verziji, čija se trial verzija dobija na korišćenje 7 dana, na snimcima piše „Trial version“ [6]. Snimak Pančeva učitana u Google Earth prikazan je na sledećoj slici.



Slika 4 – Satelitski snimak Pančeva prikazan u Google Earth-u
Figure 4 – Satellite of Pancevo in Google Earth

Prikaz vektora u Google Earth-u

U Google Earth-u mogu se prikazati i vektorski podaci, dobijeni klasifikacijom poljoprivrednih površina u neposrednoj okolini Instituta „Tamiš“. Takođe, za područje grada Pančeva i okoline Instituta „Tamiš“ urađena je klasifikacija poljoprivrednih površina, tako što su napravljeni skupovi uzoraka za kukuruz, soju, šećernu repu, suncokret i pšenicu, a zatim je izvršeno prepoznavanje. Klasifikacija se radi korišćenjem programa *ERDAS IMAGINE 9.0*, a vektorizacija rezultata pomoću programa *Feature Analyst*. Treba napomenuti da je broj tačaka koje se mogu prikazati u Google Earth Pro trial verziji ograničen na 100 tačaka za svaku klasu, tako da se na dobijenom rezultatu vidi samo deo klasifikovanih poljoprivrednih površina.



Slika 5 – Poljoprivredne površine u okolini Instituta „Tamiš“

Figure 5 – Satellite of „Tamiš“ Institute

Zaključak

Primena virtuelnih atlasa sveta sve je veća. Njihova glavna prednost je u tome što su veoma dostupni, laki za korišćenje i imaju veliku primenu. Kreiranje aplikacija je veoma jednostavno, što omogućuje svim kori-

snicima i naučnicima da vrlo lako razmenjuju svoje podatke u određenom formatu, što dovodi do sve veće razmene informacija, a samim tim i do razvoja nauke.

Osim ozbiljnih primena, virtuelni atlasi sveta privlače pažnju armije hobista koji pretražuju svet i uočavaju zanimljive slike. Popularni su vojni poligoni, nuklearne elektrane (do pre par godina pozicije strateških objekata smatrane su najstrožom tajnom), rezidencije političara i glumaca, avioni i brodovi „uhvaćeni” u pokretu.

Literatura

[1] Borisov, M.: „Nova tehničko-tehnološka rešenja u kartografskom izdavaštvu”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 55, No. 3, pp 354-362, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2007.

[2] www.earth.google.com

[3] www.ordsvy.gov.uk

[4] www.cartographic.com/geospatial_data_vector.asp

[5] www.opengeospatial.org

[6] www.geo.ed.ac.uk

WORLD VIRTUAL GLOBES

FIELD:

Abstract: Earth and Related Environmental Sciences (Geomatics)

Summary:

The article deals with some possibilities of presenting and visualising geospatial data. The Internet is especially useful for analyzing and detection of geospatial reality and its features. In the field of geodesy and cartography the use of the Internet is very impressive. Virtual atlases have become very attractive.

Introduction

Virtual globes are 2D and 3D software applications based on internet data and they represent geospace information and Earth models. Relief data are often added, such as, for example, elevation models, and satellite and aerial images are combined and referenced in the model so users could get an impression of a 3D virtual globe. In that way, globes enable users to move freely in virtual space with a possibility of changing the position and the angle of view. When compared with conventional globes, virtual globes enable users some additional possibilities such as to select whether they want to observe geographic objects, roads, buildings, abstract presentations of demographic characteristics such as structure of settlements etc. or their combinations.

Application of virtual globes

Virtual globes might be used for research or navigation (GPS connection) and their design depends on their purpose. For detailed views of the Earth, satellite images are often used, enabling not only zooming but also presenting the rotation as well as the inclination of the Earth. The most famous virtual globes are: NASA World Wind, Google Earth and ERDAS TITAN.

Google Earth

Google Earth is a virtual program which presents the Earth and enables finding different locations. The difference between Google Earth and other similar applications is that Google Earth does not use regular maps but high quality satellite images. For the majority of capital cities and many known locations it is possible to see streets, cars, buildings and even people. This application is combined with various plans of cities, and other applications that enable users more interesting research.

High officials of India, South Korea and Thailand express their concern because of the accessibility of satellite images of military and state infrastructures via the Google Earth service.

Critics say that the Google Earth jeopardizes the privacy rights and represents the threat to national security. Some of the politicians believe the Google Earth is threat to national security because it offers a detailed view of military and some other objects that could become targets for terrorist attacks.

Conclusion

Applications of world's virtual globes are generally in raise. Their main advantage is that they are easily available, easy to use and have numerous applications. World's virtual globes also attract people whose hobby is to research the World. Popular sites are military polygons, nuclear power plants (until a few years ago locations of strategic objects were considered top secret), politicians' and actors' residencies, planes and ships on move.

Key words: Internet, Virtual globe, Google.

Datum prijema članka: 09. 09. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 22. 03. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 24. 03. 2010.

REDUKCIJA GEODETSKIH MERENJA NA REFERENTNI ELIPSOID

Radojčić M. Stevan, Vojska Srbije,
Vojnogeografski institut, Beograd

OBLAST: geonauke

Sažetak:

Sve do sredine 20. veka, veličine koje su merene u geodeziji na fizičkoj površi Zemlje nisu sasvim korektno redukovane na računsku površ – površ rotacionog elipsoida, delom zato što je određivanje elemenata potrebnih za računanje popravki bilo gotovo nerešiv problem za geodeziju, a delom i zbog toga što greške koje su zbog toga nastajale nisu imale dominantni uticaj na tačnost merenja. Međutim, od sredine 20. veka preciznost geodetskih instrumenata i metoda postala je toliko velika da su greške redukcije kvarile ostvarenu tačnost. Istovremeno, razvoj geodezije omogućio je da se elementi neophodni za pravilnu redukciju danas određuju gotovo rutinski. Ipak, u Srbiji se ponekad i dalje primenjuje klasičan pristup, što se u savremenim uslovima ne može dopustiti. U radu se daje pregled formula koje se moraju koristiti kada se merenja sa fizičke površi Zemlje projektuju na elipsoid.

Key words: *elipsoid, terestrička geodetska merenja, redukcija.*

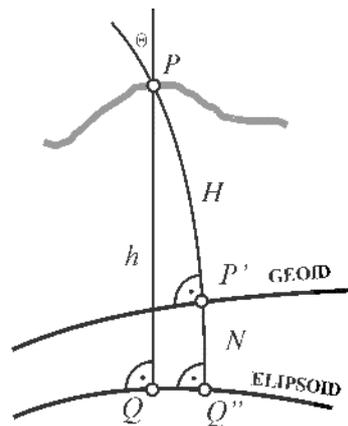
Uvod

Geodetska merenja vrše se na fizičkoj površi Zemlje, u trodimenzionalnom prostoru i u realnom polju sile teže. Stoga je prirodno da se funkcionalna veza između merenih veličina (uglova, dužina, pravaca, azimuta) i nepoznatih parametara (obično koordinata) uspostavi i formuliše pomoću trodimenzionalnog matematičkog modela, tim pre što on ne zahteva posebno složene matematičke operacije i računanja. Takav model u geodeziji razradio je još u 19. veku H. Bruns¹, ali je ostao neprimenljiv u praksi, jer zahteva merenje zenitnih rastojanja koja se, zbog fatalnog uticaja vertikalne refrakcije, ne mogu izmeriti dovoljno tačno [1]. Ovaj problem prevaziđen je razradom dva međusobno slabo uslovljena modela – *dvodimenzionalnog* (koji se odnosi na elipsoid ili ravan projekcije) i *jednodimenzionalnog* (koji se odnosi na srednji nivo mora, geoid ili kvazigeoid).

Međutim, kako se pokazalo, to ipak nije rešilo problem, već je samo odložilo potrebu njegovog rešavanja. Naime, dvodimenzionalni (elipsoidni) mo-

¹ Heinrich Bruns, 1848–1919.

del podrazumeva da se merenja na fizičkoj površi Zemlje projektuju najpre duž pravca sile Zemljine teže (tj. duž vertikalne) na geoid (slika 1), a zatim duž normale na elipsoid (tzv. Picetijeva² projekcija) ili da se direktno projektuju na elipsoid pomoću geodetske visine (tzv. Helmertova projekcija³); razlika ove dve projekcije je veoma mala i za primer na slici 1 iznosi maksimalno 30 cm [2]. U prvom slučaju potrebno je poznavati undulaciju geoida N , a u drugom geodetsku (elipsoidnu) visinu h , a određivanje obe veličine je, za razliku od određivanja ortometrijskih visina H , za geodeziju predstavljao složen i do sredine 20. veka gotovo nerešiv zadatak. Da bi se to izbeglo, elipsoid je pozicioniran u telu Zemlje tako da se što bolje prilagodi obliku geoida na određenom području – obično državnoj teritoriji, tzv. *nacionalni (lokalni) geodetski datum*, pa je projektovanje merenih veličina vršeno samo na geoid, a dobijena vrednost, zbog pretpostavljene male razlike geoid–elipsoid (nekoliko metara), tretirana kao da je projektovana na elipsoid.



Slika 1 – Projekcije Helmerta i Picetija
Figure 1 – Projections of Helmert and Pizzetti

Većina geodetskih datuma, definisanih do sredine 20. veka, određena je metodom jedne (fundamentalne) tačke triangulacije – lociranoj obično u centralnom delu nacionalne teritorije – u kojoj je postavljen uslov da se elipsoid i geoid dodiruju. Sa udaljenjem od fundamentalne tačke razlika dve površi raste ne samo u funkciji rastojanja, već i u zavisnosti od gustine i rasporeda mase u unutrašnjosti Zemlje, odnosno anomalija polja sile Zemljine teže. Ta činjenica, zajedno sa greškama orijentacije elipsoida (odnosno greškama astronomskih merenja na fundamentalnoj tački), uzrokovala je, po pravilu, puno veće razlike geoid–elipsoid nego što se teorijski pretpostavljalo. To se moglo to-

² Paolo Pizzetti, 1860–1918.

³ Friedrich Robert Helmert, 1843–1917.

Ako sa S_1 označimo projekciju vizurne tačke S_1 na jediničnu sferu, možemo definisati elemente koji se mere: α – astronomski azimut i z^0 – prividni zenitni ugao, kao i njima saglasne elemente na elipsoidu: A – geodetski azimut i z^E – zenitni ugao redukovan na normalu na elipsoid.

Redukcija astronomskog azimuta, odnosno njegovo svođenje na geodetski azimut, vrši se, u prvom koraku, prema [5]:

$$A = \alpha - (\lambda - L) \sin \varphi + (\eta \cos A - \xi \sin A) \cot z^0 \quad (1)$$

Merenje azimuta obično se vrši između tačaka sa malom razlikom visina. Drugim rečima, $z^0 \rightarrow 90^\circ$, pa je $\cot z^0 \approx 0$, na osnovu čega se, sa zadovoljavajućim stepenom aproksimacije, može pisati:

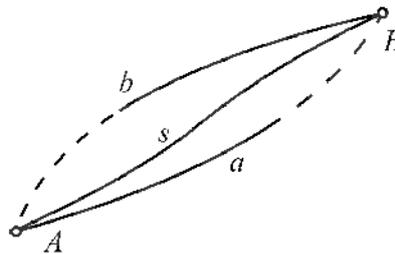
$$A \approx \alpha - (\lambda - L) \sin \varphi = \alpha - \eta \tan \varphi \quad (2)$$

Tada dobijamo tzv. *Laplasovu jednačinu*⁴ koja se obično koristi u triangulaciji viših redova i azimut koji se naziva Laplasov azimut.

U drugom koraku astronomski azimut treba redukovati kao i svaki drugi opažani pravac, popravkama koje se daju u narednom poglavlju.

Redukcija pravaca i horizontalnih uglova

Opazani pravac se na elipsoid redukuje pomoću tri popravke. Prva je tzv. *popravka za zamenu normalnih preseka geodetskom linijom*. Naime, pravac koji se sa tačke A opaža ka tački B (slika 3) nalazi se u *normalnoj ravni*, tj. ravni koja sadrži normalu u tački A i prolazi kroz tačku B . U opštem slučaju, presek te ravni sa elipsoidom (*normalan presek*, na slici 3 označen sa a) ne podudara se sa presekom elipsoida i ravni koja sadrži normalu u tački B i tačku A (b). Normalni preseki podudaraju se samo kada su obe tačke na istom meridijanu ili na istoj paraleli.



Slika 3 – Normalni preseki i geodetska linija
Figure 3 – Normal sections and the geodetic line

⁴ Pierre–Simone Laplace, 1749–1827.

Stoga se, u opštem slučaju, opažani pravac mora zameniti najkraćim rastojanjem između dve tačke na elipsoidu – geodetskom linijom (s), po formuli:

$$c_1 = -\rho'' \frac{S^2 e^2}{12a^2} \cos^2 B_m \sin 2A, \quad (3)$$

gde je:

$\rho'' = 206.264,8$ (vrednost radijana u seksagezimalnim sekundama),

S – dužina geodetske linije između A i B ,

B_m – srednja vrednost latituda tačaka A i B ,

a, e – elementi elipsoida, mala poluosa i prvi ekscentricitet i

A – azimut sa stanice na vizuru.

Popravka c_1 dobija se u sekundama kada je S u kilometrima.

Druga popravka opažanog pravca je tzv. *popravka za vizinu vizurne tačke*. Naime, u primerima na slici 3 stanica će se projektovati na površ elipsoida duž normale koja pripada normalnoj ravni. Pošto normala vizurne tačke, u opštem slučaju, ne pripada istoj ravni, vizurna tačka će se projektovati na elipsoid u tačku čija udaljenost od normalnog preseka zavisi od visine vizurne tačke od površi elipsoida. To se uzima u obzir popravkom c_2 :

$$c_2 = \rho'' \frac{he^2}{2a} \cos^2 B_m \sin 2A \quad (4)$$

Popravka c_2 dobija se u sekundama kada se a i e izraze u kilometrima.

Treća popravka koju treba dodati opažanom pravcu koji se redukuje na površ elipsoida je c_3 , tzv. *popravka za skretanje vertikala*. Računa se prema:

$$c_3 = (\eta \cos A - \xi \sin aA) \frac{\Delta h}{S} = (\eta \cos A - \xi \sin aA) \cot z^0 \quad (5)$$

Popravka c_3 dobija se u sekundama kada se visinska razlika stanice i vizurne tačke Δh i njihovo rastojanje S izraze u kilometrima, a komponente skretanja vertikale ξ i η u sekundama.

Prema tome, redukcija pravaca sa fizičke površi Zemlje na elipsoid vrši se tako što se opažani pravac popravi za vrednost $\delta = c_1 + c_2 + c_3$. Ova popravka se dodaje i Laplasovom azimutu.

Redukcija merenog horizontalnog ugla vrši se tako što se računaju razlike popravaka pravaca $\delta_2 - \delta_1$, gde je δ_2 – desni pravac, a δ_1 – levi pravac ugla.

Redukcija zenitnih uglova

Zbog uticaja atmosfere refrakcije, na fizičkoj površi Zemlje se, umesto zenitnih uglova z_1 i z_2 (slika 4), mere prividni zenitni uglovi z_1^0 i z_2^0 . Veza između merenih zenitnih uglova i zenitnih uglova koji su redukovani na elipsoid (z_1^E i z_2^E) data je relacijama:

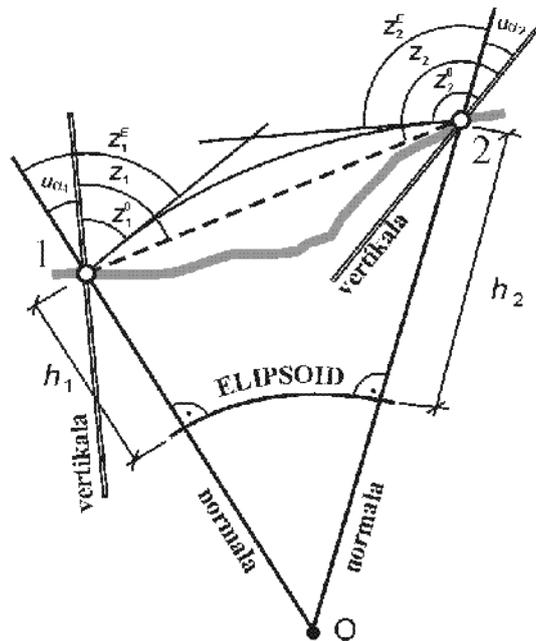
$$\begin{aligned} z_1^E &= z_1^0 + u_{\alpha 1} \\ z_2^E &= z_2^0 + u_{\alpha 2} \end{aligned} \quad (6)$$

gde su $u_{\alpha i}$ i komponente skretanja vertikale tačaka 1 i 2, u pravcu 1–2 pod azimutom α . Pošto je:

$$u_{\alpha} = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha, \quad (7)$$

sledi da je:

$$\begin{aligned} z_1^E &= z_1^0 + \xi_1 \cos \alpha + \eta_1 \sin \alpha \\ z_2^E &= z_2^0 - \xi_2 \cos \alpha - \eta_2 \sin \alpha \end{aligned} \quad (8)$$



Slika 4 – Redukcija zenitnih uglova
Figure 4 – Reduction of the zenithal angles

Redukcija dužina

Kada se direktno merena dužina između dve tačke na fizičkoj površi Zemlje popravi za uticaj atmosfere, dobija se najkraće (3D) rastojanje između razmatranih tačka, D^0 (slika 5). U prvom koraku treba ga svesti na tetivu D' , prema:

$$D' = \frac{\sqrt{(D^0)^2 - \Delta h^2}}{\sqrt{\left(1 + \frac{h_1}{R_A}\right)\left(1 + \frac{h_2}{R_A}\right)}}, \quad (9)$$

gde je:

Δh – razlika geodetskih (elipsoidnih) visina tačaka 1 i 2,

R_A – radijus Zemlje sračunat na osnovu Ojlerove⁵ fomule koja za rotacioni elipsoid glasi:

$$R_A = \frac{MN}{N \cos^2 A + M \sin^2 A}, \quad (10)$$

pri čemu je radijus zakrivljenosti duž meridijana:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B_m)^{3/2}}, \quad (11)$$

a radijus zakrivljenosti duž prvog vertikalna:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B_m)^{1/2}} \quad (12)$$

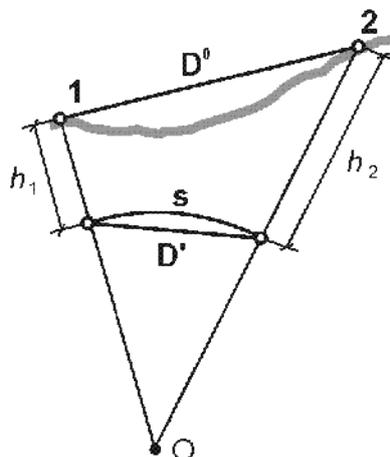
U drugom koraku sa tetive se prelazi na dužinu redukovanu na normalan presek, prema:

$$s = 2R_A \arcsin \frac{D'}{2R_A}, \quad (13)$$

U trećem koraku vrši se redukcija dužine sa normalnog preseka (s) na geodetsku liniju (s_G), prema [6]:

$$s_G = s - \frac{e^4}{360a^4} s^5 \cos^4 B_m \sin^2 2A. \quad (14)$$

⁵ Leonhard Euler, 1707–1783.



Slika 5 – Redukcija dužine
Figure 5 – Reduction of the distance

Kod radova u klasičnim geodetskim mrežama, kada rastojanja između tačaka ne prelaze nekoliko desetina kilometara, ova korekcija se može zanemariti.

Zaključak

Kada se obrada i prezentovanje rezultata najpreciznijih geodetskih merenja vrši u dvodimenzionalnom prostoru, na površi usvojenog elipsoida, neophodno je izvršiti pravilno projektovanje merenja sa fizičke površi Zemlje na elipsoid. To znači da se merene veličine moraju projektovati ili direktno na elipsoid (Helmertova projekcija) ili najpre na geoid, a zatim na elipsoid (Picetijeva projekcija).

Iako su donedavno merene veličine projektovane na geoid tretirane kao da su ujedno projektovane na elipsoid – uz opravdanje da se kod lokalnih geodetskih datuma elipsoid bira i pozicionira tako da se najbolje prilagođava obliku geoida na jednom delu površi Zemlje (obično teritoriji države), pa su dve površi međusobno bliske – u savremenim uslovima to više nije opravdano. Naime, tačnost sa kojom geodezija danas meri veličine na fizičkoj površi Zemlje može se znatno narušiti ako se ne izvrši korektan prelaz sa geoida na elipsoid, čak i onda kada su dve površi stvarno bliske, a pogotovo ako taj uslov nije ispunjen, kao što je slučaj u Srbiji.

Literatura

[1] Vaniček, P.; Krakiwsky, E. J.: *Geodesy : The Concepts*, Elsevier Science B. V., Amsterdam, 1986.

[2] Heiskanen, W. A.; Moritz, H.: *Physical Geodesy*, W. H. Freeman and Company, San Francisco and London, 1967.

[3] Radojčić, S.: *Analiza referentnih horizontalnih mreža SRJ*, magistarski rad, Univerzitet u Beogradu : Građevinski fakultet – Odsek za geodeziju, Beograd, 2001.

[4] Borisov, M.: „Topografsko-kartografski sistem prema novim vojnim standardima”, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 53, No. 3-4, pp 315-325, ISSN 0042-8469, UDK 623+355/359, Beograd, 2005.

[5] Dragomir, V.; Ghitau, D.; Mihailescu, M.; Rotaru, M: *Theory of the Earth(s) Shape*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 1982.

[6] Torge, W.: *Geodesy*, Walter de Gruyter, Berlin and New York, 2001.

REDUCTION OF GEODETIC OBSERVATIONS TO THE REFERENCE ELLIPSOID

FIELD: Earth Sciences

Summary:

Field observations refer to the vertical of the geoid, because the geodetic instruments are put in the working position in respect to the vertical. It is not appropriate for the calculations on the ellipsoid surface, which request measured elements to be referred to the normal of the reference ellipsoid. This means that the field observations must be reduced from the vertical to the normal, i.e. they must be somehow reduced from the Earth's physical surface to the surface of the reference ellipsoid. There are two methods to do this: Pizzetti's method and Helmert's method. Pizzetti's method projects the measured elements with the aid of the vertical onto the geoid surface and then, with the aid of the normal to the ellipsoid, projects them further onto the surface of the reference ellipsoid. Helmert's (or Bruns- Helmert's) method projects the measured elements directly onto the surface of the reference ellipsoid with the aid of the normal to the ellipsoid.

But, until the middle of the 20th century, none of them were used. This means that the field observations were not properly reduced onto the ellipsoid's surface; they were reduced only to the geoid's surface and then used as if they were reduced to the ellipsoid.

The reasons for that are simple. On the one hand, it was almost impossible to determine the relation between the geoid and the ellipsoid at each desired point on the Earth's physical surface (first of all the geoid undulations N and the components of the deflection of the vertical ξ and η), so it was very difficult to calculate the reductions. On the other hand, the consequences of neglecting the reduction from the geoid to the ellipsoid were too small, compared with the accuracy of the observations in that time.

However, these excuses cannot be accepted nowadays, when there are all conditions to calculate appropriate corrections for reducing geodetic observations from the geoid to the ellipsoid. Furthermore, the proper reduction must be done if we want to preserve the modern geodetic accuracy of field measurements.

This paper presents the formulas for the reduction of all geodetic terrestrial measured elements from the Earth's physical surface to the surface of the reference ellipsoid. The formulas and short explanations are given within the next chapters:

*Reduction of the astronomical azimuths,
Reduction of the directions and horizontal angles,
Reduction of the zenithal angles, and
Reduction of the distances.*

Key words: ellipsoid, terrestrial geodetic measurements, reduction.

Datum prijema članka: 09. 08. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 23. 08. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 24. 08. 2010.

THE 6th EUROPEAN METALLURGICAL CONFERENCE EMC 2011 (PROCEEDINGS REVIEW)

Stopić R. *Srećko*, IME Process Metallurgy and Metal Recycling RWTH Aachen University, Aachen, Germany

FIELD: Materials Engineering, Chemical Technology

Abstract:

The GDMB Society for Mining, Metallurgy, Resource and Environmental Technology organized the 6th European Metallurgical Conference (EMC 2011) in Duesseldorf from June 26 to 29, 2011. The same venue hosted the most important international metallurgical trade fairs for metallurgy of iron and steel, new casting and thermochemical processes METEC, GIFA, THERMOPROCESS and NEWCAST. The previous European metallurgical conferences were organized by GDMB in Friedrichshafen (2001), Harover (2003), Leipzig (2005), Duesseldorf (2007), Innsbruck (2009). The GDMB is a non-profit organization situated in Clausthal in Germany, which is related to combining science with the practical experience in metallurgy, mining, materials engineering, mineral processing, recycling and refining of metals, and manufacturing of semi- and finishing products. The European Metallurgical conference EMC is one of the most known conferences worldwide in the field of non-ferrous metallurgy and is attended regularly by the decision makers from the industry and universities. The scientific program contained 6 plenary lectures and more than 160 presentations from 40 countries in 5 parallel series. An extensive poster exhibition was held, during which the authors had an opportunity to introduce their posters to the entire plenum as a part of a brief presentation. The best poster from the Montan-University in Leoben, Austria, was awarded the € 500 "Poster Award EMC 2011". Not only were the most important European countries represented here, more than one third of the lecturers were from the non-European countries (Canada, Japan, China, USA, South Africa, Australia). The origin of the participants reflects the aim of the organizers: to make this conference a worldwide platform for the scientific exchange of experience and information. More than 400 participants from all over the world participated at this conference.

The scientific presentations of the conference are presented in five Proceedings: Vol. 1: Copper, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment; Vol. 2: Lead and Zinc, Process Control, Process Modelling, Vol. 3: Light metals, General Hydrometallurgy, Precious Metals; Vol. 4: Process Metallurgy, Recycling, Waste Treatment and Prevention, Vol 5: Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, waste effluents Treatment and Biohydrometallurgical application. The plenary lectures will be published in the scientific journal "World of Metallurgy – ERZMETALL", which is published by the GDMB.

Key words: Nonferrous metallurgy, recycling, hydrometallurgy, metal, environmental protection.

Introduction

The colleagues from Berzelius Metall GmbH, Germany; Rubamin Ltd, India; University of British Columbia, Canada; CANMET-MMSL Canada, Bechtel Corp., USA; Tohoku University, Japan; Murdoch University, Facultad de Ingenieria UNAM, Mexico; Atlantic Copper S.A., Spain and Montan University of Leoben, Austria, participated in the work of the Scientific Advisory Board. The Co-sponsoring Societies are most important metallurgical associations: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australia; The Austrian Society for Metallurgy and Materials; Deutsches Kupferinstitut Berufsverband; the European Metallurgical Equipment Association; Instituto de Ingenieros de Minas de Chile; The Institute of Materials, Minerals, and Mining of Great Britain; Metallurgical Society of CIM, Canada; The Mining and Materials Processing Institute of Japan; The Nonferrous Metals Society of China; Norwegian Metallurgical Society; Society of Mining, Metallurgy and Exploration (USA), Verband der Aluminium Recycling- Industrie e.V. Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V und Verband Deutscher Metallhändler. Between the 20 chosen chairmen two participants were from Serbia: Dr. Nikola Anastasijevic, Outotec GmbH and Dr. Srecko Stopic, RWTH Aachen University. Prof. Jakobi, president of the GDMB pointed out that EMC 2011 represents a signal to the world that the metallurgical industry is innovative and active and lives up to technical, ecological and economical challenges.

Plenary lectures

The plenary lectures of general interest for all conference participants were reported on Monday, June 27, 2011 and on Wednesday, June 29, 2011. The list of plenary lectures:

1. Willkinson, Stephen, International Zinc Association; Belgium: **Zinc- A sustainable Metal**
2. Steinbach, Volker; Bundeswissenschaft für Geowissenschaften und Rohstoffe, Germany: **Deutsche Rohstoffagentur-DERA-Tasks and Goals of the German Mineral resources Agency**
3. Meier, Andreas, H.C. Starck GmbH, Germany: **Refractory Metals-Materials for Key Technologies and High Tech Applications**
4. Wilson, David, International Lead Associations, United Kingdom: **Lead-A Bright Future for the Grey Metal?**
5. Kirchner, Guenther, Organisation of the European Aluminium Recycling Industry ((OEA), Germany, **Aluminium Scrap as Vital Source of Aluminium Supply**
6. Van Camp; Maurits; Group Research and Development Umicore, Belgium, **Sustainability in Research- The Vision of Umicore**

The chosen lectures

Copper, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment

Improving Copper Recovery from Production Slags by Advanced Stirring Methods

M. Zander, B. Friedrich – IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University; M. Hoppe, J. Schmidl – Aurubis AG; R. Degel, J. Kleinschmidt – SMS Siemag AG

The intensive slag cleaning was reported in this study. Decreasing the heavy metal contents in slag generates a high quality mineral product [1]. Intensive slag cleaning leads to economic and ecological benefits. Lab-Scale Experiments were performed in order to study an influence of different stirring conditions on the copper inclusions settling. The results of the Lab-Scale Experiments have shown

- Significant degree of slag cleaning in all experiments
- By heating up the slag to a level of temperature above 1500 °C with moderate stirring, the copper content in the slag was decreased up to a maximum of 50%
- No significant differences in the degree of cleaning by the trials with no bath movement compared to the trials with a marginal bath movement were observed
- Strong turbulence in the melt by flushing gas inhibits the copper particle settling

Dissolution of copper and selenium from copper anode slimes

Y. Kilic, S. Timur, Technical University in Istanbul, Turkey

The recovery process of copper and selenium from copper anode slimes has been studied by employing hydrometallurgical methods under different reaction parameters. The optimal conditions for copper extraction (93.8 % Cu) were reported: temperature (80°C), a flow rate of 2 L/min oxygen, a stirring speed of 800 rpm, a solid-to-liquid ratio of 1:5, the concentration of 2 M sulphuric acid in time of 2 hours [2]. Decopperized anode slimes were treated by sodium hydroxide in order to dissolve selenium. The concentration of sodium hydroxide has a big influence on selenium extraction. The maximum recovery of 86.8 % selenium was detected in 4 M sodium hydroxide solution at a reaction temperature of 90°C with a used flow rate of 2l/min oxygen and stirring speed of 800 rpm in 3 hours.

Metallurgical fundamentals for an autothermic melting of WEEE in top blown rotary converter

S. Maurell Lopez, S. Gull, B. Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany

M. Ayhan, M. Eschen, Aurubis AF, Hamburg, Germany

The New IME Recycling Research Center (IRRC) was built in last three years in the heart of Aachen at the RWTH Aachen University in Germany. This centre contains new electric arc furnace (EAF) and Top Blown Rotary Converter (TBRC). The recycling flow of used electric and electronic devices (EEE) is rapidly increasing in Western Europe because of the WEEE (waste of electronic and electric equipment)- directive 200/96/EC from 27.01.2003. Two different types of scrap are investigated in this work: Shredded circuit boards (called L1), Copper rich fraction of WEEE (called Y1). The off gas is cleaned by a state- of- the -art system which makes it possible to run this at the IME Process Metallurgy and Metal Recycling of the RWTH Aachen University. The experiments were performed at a temperature of 1250°C [3]. The material is inserted to the furnace with a maximum rate of 120 kg/h.

Lead and Zinc, Process Control, Process Modelling

Improvement of selectivity and kinetics in lead refining by controlled oxygen offer and employment of rotor injectors

B. Friedrich, A. Arnold, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University

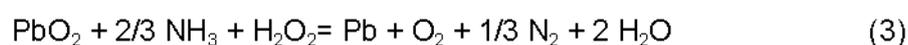
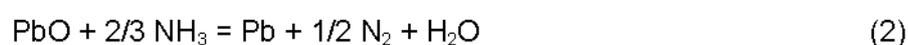
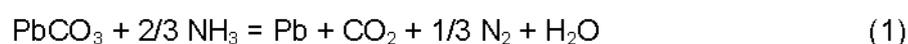
Lead is one of the oldest metals. Because of corrosion protection lead is broadly used in industry. Lead production involves several steps giving as a final product "Crude Lead". Removal of Sn, Sb, As by selective oxidation is a most present research subject. Oxidation kinetics of crude lead at 600°C to 617°C was investigated. The oxidation of the lead examined Pb-bullion has shown high selectivity when an oxygen supply in the gas mixture of 0.9 l/min was applied [4].

The FAST Pb Process- Electrowinning of Battery Paste of Oxidized Lead bearing materials

M. Maccagni, Engitec Technologies, Italy

A new electrochemical approach based on a chloride electrolyte and a high productivity flow cell was presented in order to point an importance of the recycling processes in lead metallurgy. In the last decade Lead

acid batteries are the most important raw materials for lead production. The problems related to recover lead from battery paste via electrowinning are such as: Lead sulphate has to be desulphurised to convert it to a soluble lead compound; prevention of PbO₂ deposition on anode; use of an insoluble anode with mechanical and chemical stability; and management of anode and cathode generated gases or mists. The FAST (Flakes Auto-Stripping Technology) Pb electrowinning Process improves an environmental impact making the process cheaper at the same time [5]. Total process reactions are shown below:



Generally, the FAST process regenerates the leaching reactant but consumes some NH₃ because of the chemical reaction following the anodic reaction. After a long test time in a pilot/bench plant, a demonstration plant was built by the Engitec company in Italy to demonstrate it fully.

Primary Lead Production with the QSL Process- an Ecological and Economical Advanced Technology

U. Meuer, H. Ambroz, Berzelius Stolberg GmbH, Germany

The benefits and energy savings in a new developed process BAYQIK process are described in this paper. This previously mentioned process was developed by the Berzelius Stolberg GmbH, Germany in co-operation with the company Bayer Technology Services. It enables the SO₂ content in the off-gas from QSL reactor to be raised up to 18 vol % while maintaining the gas stream constant at about 25,000 m³/h [6]. Since 1990, BERZELIUS has been operating a double-catalysis sulphuric acid plant associated with its QSL reactor. The Queneau-Schuhmann-Lurgi (QSL) process treats all grades of lead concentrates, in a refractory-lined reactor into which oxygen and natural gas are blown through pipes at the bottom. The BAYQIK Process was developed in 2006 by applying state-of-the-art process simulation techniques. In 2007, the process was tested in a pilot reactor under real process conditions, integrated with sulphuric acid plant of BERZELIUS. By installing this new process in a bypass mode, it is possible to continue the operation of the existent double-catalyst plant without any modification related to the SO₂ emissions.

Light metals, General hydrometallurgy, Precious metals

Mechanism of Nanogold Formation by Ultrasonic Spray Pyrolysis

S. Stopic, R. Dittrich, B. Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University

Gold nanoparticles were prepared by ultrasonic spray pyrolysis changing the reaction temperature and ultrasonic frequency. Two ultrasonic sources of 0.8 and 2.5 MHz, acted on the water solution of the HAuCl_4 forming aerosols with constant droplet sizes between 2.26 and 4.79 μm . The real size of droplets depends on the characteristics of the solution (surface tension, viscosity, and density) and the frequency of the ultrasound. In order to produce gold nanoparticles, a subsequent thermal decomposition of the aerosol droplets was performed in the hydrogen atmosphere between 260 °C and 500 °C [7].

SEM and EDS analysis have confirmed the presence of gold with different morphological forms (spherical, cylindrical and triangular), which is of big importance for some medical applications. The mechanism of synthesis of nanosized particles was proposed to form aerosol droplet via a solution precipitation and hydrogen reduction of the formed gold chloride and a subsequent sintering. Thermochemical investigations have confirmed a high value of negative Gibbs free energy for the hydrogen reduction of gold chloride up to 800 °C in contrast to the calculated positive values for the thermal decomposition of HAuCl_4 . Thermalgravimetric analysis of HAuCl_4 reported a decomposition of HAuCl_4 to AuCl_3 at 250 °C.

Nanosized Metallic Oxides produced by Ultrasonic Spray Pyrolysis

J. Bogovic, S. Stopic, B. Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, J. Schroeder, Institute for Technology in Karlsruhe

Synthesis of ideally spherical TiO_2 nanoparticles using an ultrasonic spray pyrolysis method was investigated in the nitrogen atmosphere at 800 °C from a new developed precursor solution. Droplet size distributions of precursor solutions were measured with the laser diffraction system (Malvern Spraytec). An examination of influence of the most critical process step (evaporation/precipitation) on the particle morphology was discussed in this work. In order to avoid the formation of non spherical particles, it is recommended to use a new reactor with slowly increasing temperature profile. A high evaporation rate leads to the formation of some destroyed non spherical particles [8].

Hydrometallurgical Processing of Li-ion battery scrap from Electric Vehicles

H. Wang, M. Vest, B. Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany

In the scope of German national project the Hydrometallurgical Processing of Li-ion battery scrap from Electric Vehicles was studied. The main targets of this work were: a) Appropriate treatment of used batteries of electric vehicles, b) Development of an optimal hydrometallurgical process, c) Recovery of all valuable environmentally friendly materials (especially Li). The previous thermo-mechanical Treatment contained: 1) Disassembling (cells, steel casing, electric scrap, plastic), 2) Deactivation and electrolyte evaporation, and 3) Shredding and separation. The hydrometallurgical process contains three most important steps: leaching, purification of solution and precipitation of Li_2CO_3 . The recovery rate of lithium in the whole process amounts to 58% [9].

Process Metallurgy, Recycling, Waste treatment and Prevention

New perspectives in the Recycling of Dusts from Integrated Steel Mills

J. Antrekowitsch, Montanuniversität Leoben, Austria

This paper has reported the available metallurgical processes for the treatment of dusts from Integrated Steel Mills. New developments, first trials and product quality are considered. Regarding possible formations, three types of dusts were considered: Cupola furnace dusts, Electric Furnace Dusts EAF and Basic Oxygen Furnace Dusts BOF. The recycling rates for EAF and BOF amount to 45 % und 10 %, respectively. The most important target is an increase of recovery of zinc from solid residue. The BOF-dusts often contain a higher amount of metallic components (Zn, Fe) due to different gas systems [10]. The advantages and disadvantages of most frequently used process types (such as FASTMET, Oxycup, Primus) for recycling BOF dusts were reported. The first trials with combinations of the state-of-the-art methods as well as investigations with the use of a reducing iron bath as a central process part have shown the promising results.

Sulphur Control in Nickel-Based Superalloy Production

J. Morscheiser, L. Thönnessen, B. Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany

Sulphur is a common impurity in raw materials and detrimental for the mechanical properties of nickel-based superalloys. The common method of desulphurization by NiCa and NiMg addition in vacuum induction melting is limited by several factors. The main target of this work is the

desulphurization during pressure electroslag remelting using active slags with different additives. Electroslag remelting is known to remove sulphur from iron- and nickel-based alloys. Regarding the removal of sulphur from the electrodes, $\text{CaF}_2\text{-CaO-CeO}_2$ seems to be the most efficient slag system [11]. The activity of the reagents in the fluxes will be optimized by further experiments and thermochemical calculations by means of FactSage 6.2 developed in Germany.

Challenges in Titanium Recycling – Do We Need a Specification for Secondary Alloys?

B. Rotmann, B. Friedrich, C. Lochbichler, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany

The impacts of scrap compositions, scrap pretreatment and various refining operations on final titanium alloys compositions are considered in this study. Due to cost considerations, titanium alloys still play a minor role in mass applications. Conventional recycling focuses on classified, clean scrap. Low-grade scrap is downgraded to ferrotitanium alloys. Utilization of an inexpensive low-grade scrap fraction in a recycling process would result in a cost-competitive secondary titanium alloy. However, a new challenge arises with this proposed approach. Substitution of a titanium sponge by inexpensive low-grade scrap is possible in the IME recycling process [12]. It is concluded that a new, broader alloy specification of alloys is essential in order to open mass-application markets for the resulting secondary titanium alloys.

Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, Waste effluents Treatment and Biohydrometallurgical applications

Non-ferrous metals- Alternative Energy and Climate Change Implications

M. Ansari, Niitco GmbH, Germany

In this work the alternative energies, climate changes and economic implications were considered. It is reported that the use of renewable and less polluting fuels in the industry leads to the minimization of capital investment requirements and reduction of pollution. The climate change impacts are increasingly recognised by the financial community as a business risk issue with financial and environmental consequences [13]. Governments may play an important role by imposing and regulating stricter standard for energy efficiency. It is concluded that a better education and information are required for an efficient energy management.

Sustainable High Rate Biotechnology Applicable to Metallurgical Sulphuric Acid Plants

J. Huisman, M. Weghuis, Paques BV, The Netherlands

Sulphuric acid consumption is still increasing. Biological reduction and oxidation of sulphur compounds combined with desired selective metal recovery is a very well-known process. In the last 20 years this technology was characterized by compact residues and very high removal efficiencies and successfully applied by Paques BV under name Sulfatec™ at a zinc refinery in the Netherlands. In this study the successful implementations in different engineering systems at metal refineries were described. The background of biological sulphate removal and metal recovery with bio-based alternative for weak acid bleed treatment were reported. The weak acid bleed treatment at a lead smelter separates the dissolved metals in the acid and in a lead oxide dust into various fractions that can be reused effectively [14].

Application of Fluidized Beds in Metallurgy for better Energy Efficiency and Process Optimization

C. Klett, M. Missalla, J. Hammerschmidt, Outotec GmbH, Germany

Different fluidized bed types and configuration and new development were considered by the Company Outotec GmbH (former Lurgi Outokumpu, Germany). Fluidized beds are widely used in the processing of metal ores and concentrates and other fields in the nonferrous metallurgy and metallurgy of iron and steel. The most important characteristics of fluidized beds are: 1) Very low fuel consumption for an endothermic process such as calcination, 2) high utilization of energy in an exothermic process as roasting, 3) easy handling and transport of solids. A circulating Fluidized Bed CFB by the Outotec GmbH allows high throughputs and long residence time in small vessels with a very uniform temperature profile and good solid mixing. The optimization of fluidized bed processes was investigated in this work. The Outotec has reported about a Circulating Fluidized Bed CFB operating under very high gas velocities [15], especially for the treatment of fine particles.

Conclusion

The scientific presentations of the 6th European Metallurgical Conference were presented in five books (total of 1908 pages): Vol. 1: Copper, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment; Vol. 2: Lead and Zinc, Process Control, Process Modelling, Vol. 3: Light metals, General

Hydrometallurgy, Precious Metals; Vol. 4: Process Metallurgy, Recycling, Waste Treatment and Prevention, Vol 5: Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, Waste effluents, Treatment and Biohydrometallurgical application. The 6th European Metallurgical Conference has confirmed that the metallurgical industry is highly innovative and has lived up to ecological and economical challenges with big success.

References

- [1] Zander, M. et al. (2011): Improving Copper Recovery from Production Slags by Advanced Stirring Methods, Copper, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment; Vol. 1, 181-196.
- [2] Kilic, Y., Timur S. (2011): Dissolution of copper and selenium from copper and selenium from copper anode slimes, Copper, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment; Vol. 1, 57-70
- [3] Maurell-Lopez S. et al. (2011): Metallurgical fundamentals for an autothermic melting of WEEE in top blown rotary converter, Copper, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment; Vol. 1, 277-290.
- [4] Friedrich B., Arnold A. (2011): Improvement of selectivity and kinetics in lead refining by controlled oxygen offer and employment of rotor injectors, Lead and Zinc, Process Control, Process Modelling, Vol. 2, 403-416.
- [5] Maccagni M. (2011): The Fast Pb Process- Electrowinning of Battery Paste of Oxidized Lead bearing materials, Lead and Zinc, Process Control, Process Modelling, , 471-480.
- [6] Meurer U., Ambroz H. (2011): Primary lead production with the QSL Process- an ecological and economical advanced technology, Lead and Zinc, Process Control, Process Modelling, Vol. 2, 481-488.
- [7] Stopic, S., Dittrich R., Friedrich B. (2011): Mechanism of nanogold formation by ultrasonic spray pyrolysis, Light metals, General Hydrometallurgy, Precious Metals; Vol. 3, 1065-1076.
- [8] Bogovic J., Stopic S., Friedrich B., J. Schroeder (2011): Nanosized metallic oxides produced by Ultrasonic Spray Pyrolysis, Light metals, General Hydrometallurgy, Precious Metals; Vol. 3., 1053-1064
- [9] Wang H., Vest M., Friedrich B. (2011): Hydrometallurgical Processing of Li-ion battery scrap from Electric Vehicles, Light metals, General Hydrometallurgy, Precious Metals; Vol. 3., 1033-1049.
- [10] Antrekowitsch J. (2011): New perspectives in the Recycling of Dusts from Integrated Steel Mills, Process Metallurgy, Recycling, Waste Treatment and Prevention, Vol. 4, 1305-1314.
- [11] Morscheiser J., Thönnessen L., Friedrich B. (2011): Sulphur Control in Nickel-Based Superalloy Production, Process Metallurgy, Recycling, Waste Treatment and Prevention, Vol. 4, 1197-1211.
- [12] Rotmann B., Friedrich B., Lochbichler C. (2011): Challenges in Titanium Recycling – Do We Need a Specification for Secondary Alloys? Process Metallurgy, Recycling, Waste Treatment and Prevention, Vol. 4, 1465-1480.

[13] Ansari M. (2011): Non-ferrous metals-Alternative Energy and Climate Change Implications, Non-ferrous metals-Alternative Energy and Climate Change Implications, Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, waste effluents Treatment and Biohydrometallurgical applications, Vol. 5, 1521-1538.

[14] Huisman J., Weghuis M., (2011): Sustainable High Rate Biotechnology Applicable to Metallurgical Sulphuric Acid Plants, Non-ferrous metals-Alternative Energy and Climate Change Implications, Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, waste effluents Treatment and Biohydrometallurgical applications, Vol. 5, 1599-1607.

[15] Klett C., Missalla M., Hammerschmidt J. (2011): Application of Fluidized Beds in Metallurgy for better Energy Efficiency and Process Optimization, Non-ferrous metals- Alternative Energy and Climate Change Implications, Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, waste effluents Treatment and Biohydrometallurgical applications, Vol. 5, 1609-1622.

ŠESTA EVROPSKA KONFERENCIJA O METALURGIJI EMC2011 (PRIKAZ ZBORNIKA RADOVA)

OBLAST: materijali, hemijske tehnologije

Sažetak:

Udruženje za rudarstvo, metalurgiju, sirovine i tehnologije za zaštitu životne sredine (GDMB), u periodu od 26. do 29. juna 2011. u Diseldorfu, organizovalo je Šestu evropsku konferenciju o metalurgiji EMC 2011. Na istom mestu su održani i sajmovi metalurgije u oblasti gvožđa i čelika, livenja i termohemijskih procesa METEC, GIFA, THERMOPROCESS i NEWCAST. Prethodne evropske konferencije o metalurgiji održane su u Fridrihshafenu (2001), Hanoveru (2003), Lajpcigu (2005), Diseldorfu (2007) i Insbruku 2009. GDMB je neprofitna organizacija sa sedištem u Klausthalu u Nemačkoj, koja se bavi povezivanjem nauke i praktičnih iskustava u metalurgiji, inženjerstvu materijala, procesiranju minerala, recikliranju, rafinaciji metala, proizvodnji poluproizvoda i završnih proizvoda.

Evropska konferencija o metalurgiji EMC jedna je od najpoznatijih konferencija širom sveta u oblasti obojene metalurgije i redovno je posećuju eminentni stručnjaci sa univerziteta i iz industrije. Naučni program je sadržao šest plenarnih predavanja i više od 160 prezentacija iz četrdeset zemalja u pet paralelnih sekcija. Održana je i dodatna poster-sekcija, gde su autori imali mogućnost da predstave svoje rezultate i održe po kratku prezentaciju. Najbolji poster sa Montan-Univerziteta u Leobenu u Austriji nagrađen je sa pet stotina evra. Sem autora iz Evrope, više od jedne trećine predavača bilo je iz zemalja izvan Evrope (Kanada, Japan, Kina, Amerika, Južna Afrika, Australija), što potvrđuje cilj organizatora da stvori jednu konferenciju sa širokom platfor-

mom za razmenu naučnih ideja i informacija i razvijanje poslovnih kontakata. Više od 400 učesnika učestvovalo je na ovoj konferenciji. Naučne prezentacije predstavljene su u pet različitih knjiga: prva knjiga: bakar, opšta pirometalurgija, integrisanost reaktora, prerada otpadnih gasova; druga knjiga: olovo i cink, procesna kontrola i modelovanje; treća knjiga: laki metali, opšta hidrometalurgija, plemeniti metali; četvrta knjiga: procesna metalurgija, recikliranje, tretiranje otpada i zaštita; peta knjiga: održive tehnologije, održiva proizvodnja obojenih metala, prerada otpadnih materijala i primene u bioprocesima i metalurgiji. Plenarna predavanja biće objavljena u naučnom časopisu: ERZMETALL Svet metalurgije – Rude i metali, koji izdaje udruženje GDMB:

Ključne reči: obojena metalurgija, recikliranje metala, hidrometalurgija, zaštita životne sredine.

Datum prijema članka: 15. 08. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 17. 08. 2011.

10. MEĐUNARODNI NAUČNO-STRUČNI SIMPOZIJUM „INFOTEH – JAHORINA 2011“ (PRIKAZ ZBORNIKA RADOVA)

Pokorni J. Slavko, Visoka škola strukovnih studija za
informacione tehnologije, Beograd

OBLAST: Informacione tehnologije

Sažetak:

U ovom prikazu date su osnovne informacije o istorijatu, cilju, značaju i oblastima rada međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma INFOTEH – JAHORINA, a predstavljen je i ovogodišnji simpozijum INFOTEH – JAHORINA 2011 (broj i struktura radova, osnovne informacije o pojedinim oblastima i prikaz odabranih radova).

Key words: informacione tehnologije, simpozijum, prikaz.

U periodu od 16. do 18. marta 2011. godine na Jahorini u Republici Srpskoj, održan je 10. (jubilarni) međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH – JAHORINA 2011, posvećen informaciono-komunikacionim tehnologijama.

Glavni organizator simpozijuma bio je Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, a suorganizatori ovogodišnjeg simpozijuma su Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu i Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu.

Programski odbor ovogodišnjeg INFOTEH – JAHORINA činila su 32 poznata naučna radnika (Bosna i Hercegovina 12, Bugarska 1, Cma Gora 2, Makedonija 1, Nemačka 3 i Srbija 13).

Cilj Simpozijuma bio je sveobuhvatno i multidisciplinarno sagledavanje aktuelnosti u oblasti informacionih tehnologija i njihova primena u sistemima upravljanja industrijskim postrojenjima, komunikacionim sistemima, proizvodnim tehnologijama, elektroenergetici, kao i u drugim oblastima od interesa za brži i uspješniji razvoj sredine u kojoj živimo.

Rad na Simpozijumu odvijao se putem sednica, okruglih stolova, diskusionih foruma, predavanja po pozivu i prezentacija.

Osnovne teme (oblasti) simpozijuma bile su:

- A) Primena računarske tehnike i informatike u sistemima upravljanja,
- B) Informaciono-komunikacioni sistemi i tehnologije,
- C) Informacioni sistemi u proizvodnim tehnologijama,

D) Informacione tehnologije u oblasti elektroenergetike,

E) Informacione tehnologije u drugim oblastima od šireg interesa (obrazovanje, medicina, multimedija, poslovna informatika, novi softverski alati, elektronika i energetska elektronika, ...) i

F) Diskusioni forum studenata.

U oblastima u kojima je bio zastupljen veći broj radova, radovi se se delili u sesije, kojima se, po potrebi, dodavao i poseban naziv. Na diskusio-nom forumu studenti su mogli kroz kraće izlaganje prezentirati svoje semi-narske radove, demonstrirati praktične rezultate, izložiti mišljenje o organi-zaciji i metodama rada na osnovnim i posleddiplomskim studijama, itd.

Izloženi radovi i prezentovane diskusije objavljivali su se u zborniku radova.

Naučno-stručni Simpozijum INFOTEH nastavak je međunarodnog Simpozijuma JAHORINA koji je posljednji put održan 1991. godine na Jahorini. Prvi naučno-stručni Simpozijum INFOTEH– JAHORINA održan je od 12. do 14. marta 2001. godine na Jahorini, kada su izložena 53 rada i 6 prezentacija firmi, a bilo je nešto više od sto učesnika. Od tada je održavan svake godine u martu, osim 2004. godine. Detaljnije informacije o do sada održanim simpozijumima mogu se videti na veb strani www.infoteh.rs.ba.

Od 2001. godine, kada je simpozijum INFOTEH – JAHORINA prvi put održan, stalno raste broj prijavljenih i objavljenih radova, a i broj učesnika, ne samo sa prostora bivše Jugoslavije. Može se zaključiti da ovaj simpozijum sada predstavlja jedan od vodećih simpozijuma, u regionu, posvećenih primeni informaciono-komunikacionih tehnologija, koji dobija međunarodni karakter.

Za ovogodišnji simpozijum bilo je prijavljeno 297, a prihvaćeno 254 rada, koje je potpisalo 506 autora.

Radovi su prijavljeni iz 6 zemalja: iz Bosne i Hercegovine 102, Bugarske 2, Crne Gore 4, Hrvatske 2, Makedonije 6 i Srbije 138.

Iako je oblast informacionih tehnologija interesantna i za Vojsku Srbije, u kojoj ima istraživača koji se bave ovom oblašću, do sada na ovom simpozijumu nisu učestvovali u većem broju. Ove godine izostalo je učešće aktivnih pripadnika Vojske Srbije i Ministarstva odbrane Srbije. Nadamo se da će im ovaj kratak prikaz omogućiti da se upoznaju sa tematikom INFOTEH – JAHORINA, što bi ih motivisalo da ubuduće učestvuju na ovom značajnom simpozijumu, kao što je to bilo prethodnih godina.

U nastavku dajemo prikaz osnovnih oblasti simpozijuma, uz nekoliko radova koji su se autoru učinili interesantnim, u skladu sa njegovim interesovanjima. Zbornik radova ovogodišnjeg simpozijuma, a i prehodnih, može se videti na adresi <http://www.infoteh.rs.ba/zbornik/2011/>.

U oblasti A) *Primena računarske tehnike i informatike u sistemima upravljanja* bilo je prihvaćeno 16 radova, od čega 6 na engleskom jeziku. Nekoliko radova posvećeno je upravljanju električnim motorima i generatorima, a nekoliko robotima. Detaljnije prikazujemo dva rada.

Čedomir Milosavljević, Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo
 Branislava Perunčić, Elektrotehnički fakultet, Sarajevo
 Boban Veselić, Elektronski fakultet, Niš

Skalarni sistemi upravljanja s kombinovanim kliznim režimima

U sažetku rada se konstatuje da tradicionalni klizni režimi (TKR) ili klizni režimi redukovano reda dominiraju u teoriji i praksi sistema automatskog upravljanja promenljive strukture. U savremenoj praksi sve više se primenjuju klizni režimi punog reda ili integralni klizni režimi (IKR). Bitne razlike ova dva prilaza su: TKR imaju dve vrste kretanja – režim doseganja, kada sistem nema izraženu robustnost, i klizni režim kada je sistem robustan, a dinamika kretanja se opisuje dinamičkom jednačinom nižeg reda u odnosu na upravljani objekat; IKR nemaju režim doseganja, već samo klizni režim, te su robustni tokom celokupnog perioda kretanja, ali im se dinamika kretanja opisuje jednačinom istog reda, kao i upravljani objekat. U radu se predlaže sistem upravljanja s kombinovanim kliznim režimima koji u režimu doseganja TKR-a ima IKR. Time je obezbeđena potpuna robustnost uz redukciju reda dinamike sistema.

Tomislav Šekara, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
 Miloš Trifunović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu
 Vidan Govedarica, Elektrotehnički fakultet u Istočnom Sarajevu

Projektovanje složenog regulatora u frekvencijskom domenu pod ograničenjima na robustnost i osjetljivosti na mjerni šum

U radu su razvijena nova opšta pravila za projektovanje složenih regulatora pod ograničenjima na robustnost i osjetljivost na meri šum. Ova metoda zasnovana je na ostvarenju kompromisa između indeksa robustnosti i indeksa performansi. Rešavanje ovakvog problema omogućuju složeni regulatori koji se mogu praktično realizovati. Pokazano je da se upotrebom predložene metode ostvaruju znatno bolji indeksi performansi i robustnosti u odnosu na optimalni PID regulator.

U oblasti B) *Informaciono-komunikacioni sistemi i tehnologije* bilo je 39 radova, od kojih 8 na engleskom jeziku. Radovi su obuhvatili teorijske i praktične probleme savremenih informaciono-komunikacionih sistema, kao što su mobilne komunikacije, računarske mreže, digitalna televizija, itd. Odabrali smo tri rada.

Tamara Muskatirović, Republička agencija za elektronske komunikacije
LTE radio-interfejs

U sažetku rada se konstatuje da razvoj mobilnih mreža sledeće generacije predstavlja osnov za uvođenje širokopojasnog mobilnog pristupa i zadovoljenje zahteva korisnika za sve većim protocima i kvalitetom servisa. LTE (Long Term Evolution) tehnologija predstavlja evoluciju postojećih mobilnih sistema, i kao takva nudi nekoliko važnih prednosti, kako za potrošače, tako i

za operatere: performanse i kapacitet, jednostavnost izgradnje i upravljanja mrežama sledeće generacije, širok opseg terminala... Ovaj rad prikazuje najvažnije karakteristike LTE radio-interfejsa, sa posebnim osvrtom na prenosne šeme, scheduling, višeantenski prenos i fleksibilnost spektra. Analizirana je problematika poboljšanja performansi i kapaciteta sistema, iskorišćenosti radio-resursa i smanjenja potrošnje snage. U radu su izložene i najvažnije osobine OFDMA i SC-FDMA tehnologija, kao i MIMO tehnike prenosa.

Saša Adamović, Univerzitet Singidunum

Marko Šarac, Univerzitet Singidunum

Dalibor Radovanović, Univerzitet Singidunum

Analiza sigurnosti bežičnih mreža IEEE 802.11. na teritoriji grada Beograda

U ovom radu se pošlo od teorijskih osnova sigurnosti bežičnih mreža zasnovanih na standardu IEEE 802.11. Analizirani su zahtevani stepen integracije kriptografskih rešenja, kao i njihova ranjivost na savremene napade. Analizom su obuhvaćene mnoge poslovne lokacije, kao što su: zgrade vlade, banke, fakulteta, poslovnih i tržnih centara, prestižnih hotela i ostalih besplatnih gradskih mreža. Uz izabrane alate za etički haking obavljena je procena sigurnosti formi za razmenu podataka na bežičnim mrežama, mogućnosti za aktivne i pasivne napade, kao i napade sa aspekta socijalnog inženjeringa u izabranoj bežičnoj mreži. Autori smatraju da njihovi rezultati daju realnu sliku sigurnosti koja će imati uticaj na naučnu zajednicu, ali i na opštu javnost. Cilj je podizanje svesti o mogućim načinima zloupotrebe bežičnih mreža u kojima se mogu kompromitovati lični podaci i identitet.

Dražen Pašalić, Agencija za posredničke, informatičke i finansijske usluge, Banja Luka

Zlatko Bundalo, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka

Dušanka Bundalo, Filozofski fakultet, Banja Luka

Miroslav Kostadinović, Saobraćajni fakultet, Doboj

Primjena savremenih komunikacionih tehnologija u inteligentnim zgradama

U radu se razmatraju i opisuju mogućnosti primene savremenih komunikacionih tehnologija u inteligentnim zgradama. Prvo se opisuju razlozi, principi i mogućnost primene takvih tehnologija u inteligentnim zgradama. Upoređene su pojedine tehnologije za komunikaciju između različitih uređaja koji se koriste u inteligentnim zgradama. Takođe, dati su argumenti i obrazloženje za izbor i primenu ZigBee bežične komunikacione tehnologije radi efikasne implementacije pojedinih funkcionalnih celina u inteligentnim zgradama. Detaljno se opisuju analiza i simulacija ZigBee bežične komunikacione tehnologije za primenu u inteligentnim zgradama, realizovane pomoću Matlab programskog paketa.

U oblasti C) Informacioni sistemi u proizvodnim tehnologijama, bilo je 9 radova, od kojih dva na engleskom jeziku. Radovi tretiraju raznolike praktične probleme, a autori su, uglavnom, sa mašinskih fakulteta. Prikazujemo jedan rad.

Dragan Milčić, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu
Miroslav Mijajlović, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu
Dragoljub Živković, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

Analiza pouzdanosti mašinskih delova i sistema u okruženju Microsoft Excel

U sažetku rada se konstatuje da je pri istraživanju pouzdanosti elemenata i sistema jedan od krajnjih ciljeva utvrđivanje teorijskog zakona raspodele slučajne promenjive, vremena u radu ili vremena do otkaza, a glavni cilj je da se ustanovi koji od poznatih teorijskih zakona raspodele najviše odgovara empirijskim podacima, tj. kojim zakonom raspodele se najbolje mogu interpretirati rezultati koje posedujemo. Parametri raspodele određuju se različitim grafičkim i analitičkim metodama. Osnovu za određivanje raspodele čine empirijski podaci o otkazima posmatranog elementa ili sistema. Empirijski podaci, kao podskup elemenata neke populacije na kojem se određuju karakteristike pouzdanosti, moraju biti reprezentativni za ceo skup. Na Mašinskom fakultetu u Nišu razvijen je softver za analizu pouzdanosti mašinskih delova i sistema. Kao platforma za razvoj softvera usvojen je Microsoft Excel, zbog mogućnosti koje pruža ovaj softver za tabelarne proračune.

U oblasti D) Informacione tehnologije u oblasti elektroenergetike bilo je 27 radova, od kojih tri na engleskom. Od ovih radova, posvećenim problemima u elektroenergetskim sistemima, prikazujemo dva rada.

Saša Milić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
Vladimir Polužanski, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
Dragan Kovačević, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
Nikola Miladinović, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
Jelena Kožicić, PD Đerdap

Informacioni sistem za dijagnostiku stanja električnih mašina

U sažetku rada se konstatuje da je stanje transformatora i generatora od suštinske važnosti i direktno utiče na proizvodni ciklus, planiranje proizvodnje, vremenske rokove remonta i dr. Informacioni sistem za dijagnostiku stanja električnih mašina namenjen je širokom krugu korisnika za obavljanje poslova dijagnostike i daljinskog nadzora hidro i turbogeneratora. Ovaj sistem predviđa niz mogućnosti, kao što su: praćenje primenjene metode metodologije, uporedne analize on-line i off-line merenja i ispitivanja, kreiranje izveštaja za željeni vremenski interval, analizu podataka kroz razne vidove dijagrama, pregled istorije pogonskih događaja i dr. Sistem je pogodan za istraživanja iz kojih mogu proizaći predlozi za unapređenje proizvodnog ciklusa, definisanje remont-

nog perioda, kao i razne tehno-ekonomske analize troškova i budućih investicija. Korisnici sistema imaju mogućnost da na efikasan način steknu uvid u stanje opreme koja je predmet nadzora. U radu su detaljno prikazane realizovana baza podataka i windows i web aplikacije. Sistem za upravljanje bazom podataka je MS SQL Server, a aplikacije su urađene u programskom jeziku Visual C#, razvojno okruženje .NET. Takođe, dat je i prikaz realizovane koncepcije komunikacije između baze podataka i udaljenih klijenata sa bazom.

Aleksandar Simović, Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo
Miomir Dutina, JP EMS Beograd
Nada Cincar, Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo

Primjena računarskog programa PONDV za analizu ponašanja visokonaponskih nadzemnih vodova u pogonu

U radu se konstatuje da je u elektroenergetskim sistemima veliki broj nadzemnih vodova koji su stari preko četrdeset, odnosno pedeset godina. Da bi se utvrdilo da li je potrebno, i u kojoj meri, na pojedinim nadzemnim vodovima vršiti revitalizaciju, sanaciju, rekonstrukciju ili, ipak, nije potrebno ništa da se radi, prvo treba da se ispita ponašanje nadzemnog voda u pogonu, a zatim, po potrebi, i dijagnostikuje stanje komponenti nadzemnog voda. U radu je prikazana primena računarskog programa PonDV za analizu ponašanja visokonaponskih nadzemnih vodova u pogonu na konkretnim primerima. Računarski program PonDV rađen je u access-u i čine ga kao celina baze podataka; razmatranje stanja nadzemnog voda; kriterijumi za revitalizaciju nadzemnog voda; izbor parametara i opreme na nadzemnom vodu; obim i način revitalizacije nadzemnog voda i tehno-ekonomska analiza.

U oblasti E) *Informacione tehnologije u drugim oblastima od šireg interesa*, bilo je 120 radova, od kojih 18 na engleskom jeziku. Od ovog velikog broja radova, koji su povećani raznolikim problemima i primerima primene informacionih tehnologija, a koje preporučujemo da pogledaju čitaoci Vojnotehničkog glasnika, odabrali smo dva rada, od koji je jedan rad utora ovog prikaza, koji je bio pripadnik Vojske Srbije i redovni je profesor Vojne akademije.

Srđan Grbavac, Fakultet Organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

Eliminisanje SQL Injection napada – mehanizmi odbrane

Sql injection je jedan od najrasprostranjenijih propusta u sigurnosti Web aplikacija. Napadači koriste SQL Injection ranjivost Web aplikacija za krađu osetljivih podataka iz baze podataka, menjaju ili uništavaju podatke, izvršavaju administratorske komande na bazi podataka, a u čestim slučajevima preuzimaju i administratorsku kontrolu Web aplikacije. Rad opisuje kategorije napada, daje pogled na najčešće metode SQL injection napada, najpouzdanije metode prevencije napada u toku razvoja softvera, metode testiranja aplikacije na SQL Injection ranjivost i metode zaštite aplikacije u realnom vremenu, kao i na metodu otkrivanja SQL Injection napada upotrebom Regex-a.

Slavko Pokomi, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, Beograd

Pouzdanost, raspoloživost i održavanje informaciono-komunikacionih sistema

U radu se prikazuje pristup proceni pouzdanosti, raspoloživosti i održavanju informaciono-komunikacionih sistema putem analize pouzdanosti hardvera, softvera i čoveka kao elementa sistema. Analiziraju se neki problemi i iskustva primene klasične teorije pouzdanosti, koja se zasniva, uglavnom, na eksponencijalnoj raspodeli vremena rada do otkaza i ukazuje na fiziku otkaza kao alternativno/dodatni pristup obezbeđenju pouzdanosti i održavanju savremenih tehničkih sistema.

U oblasti F) *Diskusioni forum studenata* bilo je 43 rada, od kojih jedan na engleskom jeziku. Ove interesantne radove pisali su studenti iz Republike Srpske, odnosno BiH, kao i studenti iz više univerziteta u Srbiji.

Literatura

[1] <http://www.infoteh.rs.ba/> (posećen 03. 06. 2011)

[2] <http://www.infoteh.rs.ba/zbomik/2011/>, 16. mart–18. mart 2011, Jahorina, ISBN-99938-624-2-8 (posećen 03. 06. 2011).

INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PROFESSIONAL SYMPOSIUM
INFOTEH-JAHORINA 2011 (PRECEEDINGS REVIEW)

FIELD: IT

Summary:

The basic information about history, goal, significance and working areas of the international scientific and professional symposium INFO-TEH-JAHORINA are given in this paper. This year's symposium INFO-TEH-JAHORINA 2011 is described in detail (number and structure of papers, basic information about each working area, and reviews of certain papers). The information on the availability of proceedings of this year and former simopsiums is given as well.

Key words: information technologies, symposium, review.

Datum prijema članka: 31. 03. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 15. 05. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 16. 05. 2011.

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Promene u strukturi voznog parka oružanih snaga Ujedinjenog Kraljevstva¹

Ministarstvo odbrane Ujedinjenog Kraljevstva (UK) je, radi završetka voznog parka i zamene imajućih vozila marke Bedford, Leyland DAF i Foden, još marta 2005. godine sklopilo sa MAN ERF UK Ltd. ugovor vredan 1,3 milion funti (1,97 milion američkih dolara) za isporuku ukupno 5 165 vozila. U to vreme, za oružane snage UK to je bila najveća nabavka neborbenih vozila u poslednjih 25 godina. Tokom 2006. godine ukupan broj vozila za isporuku dodatno je povećan na ukupno 7 285 vozila; do početka 2011. godine oko 5 000 vozila je isporučeno, a verovatno da će ukupan broj vozila biti smanjen na oko 6 600 vozila za isporuku do 2013. godine. Određeni broj isporučenih vozila je 2008. i 2009. godine upućen i korišćen u Avganistanu i Iraku.

Opremanje novim RMMV (Rheinmetall MAN Military Vehicles, RMMV) vozilima dovelo je do promene u opštoj strukturi voznog parka oružanih snaga UK, tako da je napušten koncept 4-tonskih, 8-tonskih i 14-tonskih vozila. Novi koncept podrazumeva opremanje vozilima sledećih grupa: 6-tonska vozila srednje pokretljivosti – prohodnosti, 9-tonska vozila srednje i unapređene srednje pokretljivosti – prohodnosti, 15-tonska vozila srednje pokretljivosti – prohodnosti, auto-cisteme srednje i unapređene srednje pokretljivosti – prohodnosti i vozila za izvlačenje. Pobrojane grupe vozila u oružanim snagama UK tretiraju se kao posebna grupa – *vozila za podršku*.

Sa aspekta proizvođača, reč je o vozilima SX i HX serije: HX60 (HX 18.330 4x4) kao zamena za do sada korišćene četverotonce, HX58 (HX 25.440 6x6) kao zamena za osmotonce, HX77 (HX 32.440 8x8 IAC) kao zamena za četrnaestotonce, SX44 (SX 36.440 6x6) kao auto-cistema i teretna varijanta, i SX45 (SX 32.440 8x8 MULTI 2 IAC 3/3) u teretnoj i varijanti vozila za izvlačenje. Sa aspekta korisnika, navedeni tipovi vozila se raspoznaju kao vozila srednje pokretljivosti – prohodnosti, teško teretno vozilo srednje pokretljivosti – prohodnosti, vozila unapređene srednje pokretljivosti – prohodnosti i sl.

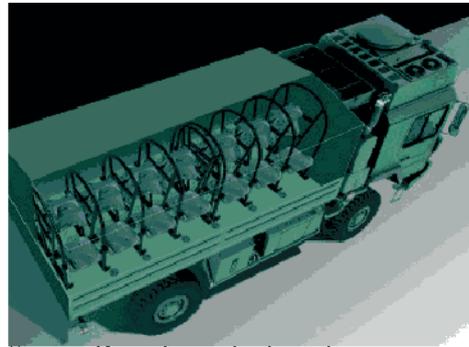
¹ Dominik von Wolff Metternich, Mark O. Brunn: Rheinmetall MAN Military Vehicles RMMV, Powerpoint presentation and Information, Beograd, 26. januar 2011; www.roadtransport.com; www.thinkdefence.co.uk, www.janes.com.

Jedna od osnovnih razlika između vozila HX i SX serije je u okviru vozila i ogibljenju. Kod HX serije iskorišćen je okvir koji se koristi kod civilnog MAN TG programa sa određenim adaptacijama za kretanje vozila van puteva, dok je ogibljenje u osnovi rešeno korišćenjem lisnatih gibnjeva. Kod SX serije, okvir je dizajniran tako da posebno bude otporan na torziju, a ogibljenje je rešeno nezavisno, korišćenjem spiralnih opruga i teleskopskih amortizera.

Dimenzije vozila su takve da omogućavaju njihovo nesmetano transportovanje u železničkom i vodnom saobraćaju, a osim tipova HX 77 i SX 45 MULTI 2 IAC, transport je moguć i avionima C-130 (Lockheed C-130 Hercules).

Motor je smešten ispod kabine koja može biti u balističkom smislu posebno zaštićena, tako da zadovoljava uslove propisane odgovarajućim STANAG-om, a zajedničke eksploatacione karakteristike obe klase vozila su: korišćenje u temperaturi opsegu od +42°C do -32°C (uz posebnu opremu do -46°C), savlađivanje uspona do 60%, bočnog nagiba do 40%, vertikalnih prepreka do 0,5 m i rovova do 1,2 m (HX 77 do 2,50 m). Razlike postoje u mogućnosti savlađivanja vodenih prepreka gazom, tako da je to za HX vozila do 0,75 m (uz dodatne adaptacije do 1,5 m), a za SX vozila je 1,5 m. Proizvođač je naročito ponosan na mogućnost vozila da vodene prepreke do 1,5 m savlađuju gazom, čime su zadovoljeni uslovi određeni STANAG-om 2805, odnosno za UK zadovoljeni su uslovi iz odbrambenog standarda 00-6.

* natovareno vozilo u zavisnosti od vrste kabine



** napred/između osovina/nazad

Osnovni tehnički podaci za vozila su:

Vozilo HX 60

Dimenzije i geometrijski parametri (mm):

Dužina 7440

Širina 2535

Visina* 2610-3065

Međuosovinski razmak 4500

Kliren** 412/560/410

Motor:

- MAN DO836, dizel, vodeno hlađeni šestocilindrični, linijski, sa direktnim ubrizgavanjem, EURO4
- Maks. snaga (pri 1500-1900 min⁻¹) 240 kW (326 KS)
- Maks. obrtni moment (pri 1200-1800 min⁻¹) 1250 Nm

Za prevoženje ljudstva ovim vozilima prilagođena je nadgradnja do sada korišćena na vozilima marke Leyland DAF i Foden. Umesto klupa ili na sličan način uređenih sedišta u tovarnom sanduku, postoji opcija za korišćenje posebne, u balističkom smislu zaštićene nadgradnje sa ugrađenim sedištima („nabacne kabine“). Ovu nadgradnju za potrebe oružanih snaga UK razvila je kompanija Roush Technologies Ltd. (danas deo Revolve™). RMMV u svom asortimanu proizvoda ima sopstvenu, na sličnom principu razvijenu kabinu za prevoz ljudstva.



Maksimalna brzina 88 km/h

Vozilo HX 58*Dimenzije i geometrijski parametri (mm):*

Dužina	8683
Širina	2535
Visina	2810-3267
Međuosovinski razmak, 1-2 osovina	4000
2-3 osovina	1500
Klirens**	350/520/325

Motor:

- MAN DO2066, dizel, vodenohlađeni šestocilindrični, linijski, sa direktnim ubrizgavanjem, EURO4
- Maks. snaga (pri 1900 min⁻¹) – 324 kW (440 KS)
- Maks. obrtni moment (pri 1000-1400 min⁻¹) 2100 Nm

Vozilo HX 77*Dimenzije i geometrijski parametri (mm):*

Dužina	10268
Širina	2535
Visina*	2810-3265
Međuosovinski razmak, 1-2 osovina	1800
2-3 osovina	3875
3-4 osovina	1500
Klirens**	345/504/345



Motor: MAN DO2066, dizel, vodenohlađeni šestocilindrični, linijski, sa direktnim ubrizgavanjem, EURO4. Maks. snaga (pri 1900 min⁻¹) – 324 kW (440 KS), maks. obrtni moment (pri 1000-1400 min⁻¹) – 2100 Nm.

Vozila HX 77 su iskorišćena za unapređenje kontejnerskog transporta u oružanim snagama Velike Britanije uvođenjem novog utovarno-istovarnog sistema. Novi utovarni sistem (EPLS, Enhanced Pallet Loading System) pokazao se boljim od sistema do sada korišćenog na vozilima Leyland DAF (DROPS, Demountable Rack Offload & Pickup System). Osnovna prednost ogleda se u mogućnosti utovara (istovara) 20-fitnog ISO kontejnera mase do 15 t za kraće vreme i bez potrebe za posebnom pripremom kontejnera za utovar (istovar), što je bila osnovni nedostatak DROPS sistema.

Vozilo SX 44*Dimenzije i geometrijski parametri (mm):*

Dužina	8950
Širina	2550
Visina*	2637-3093
Međuosovinski razmak, 1-2 osovina	4250
2-3 osovina	1500
Klirens**	396/569/360

**Motor:**

- MAN DO2066, dizel, vodeno hlađeni šestocilindrični, linijski, sa direktnim ubrizgavanjem, EURO4
- Maks. snaga (pri 1900 min⁻¹) – 324 kW (440 KS)
- Maks. obrtni moment (pri 1000–1400 min⁻¹) 2100 Nm

Vozilo SX 45

Recovery



Flatbed

Dimenzije i geometrijski parametri

(za varijantu MULTI 2IAC 3/3 mm):

Dužina	10200
Širina	2550
Visina	2902-3176
Međuosovinski razmak, 1-2 osovina	1930
2-3 osovina	3860
3-4 osovina	1500
Klirens	375

Motor:

- MAN DO2066, dizel, vodenohlađeni šestocilindrični, linijski, sa direktnim ubrizgavanjem, EURO4
- Maks. snaga (pri 1900 min⁻¹) – 324 kW (440 KS)
- Maks. obrtni moment (pri 1000-1400 min⁻¹) – 2100 Nm

Pored navedenih osnovnih podataka treba istaći da svi motori koji se ugrađuju u HX i SX modele mogu da koriste više vrsta goriva, da su svi rezervni delovi kodirani po principu koji se koristi u NATO, a osnovne komande za

upravljanje vozilima su unificirane, kao što je slučaj i sa procedurama održavanja i procesima obuke vozača. Nadalje, vozila se mogu posebno naoružavati, opremiti sredstvima veze, elektronskom zaštitom od dejstva improvizovanih eksplozivnih sredstava, itd.

Savremena vozila SX i HX klase zauzimaju zapaženo mesto u oružanim snagama Velike Britanije, Nemačke i Danske, a reportaže sa poslednjih sajmova i izložbi naoružanja i vojne opreme ukazuju na to da se upravo ovi tipovi vozila i dalje nalaze u samom svetskom vrhu kada je reč o neborbenim motornim vozilima. Pored opisanih tipova, RMMV su u razvoju otišla i korak dalje, tako da je na sajmu IDEX 2011, održanom u Abu Dabiju februara 2011. godine, predstavljeno vozilo oznake HX 81 koje pokreće motor MAN D2868, snage 500 kW (680 KS). Osnovna namena ovog vozila jeste da se koristi kao tegljač za vuču poluprikolica, odnosno tegljač vučnog voza za prevoz borbenih vozila u terenskim uslovima.

Dragiša Zinaja

Intrige u vezi sudbine olupine stelt helikoptera²

Zvaničnici odbrane SAD još nisu sigurni šta Pakistan namerava da učini sa olupinom stelt helikoptera korišćenog pri napadu na uporište Osame bin Ladena, kada je on i ubijen. Oni zahtevaju da im se ostaci helikoptera vrate kako bi bili sigurni da neće dospeti u posed treće strane, na primer Kine. Zapadne obaveštajne službe pratile su četvorodnevnu posetu pakistanskog premijera Jusufa Reze Gilanija Kini, koja je otpočela 17. maja, tražeći naznake o namerama Pakistana.

Jedan zvaničnik pakistanske vlade nazvao je spekulaciju da Kinezi žele pristup olupini „običnom besmislicom” i potvrdio da je ona još uvek u Pakistanu. Šta će se desiti sa njom umnogome zavisi od odgovora na pitanje: „Koliko ona vredi?”.

Neki bivši i sadašnji članovi državne uprave SAD upozoravaju da Pakistan ne bi mnogo izgubio u tehnološkoj saradnji sa Kinom. „Sasvim je verovatno, analizirajući istoriju Pakistana, da je vojska komunističke Kine došla u posed naše tehnologije na razne načine, jer joj je ona neophodna da bi parirala Sjedinjenim Državama”, kaže republikanski predstavnik Kalifornije Deina Rorabaher, koja se zalaže za prekidanje pomoći Pakistanu radi povećanja pritiska na njegove zvaničnike.

Drugi napominju da bi Pakistan postupio nepromišljeno ukoliko bi predao olupinu Kini ili nekom drugom potencijalnom neprijatelju SAD, kao što je Rusija, na primer, s obzirom na iznos američke pomoći koju bi zbog toga izgubio. U krajnjem slučaju, postupci Pakistana zavisiće od

² *Jane's Defence Weekly*, Volume 48, Issue 20, 18 May 2011.

procene njegovih zvaničnike da li su veze sa SAD manje trajne i značajne od onih sa Kinom.

Pakistan i Kina imaju značajne odnose u oblasti odbrane: zajednički razvoj i proizvodnju višenamenskog lovca JF-17 Thunder, tenka Al-Khalid i fregate klase Sword. Te dve zemlje imaju plodnu istoriju razmene „dostupne“ tehnologije. Prema republikancu RorabaHERu, 1998. godine pakistanska vojna obavestajna služba omogućila je prenos neeksplozivnog krstarećeg projektila Tomahawk u Kinu, koji su pronašli Talibani. Jedan pakistanski zvaničnik izjavio je na ABC News da su Kinezi „vrlo zainteresovani“ za olupinu helikoptera, dok je drugi zvaničnik rekao: „Možda ćemo im (Kinezima) dati da pogledaju“.

Ne zna se koliko je ta olupina vredna s obzirom na to da je glavni deo konstrukcije letelice uništen, a da su preostali samo repni rotor i neki ostaci nalik na oplatu.



Traktor odvozi olupinu američkog streljastog helikoptera koji je korišćen za napad na uporište Osame bin Ladena

Milan Babić

Pakistan zahteva od snaga SAD da napuste aerodrom³

U daljem zatezanju međudržavnih odnosa, nakon vazdušnog upada snaga SAD na sever Pakistana 1. maja i ubistva Osame bin Ladena, Pakistan zahteva da SAD napuste mali, ali strateški važan aerodrom u jugozapadnoj provinciji Baludžistan. Ministar odbrane Pakistana Čaudari Ahmed Muktar izjavio je medijima u Islamabadu, 29. juna, da je vlada nalo-

³ Jane's Defence Weekly, Volume 48, Issue 27, 6 July 2011.

žila osoblju SAD da napusti aerodrom Šemsi (Shamsi), ali nije naveo šta su oni tamo radili.

Pakistan nikad nije obznanio da se na njegovoj teritoriji nalaze bespilotne letelice CIA, pretpostavlja se da su to MQ-1 Predator i MQ-9 Reaper naoružane AGM-114 Hellfire projektilima vazduh-zemlja, koje izvode vazdušne napade po ciljevima na avganistanskoj granici za koje se sumnja da ih koriste islamski militanti. Prisustvo američkih bespilotnih letelica veoma je nepopularno u Pakistanu, gde se nacionalisti često žale da u vazdušnim napadima ginu žene i deca.

Jedan zapadni zvaničnik odbrane stacioniran u Islamabadu tvrdi da je pakistanska vlada prećutno saglasna s tim napadima u slučajevima kada se oni izvode protiv militanata koji su pretnja njenoj bezbednosti i strateškim interesima. Međutim, taj isti zvaničnik tvrdi: „Odluka da se zatvori aerodrom Šemsi odraz je šireg trenda u Pakistanu. Ljudi su ovde vrlo ljuti (zbog vazdušnog napada u kome je ubijen Bin Laden)“.

Vojska i Vlada Pakistana kritikovali su SAD zbog izvođenja vazdušnog napada u Abotabadu, a da ih prethodno nisu obavestili. Američki zvaničnici, uključujući i novog sekretara odbrane Leona Panetu, kažu da nisu obavestili Pakistan o predstojećem napadu iz straha da će simpatizeri islamskih militanata, unutar službe državne bezbednosti i obaveštajne službe, upozoriti Bin Ladena.



MQ-9 Reaper nad aerodromom u Kandaharu na jugu Avganistana, 2010. Pakistanci traže zatvaranje aerodroma Šemsi sa kojeg se izvode operacije bespilotnim letelicama

Milan Babić

Predator spregnut sa Tomadom⁴

Bespilotne letelice MQ-9 Predator vazduhoplovnih snaga SAD usmeravaju udare avijacije NATO koja napada ciljeve na liniji fronta oko opsednutog libijskog pobunjeničkog grada Misrate na mediteranskoj obali.

Detalje tih udara obelodanili su, 10. maja, zvaničnici NATO i pripadnici Kraljevskih vazduhoplovnih snaga Ujedinjenog Kraljevstva (RAF) koji su učestvovali u jednoj od združenih misija nad Misratom. Prvi udar izveden je 8. maja i za svoj cilj imao je pro-gadafijske snajperiste i artiljerijske osmatračnice postavljene na najvišim spratovima jedne visoke zgrade u Misrati, a realizovao ga je borbeni avion Ujedinjenog Kraljevstva Tornado GR4 precizno vođenim bombama Paveway IV, mase 225 kg.

Zemaljska posada koja je upravljala Predatorom, inače pripadnici Vazduhoplovnih snaga SAD, osmatrali su zgradu nekoliko sati i pozvali RAF-ove avione Tomado, koji su patrolirali u blizini Misrate, da unište samo dva gomja sprata zgrade. Opisujući napad, pilot vodećeg Tomada rekao je: „Dobili smo zadatak da idemo u zonu koju nadgledaju Predatori. Kad smo stigli, uspostavili smo kontakt sa jednom letelicom Predator koja nas je usmerila na zgradu. Identifikovali smo cilj i dobili potvrdu od Predatora. Neuobičajeno je da vas za realizaciju neposrednog napada usmeravaju na takav način. To znači da su sve potrebne provere izvršene pre našeg dolaska“.

RAF-ov kapetan grupe (rang pukovnika) Martin Sempson, komandant 906. vazduhoplovnog vinga RAF-a vazduhoplovne baze *Gioia Del Colle* u Italiji, rekao je da je taj napad oterao pripadnike režimskih snaga iz susedne zgrade, što je omogućilo da se u drugoj RAF-ovoj misiji ta zgrada označi za cilj i uništi, a bila je, ispostavilo se, skladište režimskih snaga.



Predator usmerava vazušne napade na Misratu

Milan Babić

⁴ Jane's Defence Weekly, Volume 48, Issue 20, 18 May 2011.

Boing traži kupce za Phantom Ray⁵

Kompanija Boing oblikuje strategiju prodaje *Phantom Ray* bespilotne borbene letelice nakon internog finansiranja prva dva probna leta.

Zvaničnici kompanije planirali su da finansiraju pet testiranja u letu *Phantom Ray*-a pre odabira najbolje ponude, odnosno kupca za finansiranje dodatnih testova steti borbene varijante te letelice. Međutim, Boing sada smatra da su prva dva probna leta dostavila dovoljno osnovnih informacija, a da dalja testiranja treba uskladiti sa zahtevima potencijalnih kupaca.

„Tokom dva probna leta postigli smo ono što se očekivalo dobiti sa pet letova, tako da nema smisla ponavljati letove da bi se potvrdilo ono što je već postignuto“, rekao je 9. maja Deril Dejvis, Boingov rukovodilac projekta *Phantom*. Do sada nijedan kupac nije ponudio da plati preostala testiranja. „Razgovaramo sa nekoliko kupaca oko korišćenja test podataka i nemamo nikakvih dodatnih obaveza za novac koji su spremni da daju“, kaže Dejvis.

Da bi podstakli interes vojske SAD da plati letove *Phantom Ray*-a, rukovodioci Boinga razmatraju interno finansiranje specijalno podešenih letnih demonstracija za program vazduhoplovnih snaga SAD „Sledeća generacija udara dalekog dometa“ i program mornarice SAD „Bespilotne letilice lansirane sa nosača za izviđanje i udar iz vazduha“.



Boingov Phantom Ray uoči svog prvog leta u Vazduhoplovnoj bazi Edvards, Kalifornija, aprila 2011

Milan Babić

⁵ Jane's Defence Weekly, Volume 48, Issue 20, 18 May 2011.

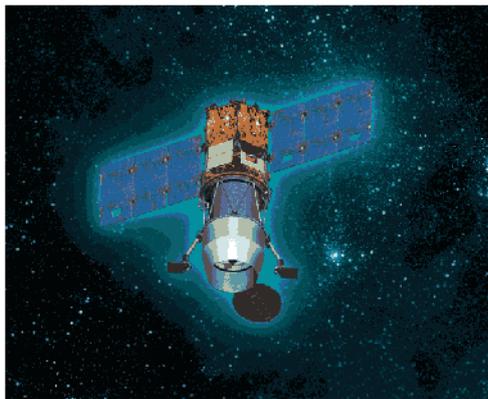
Izrael planira lansiranje vojnog komunikacionog satelita⁶

Ministarstvo odbrane Izraela razvija planove za lansiranje nezavisnog komunikacionog satelita za vojne potrebe, koji bi služio kao primopredajna stanica za prenos podataka sa izraelskih satelita za nadgledanje u realnom vremenu.

Izrael ima pet izviđačkih satelita u Zemljinoj orbiti: *Ofeq-9*, lansiran 2010; *TecSar*, lansiran januara 2008; *Ofeq-7*, lansiran 2007; i *Ofeq-5*, lansiran 2002. godine. Izraelske odbrambene snage takođe koriste usluge komercijalnog satelita *EROS-B1*. Oni imaju svoja ograničenja u preuzimanju podataka (*downloading*) prikupljenih tokom rotiranja nad Izraelom u vidokrugu zemaljskih stanica. Pun krug oko Zemlje izvrše za 90 minuta.

„Želimo da vidimo ono što naši sateliti prikupe u realnom vremenu, odnosno da uživo gledamo ono što se dešava na zemlji“, rekao je novinaru *Janes-a* jedan viši oficir iz Uprave za C4I Izraelskih odbrambenih snaga 10. maja ove godine. Ta sposobnost se smatra ključnom za praćenje neprijateljskih vojnih platformi tokom sukoba.

Kada je trebalo kontinualno nadgledati cilj, Izrael je do sada to činio nadletanjem svojih satelita iznad cilja u kratkim intervalima, koristeći usluge civilnih satelita *Amos 2* i *Amos 3*. Novi plan, koji još čeka odobrenje Vlade, omogućiće izraelskim odbrambenim snagama da lansiraju komunikacioni satelit samo za vojne potrebe, da služi kao relejna stanica izviđačkih satelita za prenos živog snimka u Izrael.



Izraelski izviđački satelit nove generacije OpSat 3000

⁶ Jane's Defence Weekly, Volume 48, Issue 20, 18 May 2011.

U međuvremenu, napredak je vidljiv i u pogledu lansiranja komunikacionog satelita *Amos-4*, teškog 4,2 tone, sa 10 antena za pokrivanje Afrike, Azije i Evrope planiranog za početak 2012. godine. Izraelska aerokosmička industrija razvija novu generaciju izviđačkih satelita *OpSat 3000*, koja bi zamenila seriju *Ofeq* i imala bi senzore ekstremno visoke rezolucije. Lansiranje prvog satelita *OpSat* generacije planirano je za drugu polovinu 2012. godine i na njemu će biti instalirana kamera visoke rezolucije Jupiter, koja će imati rezoluciju od 50 cm, za razliku od do sada korišćene kamere Neptun čija je rezolucija nešto manja od jednog metra.

Milan Babić

Španski helikopter NH90⁷ spreman za prve probne letove⁸

Prvi helikopter kompanije NHIndustries za špansku armiju NH90 stigao je u postrojenje kompanije Eurocopter pored grada Albacete u jugoistočnoj Španiji 4. jula radi popunjavanja i probnih letova.

Prve isporuke ove letelice vojnim vazдушnim snagama FAMET (Fuerzas Aeromoviles del Ejercito de Tierra) treba da počnu u prvom kvartalu 2013. godine, izjavila je ova kompanija.

Testovi će podrazumevati letenje po propisanim tehničkim protokolima (u složenim meteo uslovima), pri čemu će se izvršiti testiranje sistema za avioniku i elektronsko ratovanje kompanije NHIndustries koja je podnela zahtev za španski sertifikat za letenje helikoptera NH90.

Ovaj prvi helikopter je jedan od dva koji će biti proizvedeni u fabrici Eurocoptera Marignane u Francuskoj, a prvi put je poleteo u decembru 2010.

Drugi helikopter treba da bude isporučen u jesen 2011. godine, nakon čega preostala poručena 43 helikoptera treba da budu proizvedena u gradu Albacete.

Verzija NH90 za špansku vojsku specijalno je dizajnirana za obavljanje različitih taktičkih misija – od transporta trupa do pretraživanja i spavanja.

⁷ Na sajtovima: www.eurocopter.com, www.nhindustries.com izloženi su svi relevantni podaci za helikopter NH90 (taktičko-tehnički podaci, namenske varijante, istorijski razvoj, organizacijska struktura industrije koja proizvodi helikopter NH90, zemlje koje su u svoje oružane snage uvele helikopter NH90 itd.)

⁸ Izvor: Jane's DEFENCE weekly, broj 28, 13 july 2011.

Kompanija NHIndustries je u vlasništvu kompanija Eurocopter (62,5%), AugustaWestland (32,5%) i Fokker Aerostructures (5,5%).

Opšte karakteristike:

- posada: 2 pilota (+ operater za senzore- opciono)
- kapacitet transporta: 20 vojnika sa naoružanjem
- dužina: 16,3 m
- rotor (prečnik): 16,30 m
- visina: 5,23 m
- masa: 6400 kg
- nosivost: 4200 kg
- maks. težina pri poletanju: 10 600 kg
- pogonska grupa: 2x Rolls_Royce RTM322-01/9, 1662 kW

Performanse:

- maksimalna brzina: 300 km/h
- dolet: 800 km (TTH), 1000 km (NFT)
- plafon leta- visina: 6000 m
- brzina podizanja: 8 m/s

Naoružanje:

- protivpodmorničke rakete ili rakete vazduh-zemlja (NFH) i 2 x top

Nebojša Kljajić

Brize Norton ostaje jedini vojni transportni centar u Velikoj Britaniji⁹

Posle nedavnog zatvaranja baze Royal Air Force (RAF) Lyneham u Wiltshir-u svi britanski transportni avioni su sada trajno locirani u *Brize Norton* bazi RAF-a u Oxfordshire-u.¹⁰

Baza transportne flote RAF-a Lockheed Martin C-130 Hercules, RAF Lyneham je zatvoren 1. jula, nakon 70 godina funkcionisanja kao operativna stanica. Dvadeset četiri letelice C-130J i 11 letelica C-130K sada su premeštene u bazu RAF-a Brize Norton, odakle će leteti zajedno sa sedam britanskih strateških aviona Boeing C-17 Globemaster III.

⁹ Jane's Defence Weekly, br.28, str. 13, 13.07-2011.

¹⁰ www.en.wikipedia.org/wiki/Raf_Brize_Norton

Njima će se kasnije, ove godine, pridružiti prvi od 14 aviona Airbus Military A330-200 MultiRole Tanker Transport (MRTT), koje je RAF nazvao Voyager i koji treba da zamene avione BAC VC10 i Lockheed L-1011 TriStar koji su trenutno locirani u ovoj bazi, a 2015. godine i prvi od 22 transportna aviona AirbuMilitary A400M.

Sa flotom Hercules koja je sada u bazi RAF-a Brize Norton, ta baza predstavlja bazu za sedam transportnih eskadrila. Oni su sačinjeni od eskadrila za vazduhoplovno otpremanje 24, 30, 47 i 47 za C-130 i eskadrile 99 za C-17, eskadrile 101 za VC10 i eskadrile 216 za TriStar. Njima će se pridružiti i eskadrila 10 koja će kasnije tokom godine biti organizovana kao eskadrila za prevoz putnika, tj. eskadrila za pružnje usluga turističkim agencijama.

Nebojša Kljajić

Tehnologija radio-uređaja taktičke namene¹¹

Savremena tehnologija prenosnih vojnih radio-uređaja taktičke namene pruža velike mogućnosti. Za korisnike i vojne dobavljače najbitnije su sledeće karakteristike: kompatibilnost sa ostalom telekomunikacionom opremom, gabariti (posebno težina), jednostavno rukovanje uređajem, tržišna cena i efektivnost logističke podrške.

U ovom članku dat je kratak opis jednog takvog radio-sistema namenjenog vojniku na bojištu.

Sistem radi na osnovu tehnologije mobilnih telefona. Slušalica je laka za upotrebu, ali je šifrirana kao kod taktičkih radio-uređaja zajedničkog taktičkog radio-sistema (joint tactical radio system – JTRS). Svaki vojnik ima radio-uređaj. Vojnici znaju sopstvenu lokaciju, gde se nalaze sve prijateljske i poznate neprijateljske jedinice i šta sve ove formacije rade. Satelitsko pokrivanje omogućuje telefoniranje „nazad do vozila“ do jačeg radio-prijemnika, a GPS daje lokacije. To omogućava relativno malim snagama da se bore i unište brojčano veće neprijateljske snage.

Međutim, konferencija i izložba „Vojnička tehnologija“ otkrila je napetost između dve predstave taktičkog radio-uređaja. Jedan, koji podržava Col Pointing, mali je, lak i jednostavan za upotrebu. Drugi je veći, složen i potencijalno teži. Svi taktički radio-uređaji koji postoje uklopiće se u okviru ovog raspona.

Na vrhu lestvice ovog programa Harris RF Communications¹² nudi asortiman radio-uređaja i sistema nabavke koji ispunjavaju JTRS standarde. Porodica softverskih taktičkih radio-sistema kompanije Falcon obuhvata individualnu i ručnu aplikaciju, kao i aplikaciju u vozilima.

¹¹ Jane's Defence Weekly, 48/28, str. 28, 13 jul 2011.

¹² www.defence-update.com/comunication

Falcon III AN/PRC-117G¹³ je taktički radio-uređaj prilagođen JTRS SCA (software communications architecture), sigurnosti tipa 1, koji nudi mogućnosti simultanog prenosa glasa i podataka prenosom širokog opsega, preko borbene mreže. Harris navodi da je opseg frekvencija 30 MHz do 2 GHz – četvorostruko više u odnosu na postojeće radio-uređaje, a AN/PRC-117G je takođe upola manji i lakši od konkurencije. Najznačajniji ugovori za nabavku radio-uređaja AN/PRC-117G potpisani su u junu sa američkim ministarstvom odbrane, kopnenom vojskom, snagama marinaca i vazduhoplovnim snagama. U kompletu se nalazi i uređaj N/PRC 152 Type 1 Multiband Handheld.

Harris, takođe, nudi i sistem izgrađen na platformi ovih uređaja. Zasnovan na radiju i računaru RF-7800-LR, sistem je ugrađen u jaknu vojnika i ima 16 različitih delova. Sistem Soldier je modularni i koristi proizvode čiji su standardi otvoreni i mogu se menjati sa razvojem tehnologije. Sastoji se od četiri celine: senzori (vizuelni i fizički), moduli i upravljanje energijom, personalna mreža i mogućnosti komandi, kontrole, komunikacije i računanja.



Kao i Harris, Selex je poznato ime u oblasti taktičkih radio-stanica. Sa više od 425.000 personalnih uređaja (personal role radio – PRR) koji se koriste u 35 zemalja, PRR i njegova porodica, uključujući i unapređeni radio European Secure Software – defined Radio (EZPRR), Soldier System Radio Plus i

¹³ www.defenseindustrydaily.com/Harris-supply-US-Army-with-Falcon-III-PRC-Radios-05903

Front – Line Soldier Radio, nastoji da ispuni ključne zahteve korisnika koji se odnose na performanse, veličinu, težinu, snagu i lakoću upotrebe.

Radio-uređaji Selex su mali i laki, imaju jednostavne kontrole i mogu da stanu u džep standardne borbene jakne.

Na slici su prikazani delovi radio-sistema (RF7800 LR) koji se vide sa prednje strane na jakni vojnika:

- displej instaliran na šlemu
- telesni /psihološki dijagnostički senzori
- magnetski kompas
- kompjuterski displej instaliran na zglobu
- personalna mreža integrisana u jaknu
- kamera instalirana na šlemu
- slušalica sa integrisanom audio i slušnom zaštitom
- telesni/psihološki dijagnostički senzori
- GPS sistem
- RF-7800S-LR radio i računar
- bežična mikrotelefonska kombinacija – poludupleks (Wireless push-to talk))
- dodaci na pušci: panorama okoline, kamera, laserski nišan i daljinomer.

Ostale četiri komponente (antena, baterija, senzor lokacija/pokreta i energetski modul) nalaze se na leđnoj strani kombinezona.

Nebojša Kljajić

*Nove tendencije*¹⁴

Svedoci smo novih tendencija u razvoju naoružanja i taktici njegove upotrebe.



¹⁴ 26. 07. 2011. <http://www.dw-world.de>

Velika važnost danas se pridaje bespilotnim letelicama. Američka letelica X-47 je robot koji može da leti bez pilota. Ona može da nosi dve tone bombi i raketa. Na radaru je teško uočljiva, a njome se može upravljati sa bezbedne daljine, iz stotinama kilometara udaljenog centra.

Isprva su bespilotne letelice služile samo za izviđanje, ali u poslednje vreme se sve više koriste kao opasno oružje. U tome prednjače SAD, posebno u operacijama na prostranim područjima Pakistana. Promena strategije vidi se i iz statistike: od 2004. do 2007. takve letelice izvršile su samo devet napada, dok je samo u 2010. izvedeno 118 bombardovanja sa najmanje 600 žrtava.



Uprkos vrhunskoj tehnologiji i novim sensorima, na kopnu još uvek nema mnogo borbenih vozila bez posade. Bespilotne letelice, osim Amerikanaca, proizvode ili kupuju i druge države, njih pedesetak, od Nemačke preko Izraela do Kine ili Rusije. Mnoge današnje letelice ne samo da imaju vrhunsku optiku za izviđanje, već su i naoružane „do zuba“. Razlika u troškovima za bespilotnu letelicu i za klasični borbeni avion je očigledna: američka bespilotna letelica Reaper MQ-9 košta desetak miliona dolara, dok novi američki lovac-bombarder F-22 kojim mora da upravlja pilot košta 150 miliona.

Američka vojska, pored tenkova i aviona, sve više novca ulaže u odbranu informatičkih sistema. Do 2014. će za to biti izdvojeno 12 milijardi dolara, dvostruko više nego što se u tu svrhu trošilo 2009. godine.

I od ratne mornarice se očekuje da što brže odreaguje na pretnju i zato se i ona automatizuje. Ali, to neizbežno dovodi i do velikih grešaka, kakva se već dogodila 3. jula 1988, kada je potpuno automatski PVO sistem AEGIS, američke krstarice Vincenes, identifikovao iranski putnički avion kao neprijateljsku vojnu letelicu. Avion je smesta automatski oboren.

Protoklih godina se pokazalo koliko sajber oružje može da bude efektivno. Tu snagu demonstrirao je Staxnet virus koji je uspešno napao iranski pogon za obogaćivanje uranom u Natanu. Sve više oružanih sila na svetu radi na virusima i programima koji će naneti i fizičku štetu neprijatelju i njegovim kompjuterizovanim postrojenjima.

Sjedinjene Države su nedavno predstavile svoj novi sistem sajber odbrane. Prethodno je u jednom hakerskom napadu na Pentagon ukradeno 24.000 poverljivih dokumenata. Pentagon smatra da je za taj napad odgovorna vlada neke strane države.



Takođe, 2007. godine se pokazalo koliko precizna oružja mogu da budu neprecizna. Tada je kompjuter u nemačkom protivvazдушnom topu koji je kupila Južnoafrička Republika zakazao i otvorio paljbu bez razloga. Rezultat je bio devet mrtvih vojnika i 14 povređenih, od kojih nekoliko i teško.

U sajber prostoru nema nikakvih pravila. Petnaestak stručnjaka iz desetak zemalja zato pokušava da stvori međunarodni kodeks za sukobe u virtuelnom svetu, a među njima ima i onih koji su uvereni da više nema razlike između stvarnog i virtuelnog, pa zato i na sajber-napade treba odgovoriti „pravim“ oružjem.

Nebojša Gaćeša

Kina lansirala orbitalni satelit za „kosmičko istraživanje“¹⁵

Kina je 6. jula lansirala eksperimentalni orbitalni satelit iz porodice satelita Shijian radi sprovođenja, kako se navodi, „kosmičkih eksperimenata“.¹⁶

Satelit SJ-II-03 razvila je kompanija China Spacesat, kooperant kompanije China Aerospace Science and Technology Corp (CASC), a podignut je na raketu-nosač Long March II-C iz lansirnog centra Jiuquan Satellite u oblasti Gansu. Među svojim mnogobrojnim funkcijama, CASC je poznat po

¹⁵ Jane's Defence Weekly, broj 28 od 13 jula 2011.

¹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Chinese_space_program

pružanju podrške Odeljenju opšteg osoblja i Odeljenju opšteg oružja u razvoju svemirskih nadzornih sistema.

Orbita ovog satelita ima periapsis (perigeju) od 701 km i apoapsis (apogeju) od 723 km na 98,21 stepeni, slično svom prethodniku SJ-II-01, koji je lansiran u novembru 2009. godine i ima periapsis od 695,7 km i apoapsis od 710,6 km. Rezultati naučnog rada koji su obavili sateliti Shijian nikada nisu objavljeni i time navode na spekulacije da se koriste za nadzor i prikupljanje elektronskih obaveštajnih podataka.

U svom nedavnom izveštaju institut Project 2049 je naveo da određeni broj Shijian satelita izgleda ima karakteristike elektronskih obaveštajnih podataka (ELINT) i orbitalnu konfiguraciju koja sugerise vojnu primenu.

Nepotvrđeni izveštaji navode da porodica orbitalnih satelita SJ-6 koje je Kina 2006. godine počela da lansira u parovima u sunčano-sinhronim orbitama na visini od 600 km možda obavlja izviđanje pomorskih signala. Smatra se da misija dva koorbitalna satelita SJ-6 Group-04, lansirana u oktobru 2010, obuhvata i testove ELI NT tehnologije.

Dok su informacije o satelitu SJ-II-02 još uvek poverljive, uvođenje satelita SJ-II-03 bi moglo da kreira „konstelaciju” orbitalnih satelita koji mogu da obavljaju procenu vremenske razlike u dolasku (time difference of arrival – TDOA) ili geolociranje neophodno za praćenje objekata preko velikih teritorija, kao što su grupe borbenih nosača na moru.

Njihove orbite su, takođe, veoma slične orbiti satelita Shiyang-2, sa daljinskim upravljanjem, fotografskim premerom i sposobnostima stereo mapiranja, što je dovelo do spekulacija da serija Shijian može, takođe, imati namenu ranog upozorenja.

Kineski prvi eksperimentalni ELiNT satelit SJ-1 lansiran je u martu 1971, uz još tri lansiranja od jula 1975. do avgusta 1976. Tri satelita SJ-2 su lansirana 1981. godine.



Nebojša Kljajić

Kineski nosač aviona okončao prvu plovidbu¹⁷

Prvi kineski nosač aviona okončao je, polovinom avgusta, prvu plovidbu morem i vratio se u luku Dalijan, na severoistoku zemlje.

Kako su javili kineski mediji, plovidba je trajala pet dana, prenela je agencija AP. Nosač aviona, redizajnirano i obnovljeno bivše sovjetsko plovilo, isplovilo je u sredu iz brodogradilišta u luci Dalijan, na severoistoku provincije Liaoning.



Nosač aviona napravljen je od starog sovjetskog nosača „varijag“, koji je ruska momarica počela da gradi tokom osamdesetih godina, ali ga nije završila. Po završetku probe na nosaču će biti nastavljene prepravke i probni radovi.

Američki i kineski vojni stručnjaci smatraju da taj nosač ne predstavlja izvor tenzija u odnosima Kine i SAD i drugih država u azijsko-pacifičkom regionu.

Sjedinjene Države, Velika Britanija, Francuska, Rusija, Španija, Italija, Indija, Brazil i Tajland imaju ukupno 21 aktivan nosač aviona, dok Japan ima dva nosača helikoptera.

Nebojša Gaćeša

Rusija predstavila Suhoj T-50, novi lovac pete generacije

Rusija je sredinom avgusta prvi put predstavila javnosti Suhoj T-50, novi lovac pete generacije, proizveden u saradnji sa Indijom i Brazilom, prilikom otvaranja međunarodnog aeronautičkog sajma MAKS koji se održao u četvrti Žukovski, u predgrađu Moskve. Javnost ga je mogla videti samo na nebu. Iz sigurnosnih razloga nije bio izložen na tlu.

¹⁷ Blic, Tanjug, 14. 08. 2011., Foto: AFP



Ovaj, za radare nevidljivi avion jednosed, imao je prvi probni let 29. januara 2010. u Komsomolsku na Amuru.

Ovim avionom, jedinim tipom lovca pete generacije u svetu, a koji proizvodi Rusija, opremit će se rusko vazduhoplovstvo od 2016.

Svaka letelica košta oko 100 miliona dolara, po procenama stručnjaka koje prenosi štampa. U razvoj novog Suhoja Rusija je uložila oko 10 milijardi dolara.

Mada su mnoge pojedinosti u vezi sa ovom letelicom i dalje vojna tajna, obavešteni izvori tvrde da Suhoj T-50 u mnogo čemu prevazilazi karakteristike famoznog američkog nevidljivog aviona F-117 i da predstavlja novi izazov za inženjere iz NATO-a.

Nebojša Gaćeša

Rusija predstavila novi pokretni raketni sistem

Ruske strateške raketne snage (RVSN) predstavile su novinarima, krajem septembra, novi pokretni raketni sistem Jars u regiji Ivanovska, prenose ruski mediji, navodeći da se ovom sistemu ne može suprotstaviti nijedan protivraketni sistem u svetu.

Jars će zameniti raketni sistem Topol-M. Sistem Jars je opremljen interkontinentalnom balističkom raketom RS-24 sa višestrukim bojevim glavama, koja je u stanju da pogodi nekoliko ciljeva na udaljenosti do 11.000 kilometara.

To je prvi put da je Jars predstavljen javnosti, jer su je dosad mogli videti samo naučnici i vojni zvaničnici. Novi sistem biće glavna udarna snaga RVSN-a.

Nebojša Gaćeša

Nove rakete za ruske nuklearne podmornice¹⁸



U Rusiji je uspešno završena proba nove strateške rakete Lajner. Uskoro će ona biti primljena u naoružanje vojnopomorske flote. Kako je saopštio izvor u glavnom štabu ratne mornarice, raketnim kompleksima Lajner biće opremljene podmornice projekta Delfin u Severnoj floti.

To će omogućiti Severozapadnoj grupaciji nuklearnih podmornica da održava visok nivo bojne gotovosti najmanje do 2030. godine. Oba lansiranja interkontinentalne balističke rakete Lajner izvedena su uspešno ove godine sa nuklearnih podmornica Jekaterinburg i Tula. Kao što se zna, u Rusiji se nastavljaju ispitivanja druge interkontinentalne trostepene balističke rakete Bulava. Za sada je od 15 lansiranja bilo uspešno 8. Lajner i Bulava nisu konkurenti. Prva raketa je na tečno gorivo, a druga na tvrdo.

Idealnog oružja nema, pa razni vidovi naoružanja kompenzuju ili eliminišu postojeće nedostatke. Raketa na tvrdo gorivo je lakša za eksploataciju i bezbednija za čuvanje. Međutim, raketa na tečno gorivo zahteva brižljivije servisiranje.

Lajner ima veliki domet i visoku preciznost. Lajner, u stvari, predstavlja modernizaciju rakete Sinjeva koja je u naoružanju. Mnogi eksperti ističu da Lajner poseduje nove mogućnosti u odnosu na Sinjevu u smislu protivraketne odbrane. Takođe, Lajner ima dva puta više bojnih blokova male klase snage u odnosu na Bulavu i veći domet leta. Po informaciji izvora ratne mornarice, letačke probe Lajnera su završene 2011. godine. Po njihovim rezultatima doneta je odluka o serijskoj proizvodnji i eksploataciji rakete.

Uključivanje Lajnera u naoružanje ojačaće strateške nuklearne snage Rusije. Postojanje više varijanti bojne opreme omogućiće operativno reagovanje na pojavu vojnih opasnosti.

Nebojša Gaćeša

¹⁸ Glas Rusije (<http://serbian.ruvr.ru>), 7. 10. 2011.

POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA O NAČINU PRIPREME ČLANKA

Uputstvo autorima o načinu pripreme članka za objavljivanje u *Vojnotehničkom glasniku* urađeno je na osnovu Akta o uređivanju naučnih časopisa, Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, evidencioni broj 110-00-17/2009-01, od 09. 07. 2009. godine. Primena ovog Akta prvenstveno služi unapređenju kvaliteta domaćih časopisa i njihovog potpunijeg uključivanja u međunarodni sistem razmene naučnih informacija. Zasnovano je na međunarodnim standardima ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 i ISO 5122, odnosno odgovarajućim domaćim standardima.

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – štampano izdanje, ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) jeste multidisciplinarni naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje naučne i stručne članke, kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama. Časopis prati jedinstvenu intervi-dovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava naoružanja i vojne opreme, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, saglasno odluci iz člana 27. stav 1. tačka 4), a po pribavljenom mišljenju iz člana 25. stav 1. tačka 5) Zakona o naučnoistraživačkoj delatnosti („Službeni glasnik RS”, br. 110/05, 50/06-ispr. i 18/10), utvrdilo je kategorizaciju Vojnotehničkog glasnika, za 2011. godinu:

za oblast osnovna istraživanja:

– na listi časopisa za matematiku, računarske nauke i mehaniku: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M₅₂),

– na listi časopisa za geonauke i astronomiju: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M₅₂),

za oblast tehnološki razvoj:

– na listi časopisa za elektroniku i telekomunikacije: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M₅₂),

– na listi časopisa za mašinstvo: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M₅₂),

– na listi časopisa za materijale i hemijske tehnologije: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M₅₂),

– na listi časopisa za industrijski softver i informatiku: kategorija naučni časopis (M₅₃).

Usvojene liste domaćih časopisa za 2011. godinu mogu se videti na adresi: http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23%3Anajnovje-vesti&Itemid=109

Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti i na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku):

<http://nainfo.nb.rs/kobson.82.html> ili <http://nainfo.nb.rs/kategorizacija>.

Pristup ovoj stranici dopušten je samo ovlašćenim korisnicima Akademske mreže Srbije (AMRES).

Kategorizacija časopisa izvršena je prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, koji je propisao Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (Službeni glasnik RS, broj 38/2008). Detaljnije informacije mogu se pronaći na sajtu Ministarstva za nauku: http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37.

U skladu sa ovim pravilnikom i tabelom o vrsti i kvantifikaciji individualnih naučnoistraživačkih rezultata (u sastavu Pravilnika), objavljeni rad u *Vojnotehničkom glasniku* vrednuje se sa 1,5 bod (kategorija M₅₂) i 1 bod (kategorija M₅₃).

Časopis se prati u kontekstu Srpskog citatnog indeksa – SCindeks (baza podataka domaćih naučnih časopisa – detalji dostupni na sajtu <http://scindeks.nb.rs>) i podvrgnut je stalnom vrednovanju (monitoringu) u zavisnosti od uticajnosti (impakta) u samoj bazi i, dopunski, u međunarodnim (Thompson-ISI) citatnim indeksima.

Članci se dostavljaju Redakciji elektronskom poštom na adresu vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs, na srpskom, engleskom, ruskom, nemačkom ili francuskom jeziku (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, prored exactly).

Članak treba da sadrži sažetak sa ključnim rečima, uvod, razradu, zaključak, literaturu i rezime sa ključnim rečima na engleskom jeziku (bez numeracije naslova i podnaslova). Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa proredom exactly).

Obrazac za pisanje članka u elektronskoj formi može se preuzeti na adresi <http://www.vtg.mod.gov.rs>, sa stranice OBRAZAC ZA PISANJE ČLANAKA.

Naslov

Naslov treba da odražava temu članka. U interesu je časopisa i autora da se koriste reči prikladne za indeksiranje i pretraživanje. Ako takvih reči nema u naslovu, poželjno je da se pridoda i podnaslov. Naslov treba da bude preveden i na engleski jezik. Ovi naslovi ispisuju se ispred sažetka na odgovarajućem jeziku.

Tekući naslov

Tekući naslov se ispisuje u zaglavlju svake stranice članka radi lakše identifikacije, posebno kopija članaka u elektronskom obliku. Sadrži prezime i inicijal imena autora (ako autora ima više, preostali se označavaju sa „et al.“ ili „i dr.“), naslove rada i časopisa i kolaciju (godina, volumen, sveska, početna i završna stranica). Naslovi časopisa i članka mogu se dati u skraćenom obliku.

Ime autora

Navodi se puno prezime i ime (svih) autora. Veoma je poželjno da se navedu i srednja slova autora. Prezimena i imena domaćih autora uvek se ispisuju u originalnom obliku (sa srpskim dijakritičkim znakovima), nezavisno od jezika na kojem je napisan rad.

Naziv ustanove autora (afilijacija)

Navodi se pun (zvanični) naziv i sedište ustanove u kojoj je autor zaposlen, a eventualno i naziv ustanove u kojoj je autor obavio istraživanje. U složenim organizacijama navodi se ukupna hijerarhija (na primer, Vojna akademija, Katedra vojnih elektronskih sistema, Beograd). Bar jedna organizacija u hijerarhiji mora biti pravno lice. Ako autora ima više, a neki potiču iz iste ustanove, mora se, posebnim oznakama ili na drugi način, naznačiti iz koje od navedenih ustanova potiče svaki od navedenih autora. Afilijacija se ispisuje neposredno nakon imena autora. Funkcija i zvanje autora se ne navode.

Kontakt podaci

Adresa ili e-adresa autora daje se u napomeni pri dnu prve stranice članka. Ako autora ima više, daje se samo adresa jednog, obično prvog autora.

Kategorija (tip) članka

Kategorizacija članaka obaveza je uredništva i od posebne je važnosti. Kategoriju članka mogu predlagati recenzenti i članovi uredništva, odnosno urednici rubrika, ali odgovornost za kategorizaciju snosi isključivo glavni urednik.

Članci u časopisima se razvrstavaju u sledeće kategorije:

Naučni članci:

1. originalan naučni rad (rad u kojem se iznose prethodno neobjavljivani rezultati sopstvenih istraživanja naučnim metodom);
2. pregledni rad (rad koji sadrži originalan, detaljan i kritički prikaz istraživačkog problema ili područja u kojem je autor ostvario određeni doprinos, vidljiv na osnovu autocitata);
3. kratko ili prethodno saopštenje (originalni naučni rad punog formata, ali manjeg obima ili preliminarnog karaktera);
4. naučna kritika, odnosno polemika (rasprava na određenu naučnu temu, zasnovana isključivo na naučnoj argumentaciji) i osvrti.

Izuzetno, u nekim oblastima, naučni rad u časopisu može imati oblik monografske studije, kao i kritičkog izdanja naučne građe (istorijsko-arhivske, leksikografske, bibliografske, pregleda podataka i sl.) – dotad nepoznate ili nedovoljno pristupačne za naučna istraživanja.

Radovi klasifikovani kao naučni moraju imati bar dve pozitivne recenzije.

Spisak recenzenata Vojnotehničkog glasnika može se videti na adresi <http://www.vtg.mod.gov.rs>, na stranici SPISAK RECENZENATA.

Ako se u časopisu objavljuju i prilozi vannaučnog karaktera, naučni članci treba da budu grupisani i jasno izdvojeni u prvom delu sveske.

Stručni članci:

1. stručni rad (prilog u kojem se nude iskustva korisna za unapređenje profesionalne prakse, ali koja nisu nužno zasnovana na naučnom metodu);
2. informativni prilog (uvodnik, komentar i sl.);
3. prikaz (knjige, računarskog programa, slučaja, naučnog događaja, i sl.).

Jezik rada

Jezik rada može biti srpski, engleski ili drugi jezik koji se koristi u međunarodnoj komunikaciji u određenoj naučnoj oblasti (ruski, nemački ili francuski).

Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez skraćenica (osim standardnih). Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označava se rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama.

Sažetak (apstrakt) i rezime

Sažetak (apstrakt) jeste kratak informativan prikaz sadržaja članka koji čitaocu omogućava da brzo i tačno oceni njegovu relevantnost. U interesu je uredništava i autora da sažetak sadrži termine koji se često koriste za indeksiranje i pretragu članaka. Sastavni delovi sažetka su cilj istraživanja, metodi, rezultati i zaključak. Sažetak treba da ima od 100 do 250 reči i treba da se nalazi između zaglavlja (naslov, imena autora i dr.) i ključnih reči, nakon kojih sledi tekst članka. Ako je rad napisan na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom) jeziku poželjno je da se, pored sažetka na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom), daje i sažetak u proširenom obliku na engleskom jeziku – kao tzv. rezime (summary). Ovakav rezime treba da bude na kraju članka, nakon odeljka Literatura. Važno je da rezime bude u strukturiranom obliku, a njegova dužina može biti do 1/10 dužine članka (opširniji je od sažetka sa početka članka). Početak ovog rezimea može biti prevedeni sažetak (sa

početka članka), a zatim treba da slede prevedeni glavni naslovi, podnaslovi i osnove zaključka članka (literatura se ne prevodi). Potrebno je da se u strukturiranom rezimeu prevede i deo teksta ispod naslova i podnaslova, vodeći računa da on bude proporcionalan njihovoj veličini, a da odražava suštinu. Nakon rezimea na engleskom jeziku (proširenog sažetka) dodaje se njegov prevod na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom), da bi redakcija izvršila proveru i lekturu.

Ključne reči

Ključne reči su termini ili fraze koje adekvatno predstavljaju sadržaj članka za potrebe indeksiranja i pretraživanja. Treba ih dodeljivati oslanjajući se na neki međunarodni izvor (popis, rečnik ili tezaurus) koji je najšire prihvaćen ili unutar date naučne oblasti. Za npr. nauku uopšte, to je lista ključnih reči Web of Science. Broj ključnih reči ne može biti veći od 10, a u interesu je uredništva i autora da učestalost njihove upotrebe bude što veća. Ključne reči daju se na jeziku na kojem je napisan članak (sažetak) i na engleskom jeziku. U članku se pišu neposredno nakon sažetka, odnosno nakon rezimea.

Datum prihvatanja članka

Datum kada je uredništvo primilo članak, datum kada je uredništvo konačno prihvatilo članak za objavljivanje, kao i datumi kada su u međuvremenu dostavljene eventualne ispravke rukopisa navode se hronološkim redosledom, na stalnom mestu, po pravilu na kraju članka.

Zahvalnica

Naziv i broj projekta, odnosno naziv programa u okviru kojeg je članak nastao, kao i naziv institucije koja je finansirala projekat ili program, navodi se u posebnoj napomeni na stalnom mestu, po pravilu pri dnu prve strane članka.

Prethodne verzije rada

Ako je članak u prethodnoj verziji bio izložen na skupu u vidu usmenog saopštenja (pod istim ili sličnim naslovom), podatak o tome treba da bude naveden u posebnoj napomeni, po pravilu pri dnu prve strane članka. Rad koji je već objavljen u nekom časopisu ne može se objaviti u *Vojnotehničkom glasniku* (preštampati), ni pod sličnim naslovom i izmenjenom obliku.

Tabelarni i grafički prikazi

Poželjno je da naslovi svih prikaza, a po mogućstvu i tekstualni sadržaj, budu dati dvojezično, na jeziku rada i na engleskom jeziku.

Tabele se pišu na isti način kao i tekst, a označavaju se rednim brojevima sa gornje strane. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u programu word ili corel. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu.

Navođenje (citiranje) u tekstu

Način pozivanja na izvore u okviru članka mora biti jednoobrazan. U samom tekstu, u uglastim zagradama, obavezno napisati redni broj iz odeljka Literatura sa kraja članka, na mestu na kojem se vrši pozivanje, odnosno citiranje.

Napomene (fusnote)

Napomene se daju pri dnu strane na kojoj se nalazi tekst na koji se odnose. Mogu sadržati manje važne detalje, dopunska objašnjenja, naznake o korišćenim izvorima (na primer, naučnoj građi, priručnicima), ali ne mogu biti zamena za citiranu literaturu.

Lista referenci (literatura)

Citirana literatura obuhvata, po pravilu, bibliografske izvore (članke, monografije i sl.) i daje se isključivo u zasebnom odeljku članka, u vidu liste referenci. Reference se nabrajaju redosledom kojim se navode u tekstu. Reference se ne prevode na jezik rada i navode se u uglastim zagradama. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdanja, kao i broj stranice. Naslovi citiranih domaćih časopisa daju se u originalnom, punom ili skraćenom, ali nikako u prevedenom obliku. Pri navođenju internet sajta kao literature navodi se i datum korišćenja. Obavezno je pozivanje na literaturu u samom tekstu članka (takođe se navodi brojevima u uglastim zagradama). Brojevi treba da odgovaraju spisku literature koji je dat u zasebnom odeljku, pri kraju članka.

Veoma je preporučljiva upotreba punih formata referenci koje podržavaju vodeće međunarodne baze namenjene vrednovanju, kao i Srpski citatni indeks, a propisani su uputstvima:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research

Papers i

7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Publishers.

Takođe, prihvaćeni su i formati dati u uputstvima:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide i
2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

Nestandardno, nepotpuno ili nedosledno navođenje literature u sistemima vrednovanja časopisa smatra se dovoljnim razlogom za osporavanje naučnog statusa časopisa.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U propratnom pismu navode se i podaci autora: ime, srednje slovo, prezime, čin, zvanje, e-mail, adresa poslodavca (VP), kućna adresa, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Ako je više autora članka, u propratnom pismu se navodi pojedinačni procentualni udeo radi obračuna honorara.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije honorišu se prema važećim propisima.

Adresa redakcije: Vojnotehnički glasnik, 11000 Beograd, Braće Jugovića 19.

E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Odgovorni urednik
 Nebojša Gaćeša
 nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
 tel.: 011/3349-497,
 064/8080-118

CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Act on scientific journal editing of the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, No 110-00-17/2009-01 of 9th July 2009. This Act aims at improving the quality of national journals and raising the level of their compliance with the international system of scientific information exchange. It is based on international standards ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 and ISO 5122 and their national equivalents.

THE MILITARY TECHNICAL COURIER (www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – print issue, ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) is a multidisciplinary scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia. It publishes scientific and professional papers as well as technical data about contemporary weapon systems and modern military technologies. Offering a logistic system support, the *Courier* is a part of a unique technical support to the Army services in the field of fundamental, applied and developmental research. It also deals with production and use of weapons and military equipment as well as with theoretical and practical achievements leading to professional development of the personnel of the Ministry of Defence and the Army of the Republic of Serbia.

Pursuant to the decision given in Article 27, paragraph 1, point 4, and in accordance with the acquired opinion given in Article 25, paragraph 1, point 5 of the Act on Scientific and Research Activities (*Official Gazette of the Republic of Serbia*, No 110/05, 50/06-cor and 18/10), the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia classified the *Military Technological Courier* for the year 2011

in the field **fundamental research**:

- on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics: category: scientific periodical of national interest (M_{52}),
- on the list of periodicals for earth sciences and astronomy: category: scientific periodical of national interest (M_{52}),

in the field **technological development**

- on the list of periodicals for electronics and telecommunications, category: scientific periodical of national interest (M_{52}),
- on the list of periodicals for mechanical engineering, category: scientific periodical of national interest (M_{52}),
- on the list of periodicals for materials and chemical technology, category: scientific periodical of national interest (M_{52}),
- on the list of periodicals for industrial software and IT, category: scientific periodical (M_{53}).

The approved lists of national periodicals for the year 2010 can be viewed at: http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23%3Anajnovije-vesti&Itemid=109

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition), <http://nainfo.nb.rs/kobson.82.html> or <http://nainfo.nb.rs/kategorizacija>. The access to this web page is possible only from computers linked to the Internet via the Academic computer network.

The periodical is categorized in compliance with the Regulations on the procedure and method of evaluation and quantitative formulation of scientific and research results of researchers, stipulated by the National Council for Scientific and Technological Development (*Official Gazette of RS*, No 38/2008). More detailed information can be found on the website of the Ministry of Science: http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37.

In accordance with the Regulations and the table about types and quantification of individual scientific and research results (as a part of the Regulations), a paper published in the *Military Technical Courier* scores 1,5 (one and a half point (category M₅₂)) and 1 (one) point (category M₅₃).

The journal is in the Serbian Citation Index – SC index (data base of national scientific journals – details available at <http://scindeks.nb.rs>) and is constantly monitored depending on the impact within the base itself and on the international (Thompson-ISI) citation indexes.

Articles are submitted electronically to the Editorial Office at the e-address in Serbian, English, Russian, German or French, using Arial, a font size of 11pt and Exactly spacing.

The article should contain the abstract with keywords, introduction, body, conclusion, references and the summary in English language (without heading and subheading enumeration). The article length should not exceed 16 pages of A4 paper format.

The article should be formatted following the instructions in the Article Form which can be downloaded from:

<http://www.vtg.mod.gov.rs>.

Title

The title should be informative. It is in both Journal's and author's best interest to use terms suitable for indexing and word search. If there are no such terms in the title, the author is strongly advised to add a subtitle. The title should be given in English as well.

The titles precede the abstract and the summary in an appropriate language.

Letterhead title

The letterhead title is given at a top of each page for easier identification of article copies in an electronic form in particular. It contains the author's surname and first name initial (for multiple authors add "et al"), article title, journal title and collation (year, volume, issue, first and last page). The journal and article titles can be given in a shortened form.

Author's name

Full name(s) of author(s) should be used. It is advisable to give the middle initial. Names are given in their original form (with diacritic signs if in Serbian).

Author's affiliation

The full official name and seat of the author's affiliation is given, possibly with the name of the institution where the research was carried out. For organizations with complex structures, give the whole hierarchy (for example, Military Academy, Department for Military Electronic Systems, Belgrade). At least one organization in the hierarchy must be a legal entity. When some of multiple authors have the same affiliation, it must be clearly stated, by special signs or in other way, which department exactly they are affiliated with. The affiliation follows the author's name. The function and title are not given.

Contact details

The postal address or the e-mail address of the author (usually of the first one if there are more authors) is given in the footnote at the bottom of the first page.

Type of articles

Classification of articles is a duty of the editorial staff and is of special importance. Referees and the members of the editorial staff, or section editors, can propose a category, but the editor-in-chief has the sole responsibility for their classification.

Journal articles are classified as follows:

Scientific articles:

1. Original scientific paper (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);
2. Survey paper (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution visible through his self-citation);
3. Short or preliminary communication (original scientific paper of full format but of a smaller extent or of a preliminary character);
4. Scientific critique or forum (discussion on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and commentaries.

Exceptionally, in particular areas, a scientific paper in the Journal can be in a form of a monograph or a critical edition of scientific data (historical, archival, lexicographic, bibliographic, data survey, etc.) which were unknown or hardly accessible for scientific research.

Papers classified as scientific must have at least two positive reviews.

The list of referees of the Military Technical Courier can be viewed at:

<http://www.vtg.mod.gov.rs>.

If the journal contains non-scientific contributions as well, the section with scientific papers should be clearly denoted in the first part of the Journal.

Professional articles:

1. Professional paper (contribution offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);
2. Informative contribution (editorial, commentary, etc.);
3. Review (of a book, software, case study, scientific event, etc.).

Language

The article can be in Serbian, English or other language used in international communication in a particular scientific field (Russian, German or French).

The grammar and style of the article should be of good quality. The systematized text should be without abbreviations (except standard ones). All measurements must be in SI units. The sequence of formulae is denoted in Arabic numerals in parentheses on the right-hand side.

Abstract and summary

An abstract is a concise informative presentation of the article content for fast and accurate evaluation of its relevance. It is both in the Editorial Office's and the author's best interest for an abstract to contain terms often used for indexing and article search. The abstract describes the purpose of the study and the methods, outlines the findings and state the conclusions. A 100- to 250- word abstract should be placed between the title and the keywords with the body text to follow. Besides an abstract in Serbian (Russian, German or French), articles in Serbian (Russian, German or French) are advised to have a summary in English, at the end of the article, after the Reference list. The summary should be structured and long up to 1/10 of the article length (it is more extensive than the abstract). It can start with the translated Serbian (Russian, German or French) abstract from the beginning of the article with translated main headings, subheadings and major conclusions to follow (Reference list is not translated). The structured summary should also contain the proportional informative parts of the text below the headings and subheadings. The summary in English is followed by its Serbian (Russian, German or French) version for the Editorial Office to perform checking and proofreading.

Keywords

Keywords are terms or phrases showing adequately the article content for indexing and search purposes. They should be allocated heaving in mind widely accepted international sources (index, dictionary or thesaurus), such as the Web of Science keyword list for science in general. The higher their usage frequency is, the better. Up to 10 keywords immediately follow the abstract and the summary, in respective languages.

Article acceptance date

The date of the reception of the article, the dates of submitted corrections in the manuscript (optional) and the date when the Editorial Board accepted the article for publication are all given in a chronological order at the end of the article.

Acknowledgements

The name and the number of the project or programme within which the article was realised is given in a separate note at the bottom of the first page together with the name of the institution which financially supported the project or programme.

Article preliminary version

If an article preliminary version has appeared previously at a meeting in a form of an oral presentation (under the same or similar title), this should be sta-

ted in a separate note at the bottom of the first page. An article published previously cannot be published in the *Military Technical Courier* even under a similar title or in a changed form.

Tables and illustrations

All the captions should be in the original language as well as in English, together with the texts in illustrations if possible. Tables are typed in the same style as the text and are denoted by Arabic numerals at the top. Photographs and drawings, placed appropriately in the text, should be clear, precise and suitable for reproduction. Drawings should be created in Word or Corel.

Citation in the text

Citation in the text must be uniform. When citing references in the text, use the reference number set in square brackets from the Reference list at the end of the article.

Footnotes

Footnotes are given at the bottom of the page with the text they refer to. They can contain less relevant details, additional explanations or used sources (e.g. scientific material, manuals). They cannot replace the cited literature.

Reference list (Literature)

The cited literature encompasses bibliographic sources such as articles and monographs and is given in a separate section in a form of a reference list. References, quoted in square brackets, are not translated to the language of the article. A bibliographic entry for a book contains the author's surname and first name initial, book title, publisher, place and year of publication. A bibliographic entry for an article contains the author's surname and first name, article title, journal title, issue number, year of publication and page numbers. Titles of cited national journals are given in their full or shortened original form, but never translated. Web references are given with the retrieval date. Citations in the body of the text are necessary. Numbers in square brackets must correspond to the numbers in the Reference list at the end of the article. It is highly advisable to use full format references supported by leading international evaluation bases as well as the Serbian Citation Index. Here are the recommended style guides:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research Papers and
7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Publishers.

The formatting given in the following instructions is also acceptable:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide and
2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

In journal evaluation systems, non-standard, insufficient or inconsequent citation is considered to be a sufficient cause for denying the scientific status to a journal.

The article should be accompanied with a cover letter with the information about the author(s): surname, middle initial, first name, citizen personal number, rank, title, e-mail address, affiliation address, home address including municipality, phone number in the office and at home (or a mobile phone number), bank account and the name of the bank.

If there are more authors, their share in the article should be given in percents for honorarium calculation purposes.

The cover letter should state the type of the article and tell which illustrations are original and which are not.

All articles are peer reviewed. All authors and reviewers are paid an honorarium on publication of the article.

Address of the Editorial Office:
Vojnotehnički glasnik, 11000 Beograd,
Braće Jugovića 19.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.
Managing Editor
Nebojša Gaćeša
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

- Braće Jugovića 19, 11000 Beograd •
- Telefoni: (011) 3201-995 i 23-995 •
- Telefaks: (011) 3241-009 •
- Tekući račun: 840-312849-56 • PIB: 102116082 •
- Broj potvrde o evidentiranju za PDV: 135328814 •

POZIV NA PRETPLATU ZA 2011. GODINU

Pretplaćujemo se na časopis:

	br. primeraka
1. „Vojnotehnički glasnik“	
Godišnja pretplata 1.200,00 dinara	
Prilikom uplate pozvati se na broj: 54
2. „Novi glasnik“	
Godišnja pretplata 1.800,00 dinara	
Prilikom uplate pozvati se na broj: 53
3. „Vojno delo“	
Godišnja pretplata 1.400,00 dinara	
Prilikom uplate pozvati se na broj: 51

Pretplatne cene važe do 31. 12. 2011. godine.

Broj primeraka izdanja koja se naručuju upisati u narudžbenicu, a primerak narudžbenice sa dokazom o izvršenoj uplati na gore navedeni tekući račun poslati na gore navedenu adresu.

Kupac tel.:

Mesto

Ulica br.

Potpis naručioca

M. P.

Likovno-grafički urednik
mr *Nebojša* Kujundžić
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor i korektor
Dobriša Miletić, profesor
e-mail: dobriša.miletic@mod.gov.rs

Prevod na engleski
Jasna Višnjić, profesor
e-mail: visnjicjasna@yahoo.com

Prevod na ruski
Olivera Hajduković, profesor
e-mail: oliverahajdukovic@lucoil.rs

Prevod na nemački
Gordana Bogdanović, profesor
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Prevod na francuski
Dragan Vučković
e-mail: draganvuckovic@ybcnet.co.rs

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

623+355 / 359
355 / 359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис
Министарства одбране Републике Србије =
Military technical courier : scientific
periodical of the Ministry of Defence of the
Republic of Serbia / одговорни уредник
Небојша Гаћеша. - Год. 1, бр. 1 (1953) -
- Београд (Браће Југовића 19) : Министарство
одбране Републике Србије, 1953- (Београд :
Војна штампарија). - 24 cm

Доступно и на:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Тромесечно. - Друго издање на другом медијуму:
Војнотехнички гласник (Online) = ISSN
2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Cena: 350,00 dinara
Tiraž: 850 primeraka

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije,
broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 9. 2001. godine,
časopis „Vojnotehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

UDC: Narodna biblioteka Srbije, Beograd

Graphic design editor
Nebojša Kujundžić MA
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Copy editing
Zvezda Jovanović

Proofreader
Dobriša Miletić BA
e-mail: dobriša.miletic@mod.gov.rs

English translation and polishing
Jasna Višnjić BA
e-mail: visnjicjasna@yahoo.com

Russian translation and polishing
Olivera Hajduković BA
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

German translation and polishing
Gordana Bogdanović BA
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

French translation and polishing
Dragan Vučković
e-mail: draganvuckovic@ybcnet.co.rs

CIP – Catalogisation in the publication
National Library of Serbia, Belgrade

623+355 / 359
355 / 359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис
Министарства одбране Републике Србије =
Military technical courier : scientific
periodical of the Ministry of Defence of the
Republic of Serbia / одговорни уредник
Небојша Гаћеша. - Год. 1, бр. 1 (1953) -
- Београд (Браће Југовића 19) : Министарство
одбране Републике Србије, 1953- (Београд :
Војна штампарија). - 24 cm

Доступно и на:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Тромесечно. - Друго издање на другом медијуму:
Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN
2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Price: 350.00 RSD
Printed in 850 copies

According to the Opinion of the Ministry of Science and Technological Development
No 413-00-1201/2001-01 of 12th September 2001, the *Military Technological Courier* is a
publication of special interest for science.

UDC National Library of Serbia