



1
2014

ISSN 0042-8469

VOJNOTEHNIČKI glasnik

NAUČNI ČASOPIS MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

ISSN 0042-8469
COBISS.SR-ID 4423938



www.vtg.mod.gov.rs

1

UDC 623 + 355/359

GODINA LXII JANUAR-MART 2014.

ISSN 0042-8469
COBISS.SR-ID 4423938

MILITARY TECHNICAL

Courier

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

www.vtg.mod.gov.rs

1

UDC 623 + 355/359

VOLUME LXII JANUARY-MARCH 2014.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE
UNIVERZITET ODBRANE U BEOGRADU

Rektor
prof. dr Miodrag Jevtić, general-potpukovnik
MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

Direktor
Slavoljub M. Marković, potpukovnik
Načelnik odseka za izdavačku delatnost
Dragana Marković

UREDNIK VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA
mr Nebojša Gačeša, potpukovnik
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel.: 011/3349-497, 064/80-80-118

UREĐIVAČKI ODBOR

- brigadni general prof. dr Bojan Zrnić, načelnik Uprave za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse Ministarstva odbrane Republike Srbije, predsednik Uredivačkog odbora,
- doc. dr Danko Jovanović, general-major u penziji, zamenik predsednika uređivačkog odbora,
- dr Stevan M. Berber, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand,
- pukovnik naučni saradnik dr Obrad Čabarkapa, načelnik odeljenja za naučnu i inventivnu delatnost Uprave za strategijsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane Republike Srbije,
- prof. dr Vladimir Černov, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация (Vladimir State University, Vladimir, Russian federation),
- pukovnik vanr. prof. dr Goran Dikić, prorektor Univerziteta odbrane, Beograd,
- prof. dr Aleksandr Dorohov, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина (Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine),
- prof. dr Željko Đurović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu,
- prof. dr Leonid I. Grečihin, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь; академик Академии строительства Украины (Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academician of Academy of Construction of Ukraine),
- dr Jovan Isaković, Vojnotehnički institut, Beograd,
- prof. dr Slobodan Jaramaz, šef Katedre za sisteme naoružanja Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- general-potpukovnik 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 Mirko Komatina, šef Katedre za termomehaniku Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- naučni savetnik dr Ana Kostov, Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor,
- general-major prof. dr Mitar Kovač, načelnik Uprave za strategijsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane Republike Srbije,
- prof. dr Branko Kovačević, dekan Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- dr Vasilije M. Manović, CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada,
- prof. dr Momčilo Milinović, Katedra za sisteme naoružanja Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- prof. dr Gradimir V. Milovanović, redovni član Srpske akademije nauka i umetnosti, Matematički institut SANU, Beograd,
- prof. dr Mitar Novaković, rektor Univerziteta u Istočnom Sarajevu, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina,
- naučni savetnik dr Predrag Petrović, izvršni direktor za naučno-istraživački rad i radiokomunikacije Instituta za telekomunikacije i elektroniku IRITEL AD, Beograd,
- prof. dr Slavko Pokorni, Visoka škola za informacione tehnologije, računarski dizajn i savremeno poslovanje, Beograd,
- pukovnik doc. dr Stevan Radojčić, načelnik Vojnogeografskog instituta, Beograd,
- pukovnik doc. dr Zoran Rajić, direktor Vojnotehničkog instituta, Beograd,
- naučni savetnik dr Aleksandar Rodić, rukovodilac Centra za robotiku Instituta „Mihajlo Pupin“, Beograd,
- prof. dr Stanko Stanić, rektor Univerziteta u Banjoj Luci, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina,
- prof. dr Ionel Staretu, Transilvania University of Brasov, Romania,
- 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,
- general-major vanr. prof. dr Mladen Vuruna, načelnik Vojne akademije, Beograd,
- prof. dr Aleksa Zejak, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,
- potpukovnik mr Nebojša Gačeša, urednik Vojnotehničkog glasnika, sekretar Uredivačkog odbora.

Adresa redakcije:
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,
Braće Jugovića 19, Beograd
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
<http://aseeistant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>
<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

Vojnotehnički glasnik je licenciran kod EBSCO Publishing-a, najvećeg svetskog agregatora časopisa, periodike i ostalih izvora u punom tekstu. Kompletan tekst *Vojnotehničkog glasnika* dostupan je u bazama podataka EBSCO Publishing-a.

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs

MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
UNIVERSITY OF DEFENCE IN BELGRADE

Rector

Lt General Miodrag Jevtić, PhD, Professor

ODBRANA MEDIA CENTRE

Director

Lt Col *Slavoljub* M. Marković

Head of publishing department

Dragana Marković

EDITOR OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Lt Col *Nebojša* Gačeša 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)
- Assistant Professor Danko Jovanović, PhD, retired Major General, (Deputy Head of the Editorial Board)
- Stevan M. Berber, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand
- 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
- Professor Vladimir Chernov, DSc, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir State University, Vladimir, Russia
- Colonel Goran Dikić, PhD, Associate Professor, Protector of the University of Defence, Belgrade
- Professor Aleksandr V. Dorohov, PhD, Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine
- Professor Željko Đurović, PhD, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade
- Professor Leonid I. Gretchihin, PhD, Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academicien of Academy of Construction of Ukraine – Professor Jovan Isaković, PhD, Military Technical Institute, Belgrade
- Professor Slobodan Jaramaz, PhD, Head of the Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Lt General Miodrag Jevtić, PhD, Professor, Rector of the University of Defence, Belgrade
- Vukica M. Jovanović, PhD, Trine University, Allen School of Egineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA
- 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
- Major General Mitar Kovač, PhD, Professor, Head of the Defence Policy Sector, Ministry of Defence
- Professor Branko Kovačević, PhD, Dean of the Faculty of Electrical Engineering University of Belgrade
- Vasilije M. Manović, PhD, CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada
- Professor Momčilo Milinović, PhD, Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Professor Gradimir V. Milovanović, PhD, Member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Mathematical Institute of the SASA, Belgrade
- Professor Mitar Novaković, PhD, University of East Sarajevo, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Scientific Advisor Predrag Petrović, PhD, Executive Director for R&D and Radio Communications, Institute of telecommunications and electronics IRITEL AD, Belgrade
- Professor Slavko Pokorni, PhD, Information Technology School, Belgrade
- Colonel Stevan Radojić, PhD, Assistant Professor, Head of the Military Geographical Institute, 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 Mihailo Pupin Institute, Belgrade
- Professor Stanko Stanić, PhD, University of Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Professor Ionel Staretu, PhD, Transilvania University of Brasov, Romania
- 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
- Major General Mladen Vuruna, PhD, Associate Professor, Head of the Military Academy, Belgrade
- Professor Aleksa Zejak, PhD, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
- Lt Colonel Nebojša Gačeša, MSc, Editor of the Military Technical Courier (Secretary of the Editorial Board)

Address:

MILITARY TECHNICAL COURIER

Braće Jugovića 19, 11000 Beograd, Serbia

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

<http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg/issue/current>

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

e-mail: vojnotehnicki.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 1 st January 1953.

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

Military Technical Courier has entered into an electronic licensing relationship with EBSCO Publishing, the world's most prolific aggregator of full text journals, magazines and other sources. The full text of Military Technical Courier can be found on EBSCO Publishing's databases.

Printed by Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs

SADRŽAJ

ORIGINALNI NAUČNI ČLANCI

<i>Mihailo R. Mrdak</i> Karakterizacija aluminijum oksid 40% titanijum dioksid prevlake otporne na habanje .	7–22
<i>Dejan R. Inđić, Zoran T. Luković, Spasoje D. Mučibabić</i> Model angažovanja jedinica ABH službe prilikom hemijskog udesa	23–41
<i>Nenad O. Vesić, Dušan J. Simjanović</i> Matrično zasnovan algoritam za skrivanje tekstova i obradu informacija	42–57
<i>Marin M. Tadić, Nada M. Čitaković</i> Sinteza, difrakcioni eksperimenti, transmisiona elektronska mikroskopija i magnetne osobine nanokompozitnog uzorka $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	58–73
<i>Nenad V. Munić, Aleksandar M. Kovačević</i> Analiza i tumačenje modela Faradejevoq kaveza za ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti	74–88
<i>Rade M. Pavlović, Vladimir S. Petrović</i> Sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika uz isticanje ivica	89–111
<i>Mitar T. Jovanović, Velibor V. Karanović, Andrea V. Ivanišević, Darko M. Knežević</i> Otkaz hidrauličkog sistema čekića kao posledica kontaminacije čvrstim česticama ..	112–129
<i>Leonid I. Gretchihin (Леонид Иванович Гречихин)</i> Krilo zatvorenog tipa za bespilotne letelice: pozitivne i negativne osobine (Крыло замкнутого типа для беспилотных летательных аппаратов. Положительные и отрицательные качества)	130–140

PREGLEDNI ČLANCI

<i>Milić R. Milićević, Marjan A. Milenkov</i> Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja	141–166
<i>Bojan Ž. Janković, Marija M. Janković</i> Procena funkcije raspodele prividne energije aktivacije za neizotermnu redukciju nanoprahova oksida nikla	167–193

KRATKA SAOPŠTENJA

<i>Alexander I. Golodyaev (Александр Иванович Голодяев)</i> Novi vid visokoeksplozivnih bombi ogromne snage (Новый вид взрывных устройств огромной фугасной мощности)	194–198

STRUČNI ČLANCI

<i>Muhamed H. Pašić, Dragana R. Ružić</i> Modernizacija postrojenja – regulacija brzine motora kompresora	199–211

PRIKAZI

<i>Srećko R. Stopić</i> Sedma evropska konferencija o metalurgiji EMC2013	212–220

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

<i>Dragan M. Vučković, Mladen R. Tišma, Nikola M. Ostojić</i>	221–296
POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA	297–306
OBAVEŠTENJE SARADNICIMA I ČITAOCIMA	307–310
SPISAK RECENZENATA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA	311–326
IZJAVA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA O ETIČKOM POSTUPANJU	327–330

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

<i>Mihailo R. Mrdak</i> Characterization of the wear resistant aluminum oxide – 40% titaniumdioxide coating	7–22
<i>Dejan R. Inđić, Zoran T. Luković, Spasoje D. Mučibabić</i> Engagement model for NBC service units during chemical accidents	23–41
<i>Nenad O. Vesić, Dušan J. Simjanović</i> Matrično zasnovan algoritam za skrivanje tekstova i obradu informacija Matrix-based algorithm for text-data hiding and information processing	42–57
<i>Marin M. Tadić, Nada M. Čitaković</i> Synthesis, diffraction experiments, transmission electron microscopy and magnetic properties of α -Fe ₂ O ₃ /SiO ₂ nanocomposite sample	58–73
<i>Nenad V. Munić, Aleksandar M. Kovačević</i> Analysis and interpretation of the model of a Faraday cage for electromagnetic compatibility testing	74–88
<i>Rade M. Pavlović, Vladimir S. Petrović</i> Fusion of colour and monochromatic images with edge emphasis	89–111
<i>Mitar T. Jovanović, Velibor V. Karanović, Andrea V. Ivanišević, Darko M. Knežević</i> Hydraulic hammer excavator failure due to solid particle contamination	112–129
<i>Leonid I. Gretchihin (Леонид Иванович Гречихин)</i> Closed-type wing for drones: positive and negative characteristics	130–140

REVIEW PAPERS

<i>Milić R. Milićević, Marjan A. Milenkov</i> Determination of criteria weights using ranking	141–166
<i>Bojan Ž. Janković, Marija M. Janković</i> Evaluations of the apparent activation energy distribution function for the non-isothermal reduction of nickel oxide nano-powders	167–193

SHORT REPORTS

<i>Alexander I. Golodyaev (Александр Иванович Голодяев)</i> A new kind of high-explosive bombs of huge power	194–198

PROFESSIONAL PAPERS

<i>Muhammed H. Pašić, Dragana R. Ružić</i> Modernization of the plant - control of the compressor motor speed	199–211

REVIEWS

<i>Srećko R. Stopić</i> 7 th european metallurgical conference EMC2013	212–220

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

<i>Dragan M. Vučković, Mladen R. Tišma, Nikola M. Ostojić</i>	221–296
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	297–306
INFORMATION FOR CONTRIBUTORS AND READERS	307–310
LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER	311–326
PUBLICATION ETHICS STATEMENT	327–330

ORIGINALNI NAUČNI ČLANCI ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

CHARACTERIZATION OF ALUMINUM OXIDE – 40% TITANIUMDIOXIDE COATING WEAR RESISTANT

Mihailo R. Mrdak

Research and Development Center IMTEL,
Communications a.d., Belgrade

DOI: 10.5937/vojtehg62-3531

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

Plasma spray coatings play an important role in the design of surface properties of engineering components in order to increase their durability and performance under different operating conditions. Coatings are the most often used for wear resistance. This paper presents the microstructure and mechanical properties Al_2O_3 40wt.% TiO_2 coating resistant to dry friction slide, grain abrasion and erosion of particles at operating temperatures up to 540°C. In order to obtain the optimal characteristics of coating was performed optimization of deposition parameters. The powder Al_2O_3 40wt.% TiO_2 is deposited atmospheric plasma spraying (APS) process with a plasma current of 700, 800 and 900A. Evaluate the quality of the coating Al_2O_3 40wt.% TiO_2 were made on the basis of their hardness, tensile bond strength and microstructure. The best performance showed the deposited layers with 900A. The morphology of the powder particles Al_2O_3 40wt.% TiO_2 was examined with SEM (Scanning Electron Microscope). Microstructure of the coatings was examined by light microscopy. Analysis of the deposited layers was performed in accordance with standard Pratt & Whitney. Evaluation of mechanical properties of the layers was done by examining $HV_{0.3}$ microhardness and tensile strength of the tensile testing. Studies have shown that plasma currents significantly affects the mechanical properties and microstructure of coatings which are of crucial importance for the protection for components subjected to wear.

Key word: titanium dioxide; aluminum oxide; bond strength; microhardness; interface; atmospheric plasma spray-APS.

Introduction

Plasma spray coatings are commonly used for the abrasion resistance of materials in many applications. Tribological performance coatings are dependent on a number of properties such as the composition of the powder, the nature of phases and their distribution, microstructure, porosity and residual stresses. All of these properties determine the hardness of coatings, which are conventionally used as the primary parameter for wear resistance. Mechanical properties of the coatings depend not only on the nature and distribution of the phases present in the coating, but also a number of other characteristics such as microstructure, porosity, nature of residual stresses and their value within the coating and adhesion of the coating. Coatings based on Al_2O_3 ceramics are a good choice for protecting components subjected to excessive wear. Al_2O_3 ceramic is hard and its main deficit is the brittleness (Ananthapadmanabhan, et al., 2003), (Erickson, et al., 2001). Adding titanium dioxide TiO_2 leads to a balanced properties, maintain sufficient strength, but also a significant increase in toughness coating. TiO_2 has a lower melting point than Al_2O_3 and plays an important role in promoting the coatings with higher density (Pantelis, et al., 2000), (Gessasma, et al., 2006, pp.13-19), (Normand, et al., 2000, 278-287). Al_2O_3 40wt.% TiO_2 coatings is one of the coatings which are largely deposited atmospheric plasma spray process APS. It is known for its resistance to abrasion, corrosion and erosion. Control of the plasma spray process is considered to be very important in improving the characteristics of the deposit and the melting of the powder particles, mechanical properties of coatings and coating properties in service. In addition, hardness and tribological properties of coatings are strongly influenced by the deposition process parameters which directly affect the distribution of porosity and phase content of a range of particle size and morphology. Porosity in the coating decreases with increasing plasma current. With the reduction of plasma currents and increasing the flow of powder is present in the microstructure inhomogeneity such as porosity, cracks unmelted particles, oxide inclusions, which reduce the microhardness. (Vendl, et al., 2006, pp.151-157), (Mrdak, 2010, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201), (Mrdak, 2013, pp.68-88). Al_2O_3 40wt.% TiO_2 coatings deposited atmospheric plasma spray - APS has a porosity of 4 to 6% (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149). The powder Al_2O_3 40wt.% TiO_2 consisting of oxide Al_2O_3 and 40wt.% TiO_2 , which is used for the production of coatings for applications that require a moderate hardness and fracture strength greater than the strength of coatings produced from pure Al_2O_3 , Al_2O_3 3wt.% TiO_2 ili Al_2O_3 -13wt.% TiO_2 (Material Product Data Sheet, 2012, Amdry 6257 Aluminum Oxide 40% Titanium Dioxide Powders, DSMTS-0083.1, Sulzer Metco). The coatings Al_2O_3 40wt.% TiO_2 in the deposited state contains two modi-

fications α – Al_2O_3 and γ – Al_2O_3 , TiO_2 and two spinel modification of rutile α – Al_2TiO_5 and β – Al_2TiO_5 (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149), (Alford, 2002), (Vlasova, et al., 2012, pp.17-24). Coatings are recommended for surfaces bearing supports, for grain abrasion, friction and erosion of particles at operating temperatures up to 540°C . Polished coatings have low wettability, which makes them resistant to weak acid environment and suitable for use in the chemical processing industry (Material Product Data Sheet, 2012, Amdry 6257 Aluminum Oxide 40% Titanium Dioxide Powders, DSMTS-0083.1, Sulzer Metco). The coatings Al_2O_3 – TiO_2 provide excellent protection to the exposed parts of dry sliding friction, abrasive wear and erosion at high temperatures. The coefficients of thermal expansion of the coating Al_2O_3 – TiO_2 were 8 and $7.5 (10^{-6}\text{K}^{-1})$ (Normand, et al., 2000, pp.278-287). Such coatings are also desirable for electrical insulation, for protection axle sleeve and axle pumps. These coatings are generally resistant to abrasion, corrosion and thermal shock. With the addition of TiO_2 coating increases wear resistance, tensile strength but the hardness decreases (Ramachandran, et al., 1998, pp.144-152). Titanium dioxide TiO_2 has higher wear resistance with lower friction coefficient and lower hardness of Al_2O_3 coatings. Wear behavior of atmospheric plasma sprayed (APS) coatings Al_2O_3 – TiO_2 tested using the method described in (Pin-On-Disk). The coefficient of friction decreases with an increasing sliding speed and applied load. In the initial period increases the coefficient of friction due to increased contact area and low surface roughness. Then the value of the coefficient of friction stabilizes (Krishnakumar, Swarnamani, 1996), (Guessasma, et al., 2006, pp.13-19). The coefficient of friction is determined by the method POD is 0.5-0.6 (Bounazef, et al., 2004, pp.2451-2455).

The main objective of this study was to atmospheric plasma spraying – APS deposited coatings Al_2O_3 –40wt.% TiO_2 with the best structural and mechanical properties to be applied to aerospace parts bearing supports. Made three groups of samples with the current values of 700, 800 and 900 A. Analyzed and studied the microstructure and mechanical properties of layers of coatings. The best performance showed layers deposited with 900A.

Materials and experimental details

For the experiment using powder company Sulzer Metco in terms Amdry 6257 (Material Product Data Sheet, 2012, Amdry 6257 Aluminum Oxide 40% Titanium Dioxide Powders, DSMTS-0083.1, Sulzer Metco). The powder Al_2O_3 –40wt.% TiO_2 was developed for the preparation of coatings used for surface protection of bearings and supports the protection of the base metal friction, abrasion and erosion of particles up to 540°C . The powder was produced by melting and casting into blocks that are sub-

sequently milled to a specific granularity. This technological process to produce powders with angular grains. For the experiment using the powder granules had a range of 15–45 μm . Figure 1 shows the (SEM) scanning electron micrographs of the morphology of the powder particles.

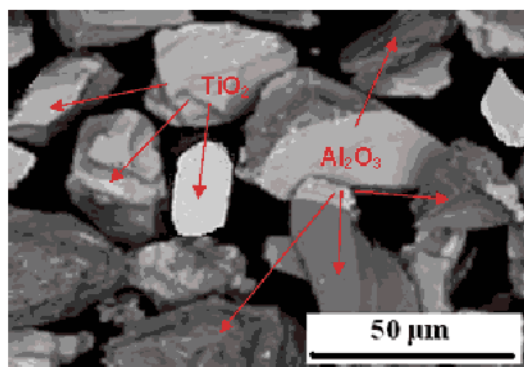


Figure 1 – (SEM) Scanning electron micrography of Al_2O_3 –40wt.% TiO_2 powder particles
Slika 1 – (SEM) Skening elektronska mikrografija čestica praha Al_2O_3 –40%tež.% TiO_2

On micrography seen angular grains of powder consisting of oxide Al_2O_3 dark gray color and titanium dioxide TiO_2 light gray. The bases on which the deposited coatings for testing microhardness and evaluation of microstructure in deposited state are made of steel Č.4171 (X15Cr13 EN10027) in thermally unprocessed dimensions of 70x20x1, 5mm (Turbojet Engine-Standard Practices Manual, 2002). Basis for testing the bond strength are also made of steel Č.4171 (X15Cr13EN10027) in thermally unprocessed dimension $\varnothing 25 \times 50$ mm (Turbojet Engine-Standard Practices Manual, 2002).

Microhardness testing, bond strength and microstructure

Examination of microhardness coating was performed by $\text{HV}_{0.3}$. The measurement was carried out in the direction along the fins in the middle and at the ends of the sample. Done five readings in three places, and the paper shows the minimum and maximum values.

Tests for tensile bond strength were performed at room temperature on hydraulic equipment with a speed of 10 mm / min, for all tests. For each group of samples were done three test specimen, and the paper presents the mean. Mechanical and microstructural characterization of the coating were carried out according to standard Pratt & Whitney (Turbojet Engine-Standard Practices Manual, 2002).

Microstructural analysis of the coating and image analysis of the share of micro pores in the coating was performed under a light microscope. The morphology of the powder particles was performed on the SEM (Scanning Electron Microscope).

Powder deposition

Plasma spray deposition parameters are shown in Table 1 Powder deposition Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 was performed with an atmospheric plasma spray system company Plasmadyne and plasma gun SG – 100, with appropriate control robotic spray conditions. Plasma Gun SG -100 consisted of a cathode type K 1083-129, anode type A 2084-145 and gas injectors type GI 2083 – 113. As the arc gas was used Ar in combination with He and power supply up to 40 kW. Before the process of depositing steel substrate are roughed corundum particles with sizes of 0.7–1.5 mm. The coatings were formed with thicknesses from 0,25 to 0,30 mm.

Table 1 – Plasma spray parameters
Tabela 1 – Plazma sprej parametri

Deposition parameters	Values		
Plasma current, I (A)	700	800	900
Plasma Voltage, U (V)	36	38	40
Primary plasma gas flow rate, Ar (l/min)	47	47	47
Secondary plasma gas flow rate, He (l/min)	15	15	15
Carrier gas flow rate, Ar (l/min)	6	6	6
Powder feed rate (g/min)	50	50	50
Stand-off distance (mm)	110	110	110

Results and discussion

The microhardness and microhardness ranges Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coatings were directly related to the values of the plasma current. The layers Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coatings were measured different values of microhardness with ones of various ranges. At least values of microhardness of min. 676 to max.734HV_{0.3} with the largest range of 58HV_{0.3} microhardness were observed in the deposited layers with values plasma current of 700A. The highest values of microhardness min. 950 to max 994HV_{0.3} to

the lowest range of $44\text{HV}_{0.3}$ microhardness were observed in the deposited layers with values plasma current of 900A. Ranges microhardness of the coatings are the result of the different distribution of pores in the deposited layers. These values were confirmed by image analysis to determine the total content of pores in the layers. Figure 2 shown min. and max. values of the microhardness ceramic coatings Al_2O_3 –40% wt. TiO_2 .

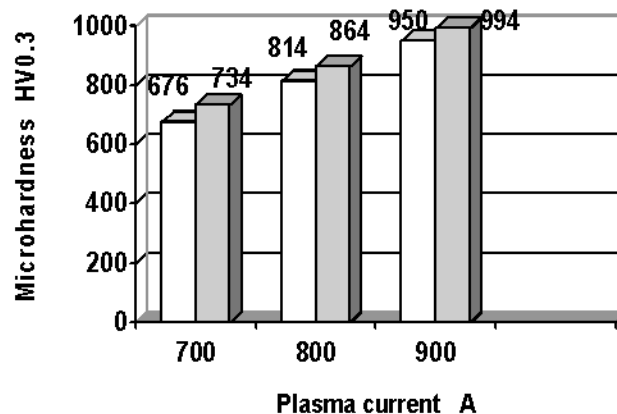


Figure 2 – Microhardness of Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 layers
Slika 2 – Mikrotvrdoća Al_2O_3 40%tež. TiO_2 slojeva

Figure 3 shows the values of tensile strength of Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coating. For the deposited coatings were measured for different values of tensile bond strength.

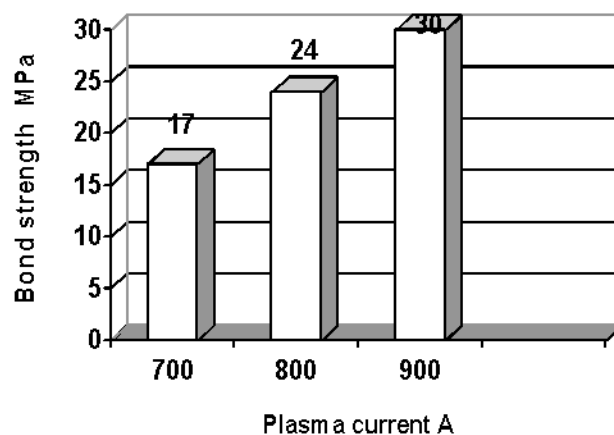


Figure 3 – Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 bond strength layers
Slika 3 – Čvrstoća spoja Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 slojeva

Bond strength coatings is significantly influenced by the value of the plasma current. The lowest tensile bond strength of 17MPa, coatings deposited with the lowest values of plasma current of 700A resulted in a lower degree of melting of the powder partides in comparison to the other two coatings deposited. The highest value of the bond strength of the 30MPa had layers that were deposited with the highest values of plasma current of 900A. The high value of the plasma current is allowed to deposit coatings with good inter – lamellar bonding and good bonding lamella for coating a substrate. A higher value of plasma current is increased the adhesion of coatings, mechanical properties and improvement of microstructure, as confirmed by metallographic examination. When the proportion of pores is directly related to the values of the bond strength of coatings, to the measured values of the coating deposited with the highest values of plasma current indicates that their rate of the lowest compared to the other two films. These values were confirmed by analyzing the microstructure of coatings under a light microscope. For all the deposited layer coating failure mechanism was adhesion at the interface between the substrate and the coating.

Microstructure and properties of coatings Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 were under the influence of the plasma current. A higher value of plasma current is because of an improved microstructure. Plasma currents of 900A provide better and more even melting of the powder particles Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 . Evenly melted powder particles are more properly formed in the collision with the substrate and the deposited layers with a lower content of pores with higher cohesive strength and tensile strength. The minimum value of plasma current of 700A is influenced on less and limited bonding layers deposited in lamellae which increased the proportion of pores and reduce the coating hardness and adhesion of coating. On Figures 4 and 5 shows the microstructure of the deposited layers Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coatings with values of plasma current 900A, which had the best microstructure and mechanical properties.

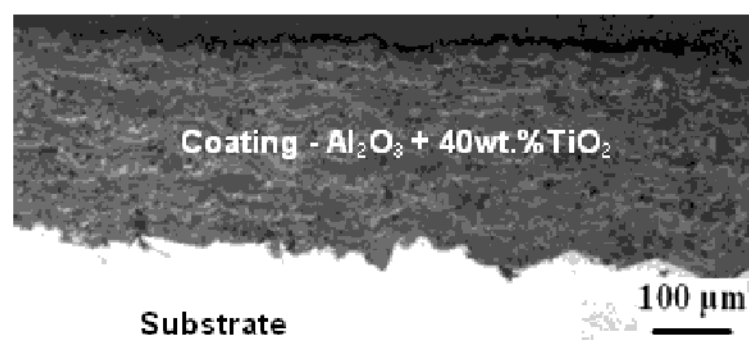


Figure 4 – Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coating microstructure deposited with 900A
Slika 4 – Mikrostruktura Al_2O_3 40%tež. TiO_2 slojeva prevlake deponovane sa 900A

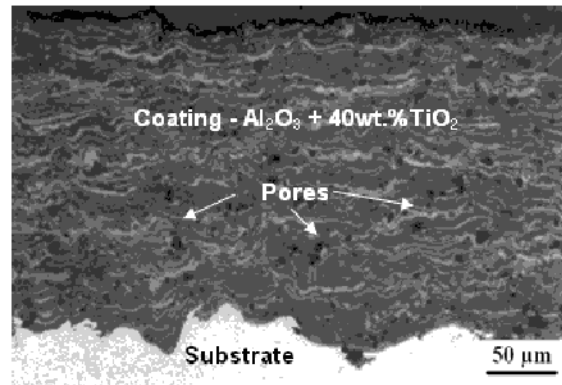


Figure 5 – Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coating microstructure deposited with 900A
Slika 5 – Mikrostruktura Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 slojeva prevlake deponovane sa 900A

Figure 4 shows the macro coatings Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 which confirms that uniform coating layers deposited on the substrate. Qualitative analysis of the deposited layers Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 (Figure 4 and Figure 5) showed that the interface between the substrate and the coating bond good with negligible content of particles Al_2O_3 of roughening. Along the interface between the substrate and the coating are not present micro cracks and macro cracks. Bond coating with the substrate is uniform, without removing layers of coating with substrate. The structure of the coating is lamellar, with visible dark lamellae oxide Al_2O_3 and light lamellae titanium dioxide TiO_2 . Coating layers were deposited with a small rate of pores and microcracks in the absence of macro cracks in coating. The layers are not present unmelted powder particles.

Figure 6 shows the microstructure of the coatings deposited with the lowest values of plasma current 700A, which had the highest rate of pores and the worst mechanical properties.

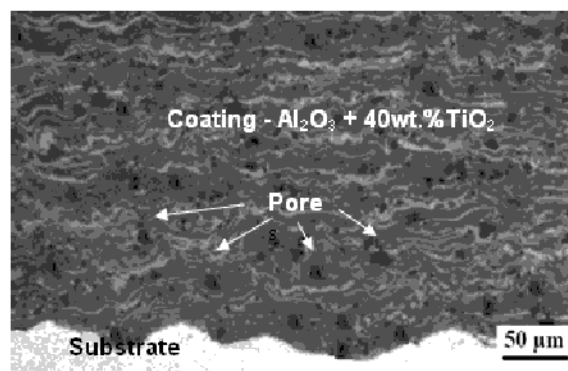


Figure 6 – Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coating microstructure deposited with 900A
Slika 6 – Mikrostruktura Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 slojeva prevlake deponovane sa 900A

Through the layers of coating are observed spherical pores black. In layers deposited with 900A micro pores are present up to 5 μm . In layers deposited with 700A micro pores are present above 5 μm . Image analysis showed that the overall rate of pores in the coating layers deposited with the 900A was 2%, In layers deposited with the 700A rate micro pores was 3.5%, and the deposited layers 800A rate of pores was 6%.

In Figure 7 shows the phases in the microstructure of coating with the best mechanical and structural characteristics.

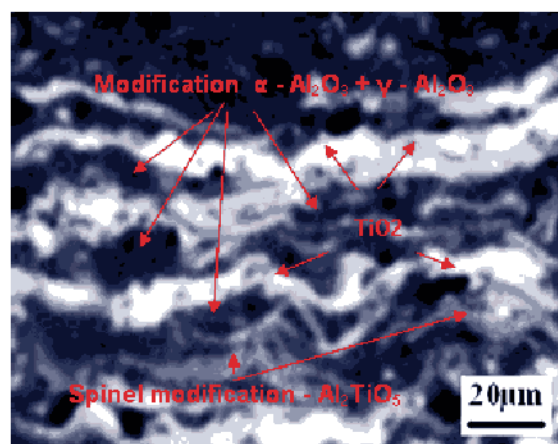


Figure 7 – Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 coating microstructure deposited with 900A
Slika 7 – Mikrostruktura Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 slojeva prevlake deponovane sa 900A

On photomicrograph shows that the molten powder particles regularly deposited. In microstructure not present unmelted particles and micro cracks. The structure of the inner layers of the coating is lamellar. The base coating is made of dark phase of basic oxide Al_2O_3 . The structure of the present two modifications of $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ and $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149), (Alford, 2002), (Vlasova, et al., 2012, pp.17-24). Through ceramic layers of Al_2O_3 phase is clearly observed light lamellae not degradable titanium dioxide TiO_2 and two spinel modifications rutile of $\alpha - \text{Al}_2\text{TiO}_5$ and $\beta - \text{Al}_2\text{TiO}_5$ which are formed by reaction of oxides Al_2O_3 and TiO_2 powder melting process in the plasma (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149), (Alford, 2002), (Vlasova, et al., 2012, pp.17-24).

Conclusion

Plasma spraying coatings Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 were deposited with three different values of the plasma current 700, 800 and 900A. Examined and analyzed the microstructure and mechanical properties of the deposited coatings on the basis of which came to the following conclusions.

Mechanical properties and microstructure of coatings Al_2O_3 –40% wt. TiO_2 were under the influence of the plasma current. A higher value of plasma current is increased mechanical properties and improved adhesion of the coating microstructure.

With increasing plasma current were deposited the coatings by a higher values of microhardness and a smaller range of microhardness through layers coatings.

Coatings deposited with a plasma current of 900 A also had the highest values of microhardness and tensile bond strength. For all of coating failure was at the interface between the coating and the substrate. The microhardness and tensile bond strength were correlated with their microstructures.

The structure of the deposited coatings Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 is lamellar. The coatings are present spherical pores black color. The smallest rate of micro pores than 2% had layers deposited with a plasma current of 900A, and the largest rate of micro pores of 6% had layers deposited with a plasma current of 700A. The structure of ceramic coatings Al_2O_3 –40%wt. TiO_2 present two modifications of aluminum oxide α - Al_2O_3 and γ - Al_2O_3 , titanium dioxide TiO_2 and two spinel modifications of rutile α - Al_2TiO_5 and β - Al_2TiO_5 which are formed by reaction of oxides Al_2O_3 and TiO_2 powder melting process in the plasma.

Literature

Ananthapadmanabhan, P.V., Thiyagarajan, T.K., Satpute, R.U., Venkatramani, N., Ramachandran, K., 2003, Surf Coat Technol., 168:231-40.

Alford, N.McN., EPSRC Final Report, No. GR/K70649, August 2002, available on <http://www.eeie.ac.uk/research/pem/reports%5cFINAL%20REPORT%20GRM33686.html>.

Bounazef, M., Guessasma, S., Ghislain, M., Christian, C., 2004, Effect of APS process parameters on wear behaviour of alumina – titania coatings, Materials Letters, Vol. 58, pp. 2451-2455.

Erickson, L.C., Hawthorne, H.M., Troczynski, T., 2001, Wear; 250:569-75.

Guessasma, S., Bounazef, M., Nardin, P., Sahraoui, T., 2006b, Note on POD test parameters to study wear behaviour of alumina – titania coatings, ceramics International, Vol.52, pp.13-19.

Krishnakumar, V. and Swarnamani, S., 1996, Tribological Behaviour of plasma sprayed Al_2O_3 and TiO_2 ceramic hard coating under dry contact., IIT Madras, department of applied Mechanics.

Material Product Data Sheet, 2012, Amdry 6257 Aluminum Oxide 40% Titanium Dioxide Powders, DSMTS-0083.1, Sulzer Metco.

Mrdak, M., 2010, Uticaj brzine depozicije praha na mehaničke karakteristike i strukturu APS – NiCr/Al prevlake, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol.58, No.4, pp. 5-16.

Mrdak, M., 2012, Plasma deposited layers of nickel-chrome-aluminum-yttrium coatings resistant to oxidation and hot corrosion, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol. 60, No.2, pp.182-201.

Mrdak, M., 2013, Characterization of sealing nickel-graphite coating in the system with bonding of nickel-aluminum coating, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol. 61, No.1, pp.68-88.

Normand, B., Fervel, V., Coddet, C., Nikitine, V., 2000a, Tribological properties of plasma sprayed alumina-titania coatings:role and control of the microstructure, surface and coatings technology, Vol.123, pp.278-287.

Pantelis, D.I., Psyllaki, P., Alexopoulos, N., 2000, *Wear*, 237:197-204.

Ramachandran, K., Selvarajan V., Ananthapadmanabhan P. V., Sreekumar K.P., 1998, Microstructure, adhesion, microhardness, abrasive wear resistance of the plasma sprayed alumina and alumina – titania coatings, *Thin solid film*, Vol. 315, pp.144-152.

Tomaszeka, R., Pawlowskia, L., Zdanowskib, J., Grimblotc, J., Laureynsd, J., 2004, Microstructural transformations of TiO_2 , $Al_2O_3+13TiO_2$ and $Al_2O_3+40TiO_2$ at plasma spraying and laser engraving, *Surface & Coatings Technology* 185, pp. 137-149.

Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA.

Venci, A., Mrdak, M., Cvijović, I., 2006, Microstructures and tribological properties of ferrous coatings deposited by APS (Atmospheric Plasma Spraying) on Al-alloy substrate, *FME Transactions*, Vol.34, No.3, pp.151-157.

Vlasova, M., Kakazey, M., Sosa, B., Coeto, Marquez Aguilar, P. A., Rosales, I., Escobar Martinez, A., Stetsenko, V., Bykov, A., Ragulya, A., 2012, Laser Synthesis of Al_2TiO_5 and $Y_3Al_5O_{12}$ Ceramics from Powder Mixtures $Al_2O_3-TiO_2$ and $Al_2O_3-Y_2O_3$, *Science of Sintering*, Vol.44, pp.17-24.

KARAKTERIZACIJA ALUMINIJUM OKSID 40% TITANIJUM DIOKSID PREVLAKE OTPORNE NA HABANJE

OBLAST: hemijske tehnologije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Plazma sprej prevlake predstavljaju važnu ulogu u projektovanju površinskih osobina inženjerskih komponenti u cilju povećanja njihove izdržljivosti i performansi pod različitim uslovima rada. Prevlake se najčešće koriste za otpornost na habanje. U radu su prikazane mikrostrukture i mehaničke karakteristike prevlake $Al_2O_3-40\text{tež.}\%TiO_2$ otporne na suvo trenje klizanjem, abraziju zrna i eroziju čestica na radne temperature do $540^\circ C$. U cilju dobijanja optimalnih karakteristika prevlake izvršena je optimizacija parametara depozicije. Prah $Al_2O_3-40\text{tež.}\%TiO_2$ je deponovan atmosferskim plazma sprej (APS) postup-

kom sa plazma strujom od 700, 800 i 900A. Procene kvaliteta prevlake Al_2O_3 -40tež. % TiO_2 su urađene na osnovu njihovih mikrotvrdoća, zatezne čvrstoće spoja i mikrostrukture. Najbolje performanse su pokazali slojevi deponovani sa 900A. Morfologija čestica praha Al_2O_3 -40tež.% TiO_2 je ispitana na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu). Mikrostruktura prevlaka ispitana je na svetlosnom mikroskopu. Analiza deponovanih slojevima je urađena u skladu sa standardom Pratt & Whitney. Procena mehaničkih karakteristika slojeva je urađena ispitivanjem mikrotvrdoće metodom $\text{HV}_{0.3}$ i zatezne čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Istraživanja su pokazala da plazma struja bitno utiče na mehaničke osobine i mikrostrukture prevlaka koje su od presudnog uticaja za zaštitu delova izloženih habanju.

Uvod

Plazma sprej prevlake se najčešće koriste za otpornost na habanje materijala u mnogim aplikacijama. Tribološke performanse prevlaka zavise od niza osobina kao što su: sastav praha, priroda faza i njihova raspodela, mikrostruktura, poroznost i zaostali naponi. Sve ove osobine određuju tvrdoću prevlaka, koja se konvencionalno koristi kao primarni parametar za procenu otpornost na habanje. Mehaničke osobine prevlake ne zavise samo od prirode i distribucije faza prisutnih u prevlaci, već i od niza drugih osobina kao što su mikrostruktura, poroznost, priroda zaostalih napona i njihova vrednost u okviru prevlake i adhezija prevlake. Prevlake na bazi Al_2O_3 keramike su dobar izbor za zaštitu delova izloženih prekomernom habanju. Al_2O_3 keramika je tvrda i njen glavni nedostatak je krtoš (Ananthapadmanabhan, et al., 2003), (Erickson, et al., 2001). Dodavanjem titanijum dioksida TiO_2 dovodi do uravnoteženih svojstava, održavanja dovoljne tvrdoće, ali i značajnog povećanja žilavosti prevlake. TiO_2 ima manju tačku topljenja od Al_2O_3 i ima važnu ulogu u promovisanju prevlake sa većom gustinom (Partelis, et al., 2000), (Gesasma, et al., 2006), (Normand, et al., 2000). Prevlaka Al_2O_3 -40%tež. TiO_2 deponovana atmosferskim plazma sprejom - APS ima poroznost od 4 do 6% (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149). Prah Al_2O_3 -40%tež. TiO_2 se sastoji od oksida Al_2O_3 i 40tež.% TiO_2 koji se koristi za proizvodnju prevlaka za aplikacije koje zahtevaju umerenu tvrdoću i veću čvrstoću preloma u odnosu na čvrstoću prevlaka proizvedenih od čistog Al_2O_3 , Al_2O_3 -3tež.% TiO_2 ili Al_2O_3 -13tež.% TiO_2 (Material Product Data Sheet, 2012, Amdry 6257 Aluminum Oxide 40% Titanium Dioxide Powders, DSMTS-0083.1, Sulzer Metco). Prevlaka Al_2O_3 -40tež.% TiO_2 u deponovanom stanju sadrži dve modifikacije α - Al_2O_3 i γ - Al_2O_3 , TiO_2 i dve spinel modifikacije rutila α - Al_2TiO_5 i β - Al_2TiO_5 (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149), (Alford, 2002), (Vlasova, et al., 2012, pp.17-24). Prevlake se preporučuju za površine oslonaca ležajeva, za otpornost na abraziju zrna, trenje i eroziju čestica na radne temperature do 540°C. Ove prevlake su generalno otporne na habanje, koroziju i toplotne udare. Sa dodatkom TiO_2 povećava se otpornost prevlake na habanje, zatezna čvrdoća spoja ali se tvrdoća smanjuje (Ramachandran, et al., 1998,

pp. 144-152). Titanijum dioksid TiO_2 ima veću otpornost na habanje, sa manjim koeficijentom trenja i manjom tvrdoćom od Al_2O_3 prevlake. Ponašanje na habanje atmosferski plazma naprskane (APS) prevlake $\text{Al}_2\text{O}_3\text{TiO}_2$ se ispituje pomoću metode POD (Pin-On-Disk). Koeficijent trenja se smanjuje sa povećanjem brzine klizanja i primenjenog opterećenja. U periodu uhodavanja se povećava koeficijent trenja zbog povećanja kontaktne površine i niže hrapavosti. Zatim se vrednost koeficijenta trenja stabilizuje (Krishnakumar, Swarnamani, 1996), (Guessasma, et al., 2006, pp. 13 -19). Koeficijent trenja određen metodom POD je 0.5-0.6 (Bounazef, et al., 2004, pp. 2451-2455).

Glavni cilj rada je bio da se atmosferskim plazma sprej postupkom – APS deponuju prevlake Al_2O_3 –40tež.% TiO_2 sa najboljim strukturnim i mehaničkim karakteristikama koje će se primeniti na vazduhoplovnim delovima oslonaca ležajeva. Urađene su tri grupe uzoraka sa vrednostima struje od 700, 800 i 900 A. Analizirane su i proučavane mikrostrukture i mehaničke karakteristika slojeva prevlaka. Najbolje performanse su pokazali slojevi deponovani sa 900A.

Materijali i eksperimentalni detalji

Za eksperiment se koristio prah firme Sulzer Metco (Sulzer Metco) sa oznakom Amdry 6257 (Material Product Data Sheet, 2012, Amdry 6257 Aluminum Oxide 40% Titanium Dioxide Powders, DSMTS-0083.1, Sulzer Metco). Prah Al_2O_3 –40tež.% TiO_2 je razvijen za izradu prevlaka koje se koriste za zaštitu površine oslonaca ležajeva i zaštitu metalnih osnova od trenja, abrazije i erozije čestica do 540°C. Prah je proizveden metodom topljenja i livenja u blokove koji se naknadno melju na određenu granulaciju. Ovim tehnološkim postupkom se proizvode prahovi sa uglavim zrnima. Za eksperiment se koristio prah koji je imao raspon granulata od 15 - 45 μm .

Osnove na koje su deponovane prevlake za ispitivanje mikrotvrdoće i za procenu mikrostrukture u deponovanom stanju su napravljene od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) u termički neobrađenom stanju dimenzija 70x20x1,5mm (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA). Osnove za ispitivanje čvrstoće spoja su takođe napravljene od čelika Č.4171 (X15Cr13 EN10027) u termički neobrađenom stanju dimenzija Ø25x50 mm (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA).

Ispitivanje mikrotvrdoće, čvrstoće spoja i mikrostrukture

Ispitivanje mikrotvrdoće slojeva prevlaka urađeno je metodom $\text{HV}_{0.3}$. Merenje je obavljeno u pravcu duž lamela, u sredini i na krajevima uzorka. Urađeno je pet očitavanja na tri mesta, a u radu su prikazane minimalne i maksimalne vrednosti.

Ispitivanja zatezne čvrstoće spoja su rađena na sobnoj temperaturi na hidrauličnoj opremi sa brzinom od 10 mm/min, za sva ispitiva-

nja. Za svaki grupu uzoraka urađene su tri epruvete, a u radu su prikazane srednje vrednosti. Mehaničke i mikrostrukturne karakterizacije dobijenih prevlaka su izvršene prema standardu Pratt & Whitney (Turbine Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA).

Mikrostrukturna analiza prevlaka i image analiza udela mikro pora u prevlakama urađena je na svetlosnom mikroskopu. Morfologija čestica praha urađena je na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu).

Depozicija praha

Depozicija praha Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 je urađena sa atmosferski plazma sprej sistemom firme Plasmadyne i plazma pištoljem SG - 100, sa odgovarajućim robotizovanim kontrolnim sprej uslovima. Plazma pištolj SG -100 se sastojao od katode tipa K 1083 - 129, anode tipa A 2084 - 145 i gas injektora tipa GI 2083 - 113. Kao lučni gas koristio se Ar u kombinaciji sa He i snaga napajanja do 40 KW. Pre procesa deponovanja površine čeličnih substrata su hrapavljene sa česticama kornada veličine od 0,7 - 1,5 mm. Prevlake su formirane sa debljinama od 0.25-0.30 mm.

Rezultati i diskusija

Vrednosti mikrotvrdoće i rasponi mikrotvrdoće Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 prevlaka su bile u direktnoj vezi sa vrednostima plazma struje. U slojevima Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 prevlaka izmerene su različite vrednosti mikrotvrdoće sa različitim rasponima mikrotvrdoća. Najmanje vrednosti mikrotvrdoće od min.676 do max.734HV_{0.3} sa najvećim rasponom mikrotvrdoće od 58HV_{0.3} su izmerene u deponovanim slojevima sa vrednostima plazma struje od 700A. Najveće vrednosti mikrotvrdoće od min.950 do max.994HV_{0.3} sa najmanjim rasponom mikrotvrdoće od 44HV_{0.3} su izmerene u deponovanim slojevima sa vrednostima plazma struje od 900A. Rasponi mikrotvrdoće u prevlakama su posledica različite raspodele mikro pora u deponovanim slojevima. Ove vrednosti su potvrđene image analizom pri određivanju ukupnog sadržaja mikro pora u slojevima.

Za deponovane prevlaka su izmerene različite vrednosti zatezne čvrstoće spoja. Čvrstoća spoja prevlaka je bitno zavisila od vrednosti plazma struje. Najniža vrednost zatezne čvrstoće spoja od 17MPa, prevlake deponovane sa najmanjom vrednosti plazma struje od 700A uticala je na manji stepen stapanja čestica praha u odnosu na druge dve deponovane prevlake. Najveću vrednost čvrstoće spoja od 30MPa su imali slojevi, koji su deponovani sa najvećom vrednosti plazma struje od 900A. Visoka vrednost plazma struje je omogućila da se deponuju prevlake sa dobrim među – lamelarnim vezivanjem i dobrim vezivanjem lamela prevlake za substrat. Veća vrednost plazma struje je uticala na povećanje adhezije prevlaka, mehaničkih svojstava i poboljšanje mikrostrukture, što su potvrdila metalografska ispitivanja. Pošto je udeo mikro

pora u direktnoj vezi sa vrednostima čvrstoće spoja prevlaka, to izmerene vrednosti za prevlaku deponovanu sa najvećom vrednosti plazma struje ukazuje da je njihov udeo najmanji u odnosu na druge dve prevlake. Ove vrednosti su potvrđene analizom mikrostrukture prevlaka na svetlosnom mikroskopu. Za sve deponovane slojeve prevlaka mehanizam razaranja je bio athezioni na interfejsu između substrata i prevlaka.

Mikrostrukture i svojstva Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 prevlaka su bila pod uticajem plazma struje. Veća vrednost plazma struje je poboljšala mikrostrukturu. Plazma struja od 900A omogućila je bolje i ravnomernije topljenje čestica praha Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 . Ravnomerno istopljenje čestice praha su se pravilnije oblikovale u sudaru sa substratom i deponovale slojeve sa manjim sadržajem mikro pora, koji imaju veću kohezionu čvrstoću i zateznu čvrstoću spoja. Najmanja vrednost plazma struje od 700A je uticala na slabije i ograničeno vezivanje lamela u deponovanim slojevima što je povećalo udeo mikro pora i smanjilo vrednosti tvrdoće prevlake i čvrstoću spoja prevlake. Kvalitativna analiza deponovanih Al_2O_3 40%tež. TiO_2 slojeva je pokazala da je na interfejsu između substrata i prevlake spoj dobar sa zanemarljivim sadržajem čestica Al_2O_3 od hrapavljenja. Duž interfejsa između substrata i prevlake nisu prisutne mikropukotine i makropukotine. Veza prevlake sa substratom je uniformna bez odvajanja slojeva prevlake sa substrata. Struktura prevlake je lamelarna, sa vidljivim tamnim lamelama oksida Al_2O_3 i svetlim lamelama titanijum dioksida TiO_2 . Slojevi prevlake su deponovani sa malim udelom mikro pora bez prisustva mikropukotina i makropukotina u uprevlaci. U slojevima nisu prisutne neistopljene čestice praha. Kroz slojeve prevlaka se uočavaju sferne pore crne boje. U slojevima deponovanim sa 900A su prisutne mikro pore veličine do 5 μm . U slojevima deponovanim sa 700A su prisutne mikro pore iznad 5 μm . Image analiza je pokazala da je ukupan udeo mikro pora u slojevima prevlake deponovane sa 900A bio 2%, u slojevima deponovanim sa 700A udeo mikro pora je bio 3.5%, a u slojevima deponovanim sa 700A udeo mikro pora je bio 6%. U mikrostruktri nisu prisutne neistopljene čestice i mikropukotine. Struktura unutrašnjih slojeva prevlake je lamelarna. Osnova prevlake se sastoji od tamne faze osnovnog oksida Al_2O_3 . U strukturi su prisutne dve modifikacije α - Al_2O_3 i γ - Al_2O_3 (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149), (Alford, 2002), (Vlasova, et al., 2012, pp.17-24). Kroz keramičke slojeve Al_2O_3 faza jasno se uočavaju svetle lamele nerazgrađenog titanijum dioksida TiO_2 i dve spinel modifikacije rutila α - Al_2TiO_5 i β - Al_2TiO_5 koje se formiraju reakcijom oksida Al_2O_3 i TiO_2 u procesu topljenja praha u plazmi (Tomaszeka, et al., 2004, pp.137-149), (Alford, 2002), (Vlasova, et al., 2012, pp.17-24).

Zaključak

Plazma sprej postupkom su deponovane prevlake Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 sa tri različite vrednosti plazma struje 700, 800 i 900A. Ispitane su i analizirane mehaničke osobine i mikrostrukture deponovanih prevlaka na osnovu čega se došlo do sledećih zaključaka.

Mehanička svojstava i mikrostrukture Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 prevlaka su bila pod uticajem plazma struje. Veća vrednost plazma struje je povećala mehanička svojstava poboljšala mikrostrukturu i adheziju prevlake.

Sa povećanjem plazma struje deponovale su se prevlake sa većim vrednostima mikrotvrdoće i manjim rasponom mikrotvrdoće kroz slojeve prevlaka. Prevlake deponovane sa plazma strujom od 900 A je imala najveće vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja. Za sve prevlake lom je bio na interfejsu između prevlake i substrata. Vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja su bile u korelaciji sa njihovim mikrostrukturama.

Struktura deponovanih prevlake Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 je lamelarna. U prevlakama su prisutne sferne pore crne boje. Najmanji udeo mikro pora od 2% su imali slojevi deponovani sa plazma strujom od 900A, a najveći udeo mikro pora od 6% su imali slojevi deponovani sa plazma strujom od 700A. U strukturi keramičkih prevlaka Al_2O_3 –40%tež. TiO_2 su prisutne dve modifikacije aluminijum oksida α - Al_2O_3 i γ - Al_2O_3 , titanijum dioksid TiO_2 i dve spinel modifikacije rutila α - Al_2TiO_5 i β - l_2TiO_5 koje su nastale reakcijom oksida Al_2O_3 i TiO_2 u procesu topljenja praha u plazmi.

Prevlake deponovane sa plazma strujom 900A su pokazale najbolje mikrostrukture i mehanička svojstva. Primenom prevlake na vazduhoplovnim delovima oslonaca ležajeva poboljšala se efikasnost delova i pouzdanost rada.

Ključne reči: titanijum dioksid; aluminijum oksid; čvrstoća spoja; mikrotvrdoća; interfejs; atmosferski plazma-sprej (APS).

Datum prijema članka/Paper received on: 10. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 19. 11. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 21. 11. 2013.

MODEL ANGAŽOVANJA JEDINICA ABH SLUŽBE PRILIKOM HEMIJSKOG UDESA

Dejan R. Inđić, Zoran T. Luković, Spasoje D. Mučibabić
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija, Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-3876

OBLAST: hemijske tehnologije, zaštita životne sredine
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Hemijski udesi kao neminovnost savremenog tehnološkog razvoja društva prouzrokuju brojne posledice na ljude, materijalna dobra i životnu sredinu. Jedinice atomsko-biološko-hemijske (ABH) službe, kao specijalizovane jedinice Vojske Srbije, izvršavaju određene zadatke u okviru otklanjanja posledica hemijskih udesa. U radu je prikazano modeliranje efekata hemijskog udesa i jedan od načina za izbor jedinice ABH službe za angažovanje na otklanjanju posledica hemijskog udesa, korišćenjem metode analitičkih hijerarhijskih procesa.

Ključne reči: nesreće; metoda AHP; ABH služba; otklanjanje posledica; hemijski udesi.

Uvod

Kako su hemijske materije po samoj prirodi agresivne u odnosu na čoveka i životnu sredinu, svako njihovo nekontrolisano oslobađanje može dovesti do nesagledivih posledica i katastrofa. Rizik od takvih udesa¹ postoji kod rada i korišćenja objekata hemijske industrije, postrojenja, uređaja, instalacija i opreme, transportnih sredstava i drugo, gde se proizvode, prerađuju, prevoze, skladište ili na neki drugi način koriste hemijske materije.

Hemijski udesi (H udesi) imaju različite nivoe težine u zavisnosti od posledica, a uzroci su najčešće ljudska, tehnička ili druga greška, kvar, havarija, saobraćajni udes, a u ratu i kriznim situacijama sabotaze, diverzije i bombardovanja. Otklanjanje posledica hemijskih udesa jedan je od brojnih složenih zadataka i problema sa kojima se suočava svako savremeno društvo.

¹ Udes – nesreće većih razmera, slučajno ili namerno izazvane, u kojima je poginulo, povređeno ili ugroženo od 1000 do 10000 ljudi.

Vojska Srbije (VS) kao element države takođe ovom problemu pridaje veliki značaj. Ona u svom sastavu ima jedinice ABH službe, koje su osposobljene i opremljene za planiranje, otkrivanje i otklanjanje posledica nastalih hemijskim udesima u miru.

Bataljon ABH službe, kao najveća jedinica ove službe u VS, realizovao bi veći deo zadataka otklanjanja posledica pri hemijskom udesu. Na osnovu zahteva nadležnih organa Republike Srbije i odobrenja resornog ministarstva (Ministarstvo odbrane), deo snaga ABH službe bi se uputio u zonu hemijskog udesa, radi pružanja pomoći državnim organima koji rukovode svim snagama na ugroženom području. Međutim, zbog specifičnosti situacije (visoke koncentracije opasnih materija, kratko vreme za reagovanje, specifični požari) veoma je teško odrediti adekvatne snage ABH službe koje bi trebalo angažovati u konkretnim uslovima.

U ovom radu ćemo prikazati jednu od mogućih varijanti za izbor jedinice ABH službe koja bi se angažovala na otklanjanju posledica hemijskih udesa, korišćenjem metode analitičkih hijerarhijskih procesa.

Modelovanje efekata hemijskih udesa

Prema definisanim scenarijima izračunavaju se i modeluju efekti udesa, a na osnovu dobijenih podataka određuju se širine povredljivih zona i predviđaju snage za otklanjanje nastalih posledica.

Za modelovanje se koriste parametri proizašli iz prirode opasnih materija koje učestvuju u udesu ili nastaju u udesu i njihove fizičko-hemijske, toksikološke, eko-toksikološke i druge osobine.

U cilju dobijanja validnih podataka u obzir se moraju uzeti i trenutni meteorološki parametri i konkretne topografske karakteristike lokacije, na kojoj je došlo do udesa (u ovom modelu to je grad Šabac).

Udesni scenario

Na lokaciji hemijske fabrike je došlo do oštećenja ispusnog ventila automobil-cisterne napunjene sa rastvorom fluorovodonične kiseline (HF), koncentracije 40% (m/m), što je dovelo do izlivanja kompletnog sadržaja iz rezervoara po okolnom prostoru.

Opasnost od HF: letalna doza u kojoj 50% testiranih životinja umre pri izloženosti HF je oko 1,3 grama po kilogramu telesne težine, na pacovima kada se konzumira oralno. Fluorovodonična kiselina se obično klasifikuje kao „vrlo otrovna“ i „korozivna“, a predstavlja ekstremnu opasnost za svakog ko radi sa njom.

Po formiranju lokve tečne faze dolazi do isparavanja HF i nastajanja sekundarnog kontaminacionog oblaka u prizemnom sloju atmosfere.

Ulazni podaci:

- masa rastvora HF: 20 t
- podloga: ravna, betonska
- okolina: gradski uslovi (urbana sredina)
- temperatura vazduha (okoline): 20°C
- relativna vlažnost vazduha: 70% (vreme: mirno, bez padavina)
- vetar: severozapadni, brzina 2 m/s (na visini 2 m od nivoa tla)
- stanje u prizemnom sloju atmosfere: stabilno, klasa stabilnosti – F.

Rezultati proračuna (procena zagađenja – opasnosti)

Razliveni rastvor fluorovodonične kiseline na ravnoj podlozi formira lokvu tečnosti, za koju se može uzeti da iznosi ~ 10 mm (U.S. Environmental Protection Agency, 1987).

Iz formirane lokve isparava HF, pri čemu brzina isparavanja zavisi od koncentracije HF u rastvoru. Uporedo sa isparavanjem HF isparava i voda iz rasutog rastvora u skladu sa svojim naponom pare i koncentracijom vlage u okolnom vazduhu. Isparavanje HF je vremenski zavisna veličina, tako što sa vremenom usled isparavanja HF dolazi do opadanja parcijalnog pritiska para HF (usled smanjenja koncentracije HF u rastvoru), s jedne strane i povećavanja koncentracije HF u rastvoru u lokvi (usled povećanja koncentracije HF u rastvoru, na račun otparavanja vode iz rastvora). Ova dva procesa se odvijaju uporedno, u dinamičkim uslovima:

– početna masa HF u izlivenoj tečnosti: $m_0^{HF} = 0,4 \cdot 20000 = 8000 \text{ kg}$

– početna masa vode u izlivenoj tečnosti:

$$m_0^{H_2O} = 0,6 \cdot 20000 = 12000 \text{ kg}$$

Početne brzine isparavanja (emisije) HF ili H_2O , iz nastale lokve izračunavane su prema jednačini (Mackay, Matsugu, 1973, pp.434-439), (Francois, et al., 2008):

$$\dot{m} = 4,87 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot \frac{M \cdot \Delta p^*}{R \cdot T} \cdot v^{0,78} \cdot X^{-0,11} \cdot \left(\frac{v}{D_{AB}} \right)^{-0,67}, \text{ g/s} \quad (1)$$

gde su:

- A – površina isparavanja, ($A = 1724 \text{ m}^2$)
- M – molekulska masa, ($M = 20 \text{ g/mol}$ za HF i 18 g/mol za H_2O)
- Δp^* – napon pare HF za navedene uslove ($\Delta p^* = 3300 \text{ Pa}$ za HF i $700,8 \text{ Pa}$ za H_2O)
- R – univerzalna gasna konstanta, ($R = 8,314 \text{ J/mol K}$)
- T – temperatura okoline, ($T = 293 \text{ K}$)
- v – brzina vetra, ($v = 2 \text{ m/s}$)
- X – karakteristična dimenzija lokve, (prečnik lokve, $X = 46,85 \text{ m}$)

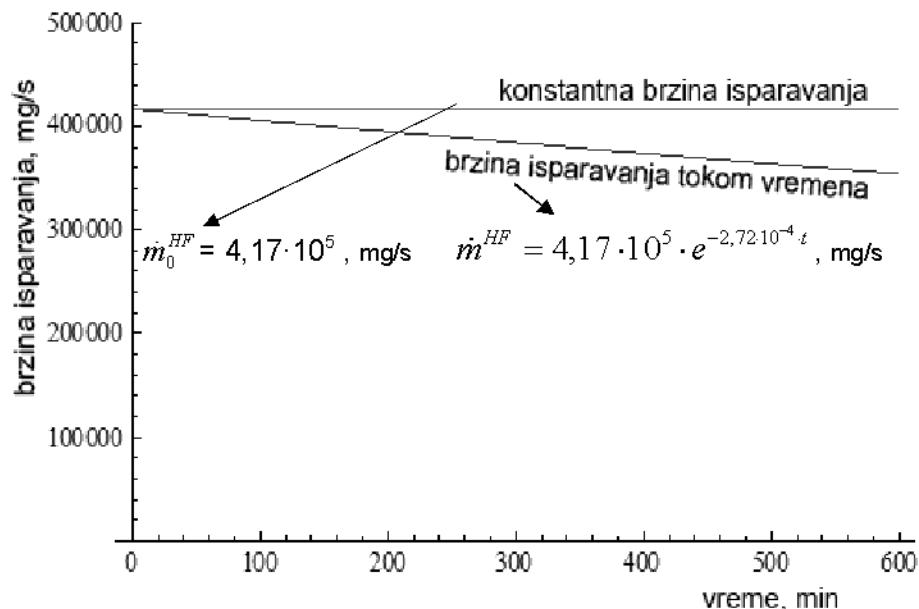
- ν – kinematička viskoznost vazduha, ($\nu = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)
- D_{AB} – koeficijent difuzije HF u vazduhu, ($D_{AB} = 2,18 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ za HF i $2,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ za H_2O)².

Početne brzine isparavanja (emisije) HF i vode iz nastale lokve, pri navedenim uslovima, i prema navedenoj korelacionoj jednačini se opisuju na sledeći način: $\dot{m}_0^{\text{HF}} = 4,17 \cdot 10^5 \text{ mg/s}$ i $\dot{m}_0^{\text{H}_2\text{O}} = 8,02 \cdot 10^4 \text{ mg/s}$.

Promena brzine isparavanja (emisije) HF iz nastale lokve tokom vremena, pri navedenim uslovima, može se opisati sledećom jednačinom:

$$\dot{m}^{\text{HF}} = 4,17 \cdot 10^5 \cdot e^{-2,72 \cdot 10^{-4} \cdot t}, \text{ mg/s} \quad (\text{vreme} - t \text{ u min.}) \quad (2)$$

Promena brzine isparavanja HF iz rasutog rastvora tokom vremena, u skladu s datom jednačinom prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Promena brzine isparavanja HF iz rasutog rastvora tokom vremena, nastalog izlivanjem iz auto-cisterne s 20 t rastvora HF, koncentracije 40% (m/m)

Figure 1 – Speed of evaporation from the bulk solution of HF over time, resulting from outpouring of car tanks with 20 t HF solution, a concentration of 40% (m/m)

Prema prikazanim zavisnostima sa slike 1 uočava se da se za kraća vremena može uzeti da je brzina isparavanja konstantna, jer sporo opada s vremenom, te je za određivanje disperzije nastalih para korišćena

² Za vodu izračunato na osnovu razlike između maksimalne (100%) i trenutne (aktuelne) vrednosti vlažnosti vazduha (70%).

takva vrednost (disperzije posmatrane nakon 10 min i 30 min od početka izlivanja). Značajniji efekat trajanja procesa isparavanja na samu brzinu isparavanja uočava se posle dužeg perioda praćenja procesa (slika 1).

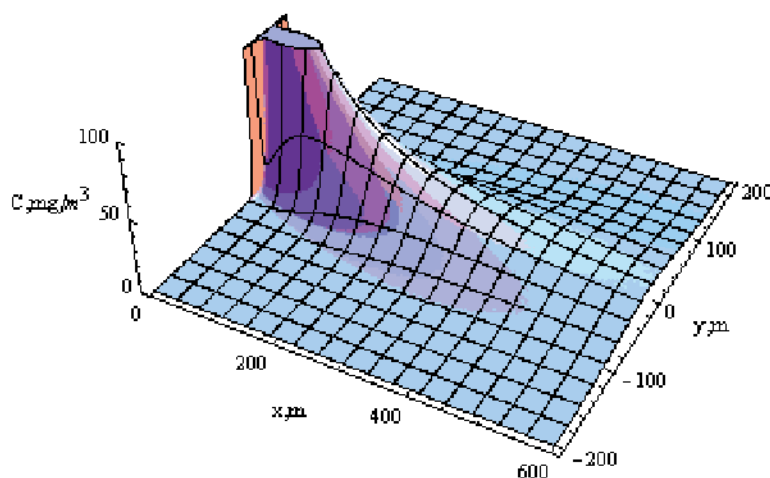
Nastale pare HF su lakše od okolnog vazduha (gustina HF je $0,857 \text{ kg/m}^3$, a vazduha $1,20 \text{ kg/m}^3$ na 20°C), te je za prostiranje para HF u prizemnom sloju atmosfere korišćen model „lakog“ gasa (Briggs, 2003, pp. 327-366). Podizanje struje „lakog“ gasa (z_p) izračunavano je prema jednačini:

$$z_p = \left(19 \frac{\rho_{HF} \cdot w_0^2 \cdot D_0^2}{4 \cdot \rho_a \cdot v^2} \cdot x - 4,2 \frac{g \cdot (\rho_{HF} - \rho_a) \cdot w_0 \cdot D_0^2}{4 \cdot \rho_a \cdot v^3} \cdot x^2 \right)^{1/3} \quad (3)$$

gde su:

- w_0 – brzina strujanja para HF, m/s
- D_0 – početna širina oblaka, m.

Na slici 2 prikazana je promena koncentracije para HF u prostoru pre vremena usrednjavanja koncentracija (za period usrednjavanja koncentracija uzeto je vreme od 10 min od početka izlivanja), za karakterističnu udesnu situaciju. Nastali sekundarni kontaminacioni oblak je oblika perjanice, jer nastaje iz kontinualnog izvora zagađenja.



Slika 2 – Promena koncentracije para HF u prostoru nakon izlivanja iz auto-cisterne sa 20t, 40%-ne HF, u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s

Figure 2 – Changing of the concentration of HF in the vapor space after a spill from the tanker car with 20t, 40%-no HF in stable atmospheric conditions and a wind speed of 2 m/s

U cilju određivanja zona prostiranja opasnih koncentracija HF, neophodno je definisati koje su to karakteristične koncentracije za slučaj nastalog hemijskog udesa. U skladu s propisanom metodologijom za ocenu

opasnosti od toksičnih materija (U.S. Environmental Protection Agency, 1987), (Službeni glasnik RS, 2010), za takve koncentracije su odabrane:

- LC_{50} – srednja smrtna koncentracija, pri ekspoziciji od 1 h ($LC_{50} \approx 1100 \text{ mg/m}^3$, za miševe)
- IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) – koncentracija opasna po zdravlje ljudi, pri ekspoziciji od 30 min ($IDLH = 25 \text{ mg/m}^3$)
- 0,1 IDLH – koncentracija opasna za osetljivu populaciju (deca, starije ili bolesne osobe).

Pošto je formiranje kontaminacionog oblaka dinamičkog karaktera, analiza opasnosti od trovanja parama HF, za koncentracije nivoa LC_{50} provedena je primenom *Probit-funkcije*, koja u slučaju HF glasi (World Bank, 1988):

$$Y = -26,4 + 3,35 \cdot \ln(C \cdot t) \quad (4)$$

gde su:

- Y – *Probit-funkcija*
- C – koncentracija para HF, ppm
- t – vreme izlaganja (ekspozicije), min.

Pretpostavljajući da je vreme izloženosti ljudstva parama HF iznosi 10 odnosno 30 min (dve varijante), moguće posledice po nezaštićeno ljudstvo u zoni prostiranja kontaminacionog oblaka para HF, na osnovu testiranja verovatnoće (preko *Probit-funkcije*) prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1 – Moguće posledice po nezaštićene ljude nakon izlivanja automobil-cisterne s rastvorom HF u zoni prostiranja smrtnih koncentracija, pri brzini vetra od 2 m/s i stabilnom stanju u atmosferi, za različito vreme izlaganja

Table 1 – Possible consequences for unprotected humans after a car-tanker spill with an HF solution in the zone of deadly concentrations, with a wind speed of 2 m / s and the steady state in the atmosphere for different times of exposure

Rastojanje od mesta ispusta HF (m)	Koncentracija para HF (mg/m^3 i ppm)	Vrednost <i>Probit-funkcije</i>		Verovatnoća smrtnog stradanja (%)	
		10 min	30 min	10 min	30 min
15	623,2/750,0	3,49	7,17	7	98,5
25	379,4/456,3	1,82	5,51	0	70
50	183,3/220,5	-0,61	3,07	0	3
75	116,1/140,0	-2,13	1,55	0	0

Prema podacima iz tabele 1 uočava se da zona smrtnog stradanja ljudi koji ne poseduju sredstva zaštite disajnih organa nije velika, a uzimajući u obzir gustinu naseljenosti u opštini Šabac (prosečno $150 \text{ stanovnik/km}^2$) i činjenicu da je u uslovima inverzije ta zona uža, realno mali broj ljudi bi smrtno stradao.

Zahvaćene površine za koncentracije para HF od 750 ppm bi iznosile oko 850 m², a koncentracije nivoa 456,3 ppm oko 15 ar.

Iz tabele 1 lako se zapaža i značaj vremena saniranja nastale ude-sne lokve sa izlivenim rastvorom HF, što ide u prilog potrebi što bržeg sprovođenja dekontaminacije.

Na slici 3 prikazane su zone prostiranja opasnih koncentracija HF na konkretnoj lokaciji, za početne uslove disperzije (do 10 min od početka izlivanja), a na sl. 4 zone posle vremena od 30 min (sa periodom usred-njavanja koncentracija od 10 min).

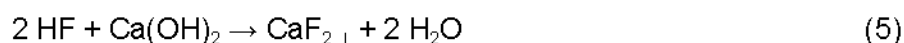


Slika 3 – Zone prostiranja opasnih koncentracija HF, za početne uslove disperzije (do 10 min od početka izlivanja) u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s
Figure 3 – Zone of the spreading of hazardous concentrations of HF, the initial conditions of dispersion (up to 10 min from the beginning of the spill) in stable atmospheric conditions and a wind speed of 2 m/s



Slika 4 – Zone prostiranja opasnih koncentracija HF, nakon 30 min od početka disperzije, u uslovima stabilne atmosfere i pri brzini vetra od 2 m/s
Figure 4 – Zone of the spreading of hazardous concentrations of HF, 30 min after the start of the dispersion in stable atmospheric conditions and a wind speed of 2 m/s

Prema podacima na sl. 3 i sl. 4 evidentno je da zone naročito opasnih koncentracija (IDLH) dosežu preko 300 m od mesta izlivanja (žarišta kontaminacija), te je u sklopu odgovora na nastalu udesnu situaciju *neophodno sprovesti mere sanacije udesa, odnosno izvođenje dekontaminacije nastale lokve od izlivenog rastvora HF*. Kao optimalni rastvor za dekontaminaciju preporučuje se primena rastvora kalcijum-hidroksida (u obliku kaše ili krečnog mleka), koji se mogu primenjivati iz automobil-cisterne za dekontaminaciju (ACD M-78) koju imaju jedinice VS, bez ikakvih modifikacija u primeni dekontaminacionog rastvora.³ Hemizam navedene reakcije se može opisati sledećom jednačinom:



Kao alternativna rešenja mogu da posluže sledeće varijante:

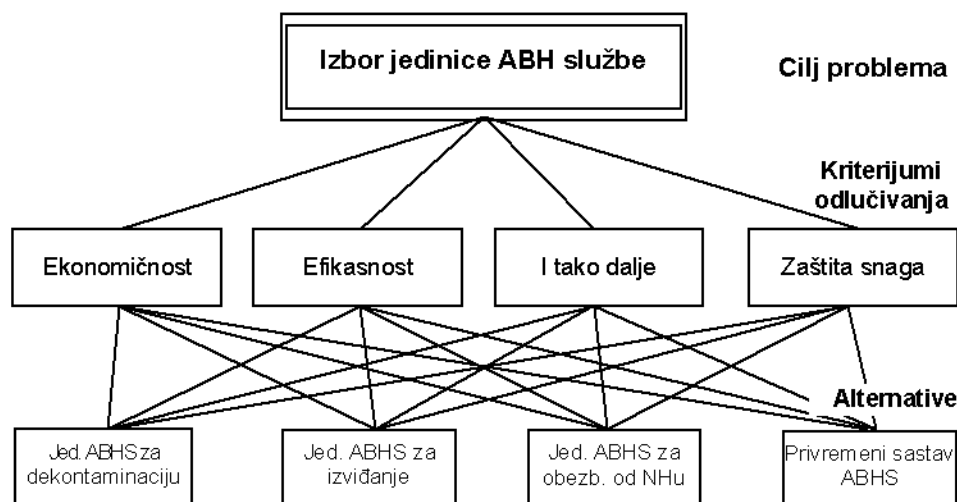
- primena rastvora NaOH u vodi (koncentracije do 2%),⁴ ili
- razblaživanje lokve velikim količinama vode (primena ACD-M78 ili automobil-cisterne za vodu ACV-M70), uz naknadno dodavanje negašenog kreča u cilju neutralizacije izlivenne kiseline.

Metoda AHP

Metodu analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP) je razvio Tomas Saaty početkom sedamdesetih godina prošlog veka i ona predstavlja jedan alat u analizi odlučivanja. (Saaty, 1980) Područje primene metode jeste višekriterijumsko odlučivanje, gde se na osnovu definisanog skupa kriterijuma i vrednosti atributa za svaku alternativu vrši izbor najprihvatljivijeg rešenja, odnosno prikazuje se potpuni raspored važnosti alternative u modelu. Zbog jednostavnije primene metode, na konkretnom primeru razvijen je softver iz klase sistema za podršku odlučivanju Expert Choice. Pri tome su evidentirane četiri faze primene metode: 1) struktuiranje problema, 2) prikupljanje podataka, 3) ocenjivanje relativnih težina, 4) određivanje rešenja problema. (Čupić, Suknović, 1995, pp.125-128). *Struktuiranje problema* se sastoji od dekomponovanja određenog složenog problema odlučivanja u seriju hijerarhija, gde svaki nivo predstavlja manji broj upravljanih atributa. Grafički prikaz struktuiranja problema (na konkretnom primeru) predstavljen je na slici 5.

³ Zbog velikog broja opasnih materija ovo predstavlja najveći problem za jedinice ABHSI.

⁴ Povoljnija je znatno primena Ca(OH)_2 jer nastali CaF_2 nije rastvorljiv u vodi i ne menja sastav okolnog zemljišta za razliku od eventualno nastalog NaF (posle primene NaOH).



Slika 5 – Struktuiranje problema
Figure 5 – Structuring the problem

Na slici se uočava da je cilj problema izbor adekvatne jedinice ABH službe koja bi se angažovala na rešavanju složenog problema otklanjanja posledica H udesa.

Prikupljanjem podataka i njihovim merenjem, započinje druga faza metode AHP. Donosilac odluke dodeljuje relativne ocene parovima atributa jednog hijerarhijskog nivoa, i to za sve nivoe celokupne hijerarhije. Pri tome se koristi najpoznatija skala devet tačaka (tabela 2).

Tabela 2 – Skala devet tačaka
Table 2 – Nine-point scale

Skala	Objašnjenje / Rangiranje
9	Apsolutno najznačajnije/najpoželjnije
8	Veoma snažno ka apsolutno najznačajnijem / najpoželjnijem
7	Veoma snažno ka veoma značajnom / poželjnom
6	Snažno ka veoma snažnom
5	Snažnije više značajno/poželjno
4	Slabije ka više snažnijem
3	Slabije više značajno/poželjnije
2	Podjednako ka slabijem više
1	Podjednako značajno/poželjno
0,50	Podjednako ka slabijem manjem
0,33	Slabije manje značajno/poželjno
0,25	Slabije ka snažno manjem
0,20	Snažno manje značajno/poželjno
0,17	Snažno ka veoma snažnom/manjem
0,14	Izuzetno snažno manje značajno/ poželjno
0,13	Veoma snažno ka apsolutno manjem
0,11	Apsolutno najmanje značajno/poželjno

Po završetku ove faze, dobija se odgovarajuća matrica upoređivanja po parovima koji odgovaraju svakom nivou hijerarhije.

Procena relativnih težina je treća faza primene metode AHP. Matrica poređenja će se po parovima „prevesti“ u probleme određivanja sopstvenih vrednosti, radi dobijanja normalizovanih i jedinstvenih sopstvenih vektora, kao i težina za sve attribute na svakom nivou hijerarhije $A_1, A_2, \dots, A_n$, sa vektorom težina $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$.

Određivanje rešenja problema je poslednja faza metode AHP, a ona podrazumeva nalaženje tzv. kompozitnog normalizovanog vektora. Pošto se odredi vektor redosleda aktivnosti kriterijuma u modelu, u narednom krugu potrebno je, u okviru svakog posmatranog kriterijuma, odrediti redosled važnosti alternative u modelu. Na kraju, sveukupna sinteza problema se izvodi na sledeći način: učešće svake alternative množi se sa težinom posmatranog kriterijuma, a potom se te vrednosti sabere za svaku alternativu posebno. Dobijeni podatak predstavlja težinu posmatrane alternative u modelu. Na isti način se određuje težina i za sve ostale alternative, posle čega se određuje konačan poredak alternativa u konkretnom modelu.

Metoda AHP pripada grupi popularnih metoda, zbog toga što ima mogućnosti identifikacije i analize konzistentnosti donosioca odluke u procesu upoređivanja elemenata iz hijerarhije. Budući da je upoređivanje alternative bazirano na subjektivnoj proceni od strane donosioca odluke, potrebno je njeno stalno praćenje, kako bi se obezbedila neophodna tačnost. (Samanta, Mukherjee, 2002, pp.136-141). Ova metoda omogućava praćenje konzistentnosti procena u svakom trenutku u postupku upoređenja parova alternative. Pomoću indeksa konzistencije:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (6)$$

proračunava se odnos konzistencije

$$CR = CI / RI, \quad (7)$$

gde je **RI** slučajni indeks (indeks konzistencije matrice veličine **n** slučajno generisanih poređenja parova), za šta se koristi tabela 3 (sa izračunatim vrednostima):

Tabela 3 – Vrednosti slučajnog indeksa *RI* (Saaty, 1980)
Table 3 – The values of the random index *RI* (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Koeficijent $\lambda_{\max}$ je maksimalna i glavna osobina vrednosti matrice upoređenja, dok je **n** veličina matrice upoređenja. Pri tome, važi da je $\lambda_{\max} \geq n$, a razlika $\lambda_{\max} - n$ koristi se u merenju konzistencije procene.

U slučaju nekonzistentnosti, ukoliko je $\lambda_{\max}$ bliža n , procena je konzistentnija. Ako za matricu upoređenja važi da je $CR \leq 0,10$, procene relativnih važnosti kriterijuma (prioriteti alternativa) računaju se kao prihvatljive. U suprotnom, treba pronaći razloge zbog koje je nekonzistentnost procene neprihvatljivo visoka.

Angažovanje jedinica ABH službe na otklanjanju posledica hemijskog udesa

Radi realizacije zadataka iz domena otklanjanja posledica hemijskih udesa mogu se angažovati različite jedinice ABH službe. Donosilac odluke ima zadatak da izabere adekvatnu jedinicu za angažovanje na realizaciji konkretnog problema, od nekoliko mogućih alternativa. (Mučibabić, 1998, pp.85-90).

U radu je razmatrano angažovanje istovrsnih jedinica ABH službe (za izviđanje, dekontaminaciju, obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa) i privremenog sastava ABH službe (više različitih specijalnosti ABH službe koje se angažuju dok se zadatak ne realizuje).

Problem izbora jedinice ABH službe za zadatke otklanjanja posledica hemijskog udesa definisan je na sledeći način:

1. Nivo: izbor jedinice ABH službe (odluka)
2. Nivo: atributi (kriterijumi odlučivanja) definisani su na sledeći način:
 - A_1 – ekonomičnost
 - A_2 – efikasnost
 - A_3 – obučenost i opremljenost
 - A_4 – pouzdanost
 - A_5 – efektivnost
 - A_6 – pravovremenost
 - A_7 – zaštita snaga.

Zatim se mogu dati važnosti atributa na drugom nivou kroz sledeću matricu, odnosno tabelu 4:

Tabela 4 – Upoređenje atributa na drugom nivou
Table 4 – Comparison of attributes at another level

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	Težina
A_1	1	7	7	5	6	7	7	0,483
A_2	0,14	1	1	3	2	1	1	0,093
A_3	0,14	1	1	3	7	1	1	0,127
A_4	0,20	0,33	0,33	1	0,50	0,33	0,33	0,041
A_5	0,17	0,50	0,14	2	1	0,50	0,50	0,053
A_6	0,14	1	1	3	2	1	1	0,093
A_7	0,14	1	1	3	2	1	1	0,093

gde je: $\lambda_{\max} = 7,123$; $CI = 0,0205$; $CR = 0,0152 \leq 0,10$

3. Nivo: atributi (*alternative*) definisani su na sledeći način:

B_1 – jedinica ABH službe za dekontaminaciju

B_2 – jedinica ABH službe za izviđanje

B_3 – jedinica ABH službe za obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa

B_4 – privremeni sastav ABH službe.

Odgovarajuće matrice upoređenja alternativa iz trećeg nivoa za svaki atribut i njihovi prioriteti prikazani su u tabelama 5 do 11, respektivno:

Tabela 5 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_1 (ekonomičnost)
Table 5 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_1 (economy)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	2	0,33	0,50	0,170
B_2	0,50	1	0,33	0,50	0,120
B_3	3	3	1	2	0,450
B_4	2	2	0,50	1	0,260

gde je: $\lambda_{\max} = 4,003$; $CI = 0,0001$; $CR = 0,0011 \leq 0,10$

Tabela 6 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_2 (efikasnost)
Table 6 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_2 (efficiency)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	0,50	2	3	0,293
B_2	2	1	2	3	0,412
B_3	0,50	0,50	1	2	0,187
B_4	0,33	0,33	0,50	1	0,312

gde je: $\lambda_{\max} = 4,004$; $CI = 0,0013$; $CR = 0,0015 \leq 0,10$

Tabela 7 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_3 (obučenost i opremljenost)
Table 7 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_3 (training and equipment)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	3	0,20	0,25	0,114
B_2	0,33	1	0,14	0,17	0,054
B_3	5	7	1	2	0,506
B_4	4	6	0,50	1	0,326

gde je: $\lambda_{\max} = 4,005$; $CI = 0,0017$; $CR = 0,0019 \leq 0,10$

Tabela 8 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_4 (pouzdanost)
Table 8 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_4 (reliability)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	0,50	0,20	0,25	0,075
B_2	2	1	0,17	0,20	0,099
B_3	5	6	1	2	0,503
B_4	4	5	0,50	1	0,323

gde je: $\lambda_{\max} = 4,008$; $CI = 0,0027$; $CR = 0,0030 \leq 0,10$

Tabela 9 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_5 (efektivnost)
Table 9 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_5 (effectiveness)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	2	0,33	3	0,268
B_2	0,50	1	0,33	0,50	0,115
B_3	3	3	1	2	0,441
B_4	0,33	2	0,50	1	0,176

gde je: $\lambda_{\max} = 4,002$; $CI = 0,0007$; $CR = 0,00079 \leq 0,10$

Tabela 10 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_6 (pravovremenost)
Table 10 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_6 (timeliness)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	4	0,25	0,33	0,157
B_2	0,25	1	0,20	0,25	0,068
B_3	4	5	1	2	0,478
B_4	3	4	0,50	1	0,296

gde je: $\lambda_{\max} = 4,009$; $CI = 0,003$; $CR = 0,0034 \leq 0,10$

Tabela 11 – Matrica relevantne važnosti alternative u odnosu na atribut A_7 (zaštita snaga)
Table 11 – Matrix of the relevant importance of alternatives to the attribute A_7 (Force Protection)

	B_1	B_2	B_3	B_4	Težine
B_1	1	3	0,20	3	0,235
B_2	0,33	1	0,17	0,20	0,060
B_3	5	6	1	2	0,500
B_4	0,33	5	0,50	1	0,203

gde je: $\lambda_{\max} = 4,005$; $CI = 0,0017$; $CR = 0,0019 \leq 0,10$

Na kraju postupka izvršena je sveukupna sinteza problema izbora jedinice ABH službe za otklanjanje posledica hemijskog udesa, tako što su sve alternative pomnožene sa težinama pojedinih kriterijuma odlučivanja, a dobijeni rezultati sumirani. Alternativa koja dobije najveću vrednost je, u stvari, najprihvatljivija ili optimalna alternativa.

Završni postupak primene AHP metode je prikazan u tabeli 12.

Tabela 12 – Sinteza tabela za izbor optimalne alternative
Table 12 – Synthesized table for a selection of the optimal alternative

Krit.	Težina kriterij.	B_1	Težina x B_1	B_2	Težina x B_2	B_3	Težina x B_3	B_4	Težina x B_4
A_1	0,483	0,170	0,082	0,120	0,058	0,450	0,217	0,260	0,126
A_2	0,093	0,293	0,027	0,412	0,038	0,187	0,017	0,312	0,029
A_3	0,127	0,114	0,014	0,054	0,007	0,506	0,064	0,326	0,041
A_4	0,041	0,075	0,003	0,099	0,004	0,503	0,021	0,323	0,013
A_5	0,053	0,268	0,014	0,115	0,006	0,441	0,023	0,176	0,009
A_6	0,093	0,157	0,015	0,068	0,006	0,478	0,044	0,296	0,028
A_7	0,093	0,235	0,022	0,060	0,006	0,500	0,047	0,203	0,019
			0,177		0,125		0,433		0,265

Na osnovu izvršenog izbora jedinice ABH službe (jedinica za obezbeđenje od N i H udesa⁵) koja će se angažovati na rešavanju problema pri udesu (izlivanje HF), aktivnosti se realizuju na sledeći način:

- vrši se odlazak na mesto udesa i ulazak jedinica ABH službe u sastav snaga koje deluju u okviru integrisanog odgovora na udes (snage lokalne samouprave, protivpožarne policije, sanitetske ekipe i dr.),
- realizuje se hemijsko izviđanje mesta udesa i
- realizuje se hemijska dekontaminacija mesta udesa (jedinice VS bi se angažovale na dekontaminaciji deonice puta značajne za prilaz mestu H udesa, a na dekontaminaciji žarišta H udesa – jedinice protivpožarne policije u skladu sa namenskim zadacima).

Nakon dolaska na mesto udesa snage za hemijsko izviđanje (najčešće izviđačka grupa od 3 lica) izvršile bi izviđanje mesta udesa upotrebom izviđačkog vozila i savremenih sredstava za detekciju kojima su opremljeni (automatski detektor hemijskih agenasa RAID M-100, detektor industrijskih gasova – DRAGER ACCURO i sl.). Imajući u vidu dužinu

⁵ Jedinica je sastavljena od snaga za hemijsko izviđanje, laboratorijske poslove (neće se koristiti za rešavanje modelovanog problema) i dekontaminaciju.

kontaminirane deonice (1,7 km), potrebno vreme za realizaciju zadatka (u skladu sa opitovanim normama na obuci i vežbama⁶) bilo bi oko 1 čas.

Hemijska dekontaminacija kontaminirane deonice puta izvršila bi se upotrebom ACD M-78 sa pripremljenim rastvorom za dekontaminaciju (kalcijum-hidroksid) i primenom metode jednovremene dekontaminacije.⁷ Potrebno vreme za izvršenje hemijske dekontaminacije je oko 1,5 čas.

Moramo napomenuti, da se jedinice ABH službe u svojim zadacima prevashodno bave problemima otklanjanja nastalih posledica (nakon upotrebe oružja za masovno uništavanje – OMU ili nastanka nuklearnih i hemijskih udesa), a mnogo manje se mogu koristiti za preventivno delovanje u ovoj i sličnim situacijama.

Veoma je važno navesti da jedinice ABH službe koje se budu angažovale na rešavanju navedenog problema H udesa, moraju biti podržane odgovarajućim informacionim sistemom, kako bi sve vreme rada imali adekvatno praćenje hemijske situacije u realnom vremenu (Indić, i dr., 2013, pp.210-225).

U Vojski Srbije se trenutno koriste dva programa: HeSPRO (Program za brzu procenu hemijske situacije) i NBC ANALYSIS⁸ (Luković, i dr., 2004), (NBC-ANALYSIS, 2010).

Zaključak

U radu je prikazano modelovanje H udesa i primena metode analitičkih hijerarhijskih procesa kod izbora jedinice ABH službe koja bi se mogla angažovati na otklanjanju posledica modelovanog udesa. Jedan od većih problema kod primene ove metode je definisanje atributa odlučivanja na drugom nivou (kriterijumi odlučivanja) i procena njihovih relativnih težina. Autori rada su definisali kriterijume i procenili vrednosti njihove relativne težine na osnovu sopstvenih iskustva u prethodnim naučnim istraživanjima.

Preciznim sprovođenjem postupka primene ove metode dobili smo sledeći poredak alternativa u modelu:

- B₃ (treća alternativa) – 0,433 (prva u rangu)
- B₄ (četvrta alternativa) – 0,265 (druga u rangu)
- B₁ (prva alternativa) – 0,177 (treća u rangu)
- B₂ (druga alternativa) – 0,125 (četvrta u rangu).

⁶ Mogućnosti jedinica ABH službe pri hemijskom izviđanju klasičnih toksičnih hemikalija su oko 0,5 km na čas (pri obavljanju aktivnosti ručnim hemijskim detektorom, na terenu koji nije unapred poznat i za vrlo dobro obučeno ljudstvo). Pošto se ovde radi o opasnim materijama koje se detektuju automatskim detektorima, na poznatom terenu i sa poznatom materijom, vremena su znatno kraća (3 do 4 puta).

⁷ Tri automobil-cisteme za dekontaminaciju (ACD M-78) se postavljaju duž kontaminirane deonice (u dodeljenoj zoni) i vrše dekontaminaciju istovremeno.

⁸ "NBC-ANALYSIS" je napredno softversko rešenje za upravljanje rizicima, čiji se rad zasniva na kombinaciji senzora (detektora) sa računarskom tehnologijom. Softver kao takav pruža informacije u realnom vremenu od značaja za brzo reagovanje u konkretnoj situaciji, odnosno za pravovremenu prognozu učinaka i preduzimanje mera zaštite ljudi i životne sredine.

Iz ovoga zaključujemo da treća alternativa ima najveću ukupnu vrednost (**0,433**), pa je zbog toga ona najpovoljnija odnosno optimalna. Ova opcija jedinice ABH službe (za obezbeđenje od nuklearnih i hemijskih udesa) je sasvim prihvatljiva imajući u vidu njenu opremljenost odgovarajućim sredstvima i obučenost njenih pripadnika za zadatke iz domena obezbeđenja od nuklearnih i hemijskih udesa.

Kao sledeća alternativa za angažovanje na otklanjanju posledica H udesa nameće se privremeni sastav ABH službe (četvrta alternativa) što je takođe realna opcija, kada se sagledaju snage koje ulaze u njegov sastav (snage za izviđanje, dekontaminaciju, laboratorijske poslove). Ova alternativa bi u nekim situacijama mogla biti i dominantna, ako bi se ove snage više vremena zajednički obučavale za izvršavanje zadataka otklanjanja posledica hemijskih udesa.

Naredna alternativa po važnosti je jedinica ABH službe za dekontaminaciju (prva alternativa) što je takođe moguća opcija, pošto se radi o hemijskom udesu nastalom usled izlivanja (isticanja) opasne hemijske materije koja se može dekontaminirati postojećim sredstvima i materijama za dekontaminaciju. Međutim, kada se uzme u obzir široki spektar opasnih materija i da se pojedine mogu dekontaminirati samo posebnim materijama za neutralizaciju upotreba ovih jedinica u najvećem broju slučajeva bi bila isključena bez dodatnog opremanja.

Najmanje verovatna opcija, u konkretnom primeru, je samostalna upotreba jedinice ABH službe za izviđanje (druga alternativa), jer su ove jedinice prvenstveno opremljene sredstvima za hemijsko izviđanje OMU i njihova upotreba u navedenom slučaju bi bila veoma ograničena (pre svega hemijsko izviđanje mesta udesa, uzimanje kontaminiranih uzoraka i eventualno praćenje kontaminiranog oblaka).

Izabrana jedinica za rešavanje modelovanog H udesa realizovala bi namenske zadatke (hemijsko izviđanje i dekontaminacija) u vremenu od oko 2,5 časa, ne računajući vreme dolaska do mesta udesa koje može trajati i više časova. U tome je verovatno i najveći problem njihovog angažovanja na celoj teritoriji R. Srbije (koju u skladu sa dodeljenim zadacima „pokrivaju“) uzimajući u obzir razmeštaj jedinica ABH službe (locirane su u gradu Kruševcu). Ako želimo da ove snage namenski angažujemo u nekom narednom periodu, mora se rešiti način njihovog brzog „prebacivanja“ iz rejonu mimodopske lokacije na mesto upotrebe (koje može biti i više stotina kilometara).

Primena navedenog modela može se koristiti i u drugim situacijama kada se radi o izlivanju opasnih hemijskim materija sličnih karakteristika kao fluorovodonična kiselina.

Literatura

Briggs, G.A., 2003, *Plume rise and buoyancy effects, Atmospheric science and power production*, DOE/TIC-27601, pp. 327-366.

Čupić, M., Suknović, M., 1995, *Višekriterijumsko odlučivanje – metode i primeri*, Univerzitet Braća Karić, Beograd, pp. 125-128.

Francois, B., et al., 2008, *Dispersion, in the atmosphere of a pollutant drifting at the sea surface: Galerne project*, pp.491-494, 12th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Cavtat, 6-9 October.

Indić, D. i dr., 2013., *Informacioni sistemi u upravljanju rizicima u životnoj sredini*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 61, no.1, pp.210-225.

Luković, Z. i dr., 2004, *Privremeno uputstvo za procenu i prognozu hemijske situacije pri udesima sa opasnim materijama i pri dejstvu po objektima u kojima se nalaze opasne materije*, Uprava ABHO, VIZ, Beograd.

Mackay, D., Matsugu, R.S., 1973, *Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water*, *Can.J.Chem.Eng.*, 51, pp.434-439.

Mučibabić S., 1998, *Application of an expanded min-max theorem and tables of decision making for solving multi-criterion conflict situations*, *Mathematica Moravica*, Beograd, vol. 2, pp. 85-90.

NBC-ANALYSIS, 2010, *User Reference Guide (Version 11.2)*, Bruhn New Tech.

Saaty, T.L., 1980., *Analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York,

Samanta, B., Mukherjee, S.K., 2002, *Selection of opencast mining equipment by a multi-criteria decision – making process*, *Institute of Mining and Metallurgy*, Australia, pp. 136-141.

Službeni glasnik RS, 2010, *Pravilnik o sadržini politike prevencije udesa i sadržini i metodologiji izrade izveštaja o bezbednosti i plana zaštite od udesa*, br. 41.

U.S. Environmental Protection Agency, 1987, *Technical Guidance for Hazard Analysis – Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances*, December.

World Bank, 1998, *Technical Report NO 55: Techniques for assessing industrial hazards*, Washington, DC, World Bank.

ENGAGEMENT MODEL FOR NBC SERVICE UNITS DURING CHEMICAL ACCIDENTS

FIELD: Chemical Technology, Environment Protection

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Abstract:

Chemical accidents are inevitable in modern technological development and they cause a number of effects on people, property and the environment. The nuclear-biological-chemical (NBC) services as well as specialized units of the Army of Serbia perform particular tasks in the elimination of the consequences of chemical accidents. This paper presents a modeling of the effects of chemical accidents and one possible method for the selection of NBC services engaged in the elimination of the consequences of chemical accidents, using the method of analytic hierarchy processes.

Introduction

Chemical accidents are inevitable in modern society, and the consequences that arise degrade the environment and hinder the work of man. In an integrated response to chemical accidents, different social structures are involved, among which the most significant are the units of the Army of Serbia.

The paper presents a method of selecting a specialized Army unit (NBC service unit) that could be successfully engaged in eliminating the consequences of chemical accidents.

Modeling the effects of chemical accidents

In order to obtain valid data on the magnitude of consequences of chemical accidents, modeling has to be carried out through the Accident scenario. This paper presents a chemical accident in an urban environment during the transportation of hydrofluoric acid. Chemical accidents in transport are most common and account for 40% of all accidents. When a chemical accident occurs, it is necessary to determine the concentration of hazardous substances modeled as follows: LC_{50} - median lethal concentration; IDLH - concentration dangerous to human health and 0.1 IDLH - concentration dangerous for sensitive population (children, elderly and sick).

After the completion of calculations, the ranges of dangerous fumes of hydrofluoric acid are determined to be from 310 to 360 m for IDLH and from 1700 to 1900 m for 0.1 IDLH. All this leads to the conclusion that in the response to chemical accidents, NBC service units must be included in order to participate in the elimination of consequences.

AHP method

In the field of multiple criteria decision-making, the most important is the method of analytic hierarchy process (AHP method). Proper defining of objectives, criteria and decision alternatives results in the initial parameters for solving a specific problem - a choice of NBC service units for the elimination of consequences of chemical accidents.

Four application stages (problem structuring, data collection, evaluation and determination of the relative weights of decision problems) lead to the selection of the best or optimal alternative.

Involvement of the NBC service in eliminating the effects of chemical accidents

For a concrete example, the decision maker should select an appropriate NBC service unit for eliminating the consequences of chemical accidents by properly defining the decision making criteria based on the alternatives offered. The AHP method and Expert Choice

software program help us arrive at an optimal solution, as shown in the synthesis table for the selection of the optimal alternative.

The selected units for solving modeled chemical contamination accidents would carry out dedicated tasks (chemical reconnaissance and decontamination) in a period of about 2.5 hours, not including the time of arrival to the site of the accident (which can last for several hours), which is a major problem in their use due to their uneven distribution in the Republic of Serbia.

Conclusion

The precise implementation of the AHP method, led to the following ranking in the model:

- unit for protection against nuclear and chemical accidents – ranked the first with 0.433 index points;
- NBC service temporary staff - second in rank with 0.265 index points;
- decontamination unit - ranks third with the 0.177 index points;
- reconnaissance unit - fourth in rank with 0.125 points.

It can be thus concluded that, for the purposes of engaging in the elimination of the consequences of chemical accidents, we should opt for the unit for protection against nuclear and chemical accidents as the optimal solution, followed by the backup version of the NBC service with temporary staff. Decontamination and reconnaissance units can be used independently during limited time and only for pre-defined tasks.

If NBC service units are to be engaged in the future in dealing with similar problems, the method of their rapid "switch" from their peacetime locations to accident sites has to be developed.

Keywords: accidents; AHP metod; NBC service; recovery; chemical accidents.

Datum prijema članka/Paper received on: 10. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 29. 05. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 31. 05. 2013.

MATRIX-BASED ALGORITHM FOR TEXT-DATA HIDING AND INFORMATION PROCESSING

Nenad O. Vesić, Dušan J. Simjanović
University of Niš, Faculty of Science and Mathematics

DOI: 10.5937/vojtehg62-3935

FIELD: Mathematics
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Abstract:

An application of differential geometry in hiding text-data is presented in this paper. This application is a generalization of similar previously presented methods. Matrix valued functions of more than one variable are used in text hiding. This method is covered by the corresponding programs in the MATHEMATICA software package and compared with the previously presented method.

Key words: *program; decryption; encryption; text; message; public key; private key; algorithm; matrix valued function.*

Introduction

The expanding usage of the Internet and the world wide web in general rises two important issues. How to provide secrecy and security of the data positioned in computer folders, as well as of those transmitted via the network?

Secrecy refers to the right of an individual and organization to decide whether, and in what amount, the information they have would be available to others.

Security of data refers to their protection from illegal detection, destruction or modification.

In order to efficiently estimate and choose appropriate protection means, network administrators have to systemize and define the requests and accesses referring to protection.

The approach based on the following three security aspects usage is most often used (Bohen, 1999):

- attack protection (refers to an action compromising safety of the information possessed by an institution, e.g. bank, police)

ACKNOWLEDGEMENT: This paper is financially supported by project 174012 of the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development.

- protective mechanism (detecting, protecting and recovering from an attack)
- protective service (utility making safety better during data processing and transmitting)

Attacks may be divided into passive and active ones. Passive attacks are basically interception and following transmission of information. The aim of the attacker is to reach information which is being transmitted, not changing its content while doing that. Active attacks refer to information flow change or creation of a false flow and may make large damage. Nowadays, two technics for providing network safety are most often used, and those are cryptography and authentication. Cryptography is a scientific discipline dealing with a study of methods for sending messages in a form readable by a receiver. The basic task of cryptography is to enable a sender and a receiver to communicate while insecure channels make them incomprehensible to the third person. Considering different kinds of danger, cryptography manages very well to protect messages from detection, modification, infiltration of messages and repetition of the old ones. The process of standard coding is presented in the following figure. An original comprehensible message (plaintext), marked as an original text (open text) by a sender, is transformed, using a previously agreed upon key, into an apparently incomprehensible message (ciphertext), marked as an encrypted text. Then the sender via some communication channels sends the ciphertext to the receiver who knows the key and is able to decode the ciphertext and determine the original text. Unlike him, the opponent (opposite side) even if he finds the code has no key and thus cannot read the original text.

The encrypting process depends on the algorithm and the key. The algorithm is the procedure by which the way of getting the original text from the encrypted one is determined. The key is the value which is independent from the original text. Depending on the key to be used, the algorithm is going to generate a certain result. By changing the key, the result generated by the algorithm is also changed. When the original text is encrypted, it could be further forwarded to the receiver. On the receiving side, the encrypted text is transformed into the original text by the algorithms for decrypting and the identical key used for encrypting. The algorithm for decrypting is inverse to the encrypting algorithm. The encrypting algorithm must be powerful enough so that it is practically impossible to decrypt the message only by the encrypted text and the knowledge of algorithms. This means that standard encrypting safety depends on the key secrecy.

The basic aims of cryptography are (Buchmann, 2001):

- data secrecy – data are accessible only to those who are allowed to access to them
- data integrity – attacks discovery and false message identification

- identity check – proof that the parts in communication are really those they claim they are

- nondenying – prevents from false denying about taking part

As already stated, cryptography is the science dealing with methods for keeping informational secrecy. Cryptographic systems can be classified based on three criteria:

- Based on the operations used in the encryption process

All encrypting algorithms are based on two general principles: the principle of substitution and the principle of transposition. In the algorithms based on the principle of substitution, each individual element of the original text (bit, letter, group of bits, group of letters) is substituted with another element. If the principle of transposition is used in the algorithm, the elements of the original text are reorganized or rearranged. The basic aim of both principles is prevention from losing all the information the message consists of.

- Based on the number of the keys used

If the sender and the receiver use the same key, the system is symmetrical (system with one key, system with a secret key). Otherwise, if the sender and the receiver use different keys, the system is asymmetrical (system with two keys, system with a public key). The encryption key can be public while the decryption key must be secret.

- Based on the manner in which the original text is processed

In the process of blocks encryption, only one block at a time is processed, generating thereby one exit block for each entered block. In the process of sequence encryption, elements are sequentially processed.

Cryptography has experienced the largest development when Diffie and Hellman published their work (Diffie, Hellman, 1976).

The cryptanalysis is a process of attempting to discover the original text or the key or the both of them. Which strategy will be used in the cryptanalysis depends on the encryption scheme and available information. A cryptanalytic attack can be performed on an encrypted text, a known original text, a selected general text, a selected encrypted text and a selected text. For each of these attacks, the cryptanalyst has a different perimeter of information needed to be performed. In case that the cryptanalyst knows only the encrypted text and the algorithm used for the encryption, one of the possible attacks is testing all possible keys. If there is a enormous number of keys, decrypting becomes impractical. To use this approach, the attacker must have a general idea about the type of the original text that is hidden.

Defense based only on knowing the encrypted text is the simplest because the attacker has the least information for the attack. When the cryptanalyst has a larger amount of information, he could be able to obtain one or more messages with the original text with their encrypted versions or could know (or guess) that certain parts of the original text will appear in the message. Using the method by which the original text is

transformed, the cryptanalyst will be able to reveal the key and decrypt the message easily. An attack on the selected original text is performed if the cryptanalyst is able to access to the original system and insert the desired message. If he is able to chose the message that will be encrypted, for detecting the structure of the key he can chose sentences that may be expected, and, by taking only them, find out the key. Attacks on selected encrypted texts and attacks on selected texts are rarely performed, but it is stil possible that the cryptanalyst will realise them.

The encrypting scheme is unconditionally secured if the encrypted text is generated by the scheme that does not contain enough information to uniquely determine the appropriate original text, regardless of the accessibility of the encrypted text. There is no unconditionally secure encrypting algorithm, so thereby it is necessary for the encrypting algorithm to fulfill at least one of the following criteria:

- Price of the code breaking exceeds the value of the encrypted message
- Time needed for the code breaking exceeds the time for which the informations is valid

In (Kuljanski, 2010, pp.65-77) we saw a clear and simple use of the RSA (named by the author's initials) algorithm. It is logic that the attack on the RSA could be conducted easily if the exponent d is known. With a succesful factorization of the number $n=pq$, $\phi(n)=(p-1)(q-1)$ can be obtained, and then, using $de \equiv 1 \pmod{\phi(n)}$ (using Euclidean algorithm), the exponent d as well.

The strength and safety of the RSA algorithm (Menezes, 2001, Menezes, et al., 1996) lies in the size of the number n (around 200 digits) for whose decryption a little fewer than **googol** years will be needed.

- The main idea of this paper is based on the matrix factorization which is an equally difficult (if not harder) task as the RSA algorithm number factorization.

Main result

In this part of the paper, an algorithm for the encryption and decryption of different types of texts, like the RSA, will be presented. It will be an improvement of the encryption of an algorithm presented in (Vesić, Simjanović, 2012). In that encryption, a code is hidden by multiplying numerical and matrix valued functions. For this code breaking, finding one numerical matrix that will be the key is sufficient.

Let a text T contains N characters. The aim of this algorithm is hiding the text T using the k -coordinate matrix surface $M=M(u_1, u_2, \dots, u_k)$ of a type $p \times q$ (Vesić, 2013). The matrix ordered a set of characters Ch , as a private key, and the coordinate matrix curves (1-coordinate matrix surfaces) $L=L(t)$ of the type $p \times p$, $R=R(t)$ of the type $q \times q$ and $\Gamma=\Gamma(t)$ of the type $p \times q$, are

known to both the sender and the receiver. The additional and necessary condition is the existence of the integer numbers r_l and r_r so that $\det L(r_l) \neq 0$ and $\det R(r_r) \neq 0$. The coordinate matrix curves L , R and Γ with the set Ch are known only to the sender and the receiver of the message.

Encryption of a text

The encryption of the text is represented in the following steps.

E₁: Transform the text T into an ordered set of pairs of positive integers (a_d, b_d) , where a_d is the row and b_d is the position in the a_d -th row in the Ch where the d -th character of the text is. In this way, the set of pairs S_1 is obtained.

E₂: Transform each pair (a_d, b_d) into the pair

$$(a_d, b_d) = (a_d + \text{RandomInteger}[\{1, 100\}] * \text{Dimensions}[Ch][[1]], \\ b_d + \text{RandomInteger}[\{1, 100\}] * \text{Dimensions}[Ch][[a_d]][[1]]).$$

In this way, the set of pairs S_2 is obtained.

E₃: For the given positive integers p and q and an integer k such that

$$(k-1)pq < N \leq kpq$$

set S_2 should be supplemented with the pairs $(1, 0)$ to the set S_3 with kpq elements.

E₄: Choose the k different variables $u_1, u_2, \dots, u_k$ placed in an ordered set U and an element of the set S_3 at the position $vpq+w$,

$$v=0, 1, \dots, |S_3|/(pq), w=0, 1, \dots, pq-1,$$

should be replaced by the polynomial $\Phi_{vpq+w}(u_v)$ of degree 2 with random real positive roots between 1 and 100 if $b_{vpq+w}=0$ and roots $a_{vpq+w} \pm i \cdot b_{vpq+w}$ if $b_{vpq+w} \neq 0$. In this way, the ordered set S_4 is obtained. The position (d) is the d -th position in the set U .

E₅: Using the polynomials of the set S_4 , a new set

$$S_5 = \{M^{(1)}(u_{(1)}), M^{(2)}(u_{(2)}), \dots, M^{(k)}(u_{(k)})\}$$

which consists of the coordinate matrix curves $M^v = M^v(u_v)$ of the type $p \times q$ is obtained. In the curve M^v at the place (r, c) is the polynomial $\Phi_{(v-1)pq+rc}(u_v)$.

E₆: Using the coordinate matrix curves from the ordered set S_5 , the k -coordinate matrix surface

$$M = M(u_{(1)}, u_{(2)}, \dots, u_{(k)}) = M^{(1)}(u_{(1)}) * M^{(2)}(u_{(2)}) * \dots * M^{(k)}(u_{(k)})$$

is formed

E₇: Determine the rational numbers r_l , r_r and r_c such that
 $\det L(r_l) \cdot \det R(r_r) \neq 0$.

Form the coordinate matrix surface

$$E = E(u_1, u_2, \dots, u_k) = L(r_l) \cdot (M(u_1, u_2, \dots, u_k) - \Gamma(r_c)) \cdot R(r_r)$$

which is the public key.

Decryption of a public key

Because of the necessary condition for the numerical matrices $L(r_l)$ and $R(r_r)$, based on a message message, the decryption of the public key

$$E = E(u_1, u_2, \dots, u_k)$$

is

$$\mathbf{D}_1: F = L^{-1}(r_l) \cdot E \cdot R^{-1}(r_r) + \Gamma(r_c)$$

D₂: Factorize the polynomials in the coordinate matrix surface F . The polynomial at the position (p, q) in the coordinate matrix surface F should be transformed into the set of pairs y_{pq} with appropriate variables as the first and the polynomial dependent on the first coordinate as the second coordinate.

D₃: Transform the second coordinates of the elements of the sets obtained in the previous step into empty strings if the roots of the polynomials are real, or into the character at the position (x, y) if the roots are the complex numbers $z_{1,2} = x \pm i \cdot y$, where

$$\begin{aligned} x &= \text{Mod1n}[x, \text{Dimensions}[Ch][[1]]], \\ y &= \text{Mod1n}[y, \text{Dimensions}[Ch][[x]][[1]]] \end{aligned}$$

and $\text{Mod1n}[a, b] = b$ if $b|a$ or $\text{Mod1n}[a, b] = r$, where r is a positive integer such that for an integer q , the equation $a = b \cdot q + r$, for $0 \leq r < b$ holds.

D₄: Depending on the variables position, based on the transformation showed in the step **D₃**, the text should be formed in the way that, going over the message, the strings which gather the characters hidden by the factors dependent on the variables u_k , $k=1, 2, \dots, N$, are got from the elements form the surface F at the positions

$$(1, 1), \dots, (1, q), (2, 1), \dots, (2, q), \dots, (p, 1), \dots, (p, q),$$

in that order.

D₅: The previous procedure should be finished creating a string s obtained by the concatenation of strings s_k ,

$$s = s_1 \langle \rangle s_2 \langle \rangle \dots \langle \rangle s_N.$$

We should prove that this decryption is executed. Indeed, regarding the way the public key is created, the coordinate matrix curve F from the step **D**₁ satisfies the equation

$$F = L^{-1}(r) \cdot E \cdot R^{-1}(r) + \Gamma(r_0) = \\ L^{-1}(r) \cdot (L(r) \cdot (M(u_1, u_2, \dots, u_N) - \Gamma(r_0)) \cdot R^{-1}(r) + \Gamma(r_0),$$

from which it clearly follows that $F = M(u_1, u_2, \dots, u_N)$. Further, considering the way the coordinate matrix surface $M(u_1, u_2, \dots, u_N)$ is created, we conclude that the decryption was correctly performed.

Since the coordinate matrix curves L , Γ and R are of finite dimensions, this algorithm as well as the algorithm presented in (Vesić, Simjanović, 2012) is linearly dependent on the number of characters in the message (Cormen, et al., 2009). More accurately, the complexity of this algorithm is $O(n)$ dependent on the number n of characters.

The previous algorithm is graphically presented in Figure 1.

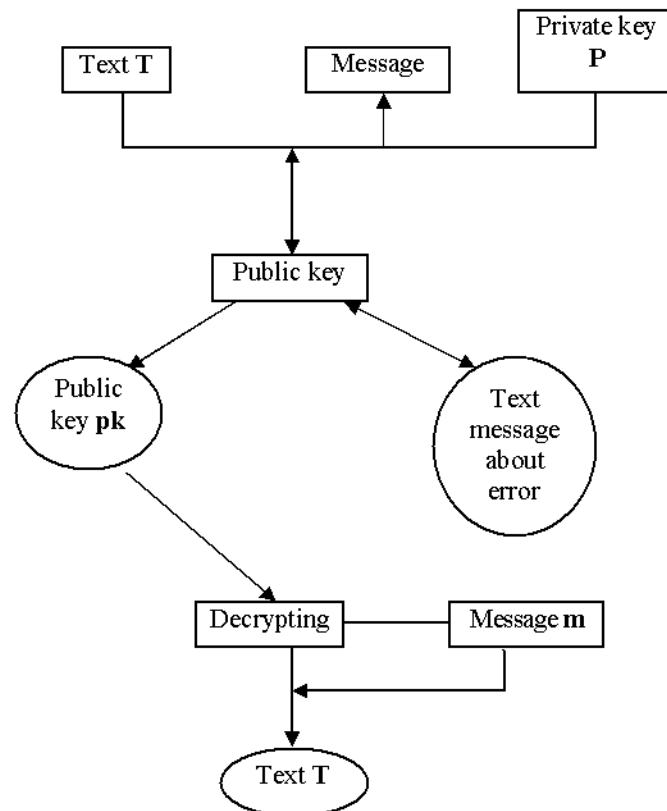


Figure 1 – Encrypting-decrypting process
Slika 1 – Proces šifrovanja i dešifrovanja

Programs

In this part of the paper, the previously presented algorithm will be followed by programs in the Mathematica 8.0 software package (Wolfram, 1999) For the program encryption and decryption, matching subprograms will be used, the merging of which will create main programs. These subprograms will be used in the realization of some steps represented in the algorithm. Note that in these programs the coordinate matrix curve, signed as Γ in the algorithm, will be signed as CC.

Program covered encryption

The encryption and decryption of a text with the previous presented method are covered by the programs in this part of the paper.

```
TextPairs[text_,Ch_]:=
Module[{tp={}},
For[i=1,i<=StringLength[text],i++,

tp=Append[tp,Position[Ch,StringTake[text,{i}]]][[1]]];
tp];
```

This program transforms the text into a set of pairs of natural numbers which indicate the positions of the matching characters in the set Ch.

```
HidePairs[pairs_,Ch_]:=
Module[{hp=pairs},
For[i=1,i<=Dimensions[pairs][[1]],i++,

hp[[i,2]]+=
Dimensions[Ch[[pairs[[i,1]]]][[1]]*
RandomInteger[{1,100}];

hp[[i,1]]+=Dimensions[Ch][[1]]*
RandomInteger[{1,100}];

hp];
```

This program hides the pairs by increasing the coordinates which is one of the reasons for this algorithm – breaking difficulty.

```
CompletePairs[pairs_,p_,q_]:=
Module[{cp=pairs},
For[i=1,Mod[Dimensions[cp][[1]],p*q]!=0,i++,
cp=Insert[cp,{1,0},
RandomInteger[{1,Dimensions[cp][[1]]}]]];
```

This program supplements a set pairs of pairs to the set of pairs with $K \cdot p \cdot q$ elements for a positive integer K .

```
PairsMatrices[pairs_,p_,q_]:=
Module[{pm={}},
d=Dimensions[pairs][[1]]/(p*q);
For[i=1,i<=d,i++,pm=Append[pm,{}]];
For[i=1,i<=Dimensions[pm][[1]],i++,
For[j=1,j<=p,j++, pm[[i]]=Append[pm[[i]],
Take[pairs,{(i-1)*p*q+(j-1)*q+1,(i-1)*p*q+j*q}]]];
```

This program orders a set of pairs of natural numbers. Accurately said, it transforms a set of pairs obtained using the CompletePairs program into a set of matrices of the order $p \times q$ whose elements are ordered pairs indicating to the positions of the characters that make up the text.

```
PairFunction[pair_,v_]:=
Module[{pf},
If[pair[[2]]==0,
pf=(v-RandomInteger[{1,100}])*
(v-RandomInteger[{1,100}]),
pf=v^2-2*pair[[1]]*v+pair[[1]]^2+pair[[2]]^2];
Expand[pf];
```

This program transforms a pair of numbers into a polynomial dependent on the variable v .

In the case when the second coordinate of the pair *pair* is different from 0, the roots of that polynomial are complex numbers whose real part indicates to the row in the matrix *Ch* where the character is, while the absolute value of the imaginary part indicates the matching column in the matrix *Ch*. Otherwise, it is a polynomial with real roots.

```

MatricesPairsFunctions[pairs_,variables_]:=
  Module[{mpf},
    If[Dimensions[variables][[1]]<Dimensions[pairs][
[1]],
      mpf="More variables are needed. Correct
that,please!",
      mpf=pairs;
      For[i=1,i<=Dimensions[pairs][[1]],i++,
        For[j=1,j<=Dimensions[pairs][[2]],j++,
          For[k=1,k<=Dimensions[pairs][[3]],k++,
            mpf[[i,j,k]]=PairFunction[mpf[[i,j,k]],variables[[i]]]
          ]];
      mpf];

```

This program transforms each of the matrices obtained by the PairsMatrices program using the PairFunction program into the coordinate matrix curves of the order $p \times q$ by transforming the k -th matrix of the set into the coordinate matrix curve dependent on the k -th variable in the set of variables. If there are an insufficient number of variables, the program indicates on this error.

```

HadamardProduct[pvf_]:=
  Module[{hp=pvf[[1]]},
    For[i=2,i<=Dimensions[pvf][[1]],i++,
      hp*=pvf[[i]];
    Expand[hp];

```

This program transforms a set of matrices of the same type into the Hadamard product of these matrices (at the (u, v) place in the Hadamard product of the matrices $U_1, \dots, U_k$ is the product of the elements of these matrices at the places (u, v)).


```

Hiding[pvf_,L_,CC_,R_,l_,c_,r_]:=
Module[{h},
dl=Det[L/.t->l];
dr=Det[R/.t->r];
If[(dl==0)&&(dr==0),
h="Incorrect left and right values.
Correct that, please!",
If[(dl==0)&&(dr!=0),
h="Incorrect left value. Correct that,
please!",
If[(dl!=0)&&(dr==0),
h="Incorrect right value. Correct that,
please!",
If[(dl!=0)&&(dr!=0),
L=L/.t->l;R=R/.t->r;Cc=CC/.t->c;

```

This program hides the matrix by multiplying it with the numerical matrices obtained as coordinate matrix curves at a given point. If the determinant of the coordinate matrix curve L at a point l or the determinant of the coordinate matrix R at a point r is equal to 0, it is impossible to uniquely determine the coordinate matrix surface which is hidden. In that case, the result of the program is a text message which exactly determines the variable which causes the problem. Otherwise, the result of this program applied to the previous problem's results related to the same text encryption (the resulting matrices) is a public key. The message consists of the numbers l , r and s as well as the ordered set of the variables figuring in a public key.

```

PublicKey[text_,message_,ch_,p_,q_,L_,CC_,R]:=
Module[{pk},
u=MatricesPairsFunctions[PairsMatrices[
CompletePairs[HidePairs[
TextPairs[text,ch],ch],p,q],p,q],message[[2]]];
If[StringQ[u],pk=u,u=HadamardProduct[u]];
u=Hiding[u,L,CC,R,message[[1,1]],
message[[1,2]],message[[1,3]]];
If[StringQ[pk],pk=pk,pk=u];

```

This program integrates all previous programs related to encryption and as a result brings back a public key if the entered variables are correct or a text message if some of the numerical parameters are not correctly assigned.

Program covered decryption

The steps in the decryption of the previously presented algorithm are covered by the programs in this part of the paper.

```
nForm[n_]:=
  Module[{nsf={}},
    For[i=1,i<=n,i++,nsf=Append[nsf,{}]];
  nsf];
```

This program is the first auxiliary program which forms a set of n empty sets for a natural number n .

```
PolynomialDegree[pol_,var_]:=
  Dimensions[CoefficientList[pol,var]][[1]]-1;
```

This is the second auxiliary program. This program returns a degree of a polynomial pol depending on a variable var . The polynomial degrees over the field of integer numbers are of special interest in the decryption shown here.

```
Mod1n[a_,b_]:=Module[{m=Mod[a,b]},If[m==0,m=b];m];
```

This program gives back the operation's Mod1n result.

```
Dehiding[publickey_,message_,L_,CC_,R_]:=
  Expand[
    Expand[
      Inverse[L/.t->message[[1,1]]].publickey].
      Inverse[R/.t->message[[1,3]]]]+
  CC/.t->message[[1,2]];
```

This program realizes the step D_1 .

```

FactorCharacter[f_,ch_]:=
Module[{fc},d=Discriminant[f[[1]],f[[2]]];
If[(PolynomialDegree[f[[1]],f[[2]]]==2)&&
(d<0),cl=CoefficientList[f[[1]],f[[2]]];
r=Mod 1n[-cl[[2]]/2,Dimensions[ch][[1]]];
c=Mod 1n[Abs[Sqrt[d]]/2,
Dimensions[ch][[1]]];
fc=ch[[r,c]],
fc=""];
fc];

```

This program transforms the polynomial into the character which that polynomial represents or into an empty string if the polynomial does not encrypt any character.

```

FactorsCharactersPositions[m_,ch_]:=
Module[{ff={},fv=m},
For[i=1,i<=Dimensions[m][[1]],i++,
For[j=1,j<=Dimensions[m][[2]],j++,
fv[[i,j]]=Delete[FactorList[m[[i,j]],{1}];
For[k=1,k<=Dimensions[fv[[i,j]][[1]],k++,
fv[[i,j,k,2]]=Variables[fv[[i,j,k,1]][[1]]];
fv[[i,j,k,1]]=FactorCharacter[fv[[i,j,k]],ch]]];
fv];

```

This program transforms the factors of all polynomials in the matrix surface into pairs. The first coordinate is matching the one-variable polynomial which is the divisor of the polynomial into the matrix surface, while the second coordinate is a variable which the divisor depends on.

```

PairsMessagePositions[pairs_,message_]:=
Module[{pmp=pairs},
For[i=1,i<=Dimensions[pairs][[1]],i++,
For[j=1,j<=Dimensions[pairs][[i]][[1]],j++,
For[k=1,k<=Dimensions[pairs][[i,j]][[1]],k++,
pmp[[i,j,k,2]]=
Position[message[[2]],pairs[[i,j,k,2]][[1,1]]];
pmp];

```

This program transforms the pairs obtained by the previous program by replacing the variable on the second coordinate with the position of that coordinate in the part *message* in which the variables are arranged.

```
PairsMessageSets[pairs_,message_] :=
Module[
{pms=nForm[Dimensions[message][2]][[1]]},
For[i=1,i<=Dimensions[pairs][[1]],i++,
For[j=1,j<=Dimensions[pairs][[i]][[1]],j++,
For[k=1,k<=Dimensions[pairs][[i,j]][[1]],k++,
pms[[pairs[[i,j,k,2]]]] =
Append[pms[[pairs[[i,j,k,2]]]],pairs[[i,j,k,1]]]]];
pms];
```

This program collocates the first coordinates of the pairs into the ordered sets of the polynomials which appear in the same order as in the encryption and which depend on the same variable. The previously mentioned first coordinates are appropriate characters.

```
SetsText[sets_] :=
Module[{st=""},
For[i=1,i<=Dimensions[sets][[1]],i++,
For[j=1,j<=Dimensions[sets][[i]][[1]],j++,
st=StringInsert[st,sets[[i,j]],-1]];
st];
```

This program transforms the sets obtained by the PairsMessageSets program into the decrypted text which is, as it is proved, identical to the encrypted text.

```
Decrypting[message_, publickey_, L_, CC_, R_, ch_] :=
SetsText[PairsMessageSets[
PairsMessagePositions[
FactorsCharactersPositions[
Dehiding[publickey, message, L, CC, R], ch],
message], message]];
```

This program integrates all previous programs related to encryption and as a result brings back the text encrypted by a public key.

Test example

An example of the encryption of a text with the previous presented algorithm is given below. Let

- $t = \text{L O L I T I C A}$
- $L = \{\{t, t+3\}, \{t+2, t+2\}\}$;
- $R = \{\{t, 0, 0, 0\}, \{0, t+1, 0, 0\}, \{0, 0, t+2, 0\}, \{0, 0, 0, t+3\}\}$;
- $CC = \{\{t, t, t, t\}, \{t+1, t, t-1, t^2\}\}$;
- $message = \{\{1, 1, 1\}, \{a, b\}\}$;
- $p=2, q=3$;
- $Ch = \{\{ "A", "B", "C", \{ "a", "b", "c", \{ "D", "E", "F", \{ "d", "e", "f", " ", \{ "G", "H", "I", \{ "g", "h", "i", \{ "J", "K", "L", \{ "j", "k", "l", \{ "M", "N", "O", \{ "m", "n", "o", \{ "P", "Q", "R", "S", \{ "p", "q", "r", "s", \{ "T", "U", "V", \{ "t", "u", "v" \} \} \} \} \} \} \}$;
- $pk = \text{PublicKey}[t, message, Ch, p, q, L, CC, R]$
- $dt = \text{Decrypting}[message, pk, L, CC, R, Ch]$

This example is similar to the example in (Vesić, Simjanović, 2012). The time necessary for the realization of forming the public key pk is $t_1 = 0.466s$. The result of the decryption is $dt = \text{L O L I T I C A}$. The time used is $t_2 = 0.776s$.

Conclusion

The matrix-based algorithm for text-data hiding is presented in this paper. This algorithm is covered by the corresponding programs in the MATHEMATICA 8.0 software package. These programs could be used in earlier versions of this software package.

The algorithm presented in this paper is a preferment of the algorithm presented in (Vesić, Simjanović, 2012). The algorithm presented in that paper has the same idea for text-data hiding (factorization of matrices) but the algorithm in this paper hides texts with the multiplication of an encoded text with two matrices. The multiplication of a numerical matrix and a coordinate matrix surface is not safe enough hiding (systems of Diophantine equations with linear unknown variables which are not so complicated to solve are the reason for that insecurity).

For breaking a public key as a result of applying the algorithm for text-data hiding presented in this paper, it is necessary to solve a system of Diophantine equations which have products of unknown variables. These systems are more complicated to solve.

The time used for encrypting a text with the algorithm presented in this paper, for the same text as in (Vesić, Simjanović, 2012), is $0.002s$ longer. The time necessary for the decryption is $0.279s$ longer than in (Vesić, Simjanović, 2012).

References

- Bohen, D., 1999, Twenty Years of Attacks on the RSA Cryptosystem, *Notices of the AMS*, 46(2), pp. 203-213.
- Buchmann, A. J., 2001, *Introduction to Cryptography*, New York, Springer-Verlag.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C., 2009, *Introduction to algorithms*, Third Edition, Cambridge, Massachusetts London, England, The MIT Press.
- Diffie, W., Hellman, M., 1976, *New directions in Cryptography*, IEEE Transactions on Information Theory, IT-22.
- Kuljanski, R. S., 2010, RSA algoritam i njegova praktična primena, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 58(3), pp. 65-77.
- Menezes, A., 2001, *Evaluation of Security Level of Cryptography: RSA-OAEP, RSAPSS, RSA Signature*, CRYPTREC.
- Menezes, A., Oorschot, P., Vanstone, S., 1996, *Handbook of Applied Cryptography*, CRC Press, Boca Raton.
- Vesić N. O., *Differential Geometry and Matrices* [Internet], Available in: poincare.matf.bg.ac.rs/~geometricalseminar/presentations/vesic.pdf, Downloaded: February 1, 2013.
- Vesić N. O., Simjanović D. J., 2012, Tensors and Cryptography, pp. 76-83, *InfoTech-2012*, September 20-21.
- Wolfram, S., 1999, *The Mathematica Book*, 4th ed., Wolfram Media/Cambridge University Press.

MATRIČNO ZASNOVAN ALGORITAM ZA SKRIVANJE TEKSTOVA I OBRADU INFORMACIJA

OBLAST: matematika

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Primena diferencijalne geometrije u skrivanju tekstualnih podataka prikazana je u ovom radu. Ta primena predstavlja generalizaciju prethodno predstavljenih metoda. Matrično vrednosne funkcije više promenljivih korišćene su u ovom radu. Metod je pokriven odgovarajućim programima u softverskom paketu MATHEMATICA 7.0.

Ključne reči: program; dešifrovanje; šifrovanje; tekst; poruka; javni ključ; privatni ključ; algoritam; matrica vrednosti funkcije.

Datum prijema članka/Paper received on: 27. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 20. 06. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 22. 06. 2013.

SINTEZA, DIFRAKCIONI EKSPERIMENTI, TRANSMISIONA ELEKTRONSKA MIKROSKOPIJA I MAGNETNE OSOBINE NANOKOMPOZITNOG UZORKA α -Fe₂O₃/SiO₂

Marin M. Tadić ^a, Nada M. Čitaković ^b

^a Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča,
Laboratorija za teorijsku fiziku i fiziku kondenzovane
materije, Beograd,

^b Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Katedra prirodnomatematickih nauka, Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-4383

OBLAST: materijali, fizika

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Cilj rada bio je istraživanje magnetnih karakteristika nanočestičnog feri-oksida α -Fe₂O₃ (hematita), u amorfnoj matrici silicijum-dioksida.

Ispitivani uzorak nanokompozitnog feri-oksida dobijen je sol-gel metodom. Kristalna faza uzorka određena je pomoću difrakcije elektrona i X-zraka. Na osnovu TEM (transmisiona elektronska mikroskopija) snimaka utvrđena je veličina čestica.

Ispitivanja magnetnih osobina uzorka obuhvatila su merenja DC magnetizacije i AC susceptibilnosti u opsegu temperatura od 2 K do 300 K i magnetnih polja od -5 T do 5 T. Merenja su urađena na SQUID magnetometru. Cilj je bio da se pokaže da je sol-gel metoda pogodna za sintezu nanočestičnog hematita i da se potvrdi nanočestično ponašanje ispitivanog uzorka. Utvrđeno je postojanje međučestičnih interakcija, kao i uticaj širine distribucije nanočestica na magnetne karakteristike nanokompozitnog uzorka α -Fe₂O₃. Magnetne karakteristike uzorka poredene su sa magnetnim karakteristikama drugih uzoraka nanočestičnog hematita i ukazano je na mogućnosti njegove primene.

Ključne reči: superparamagnetizam, temperatura blokiranja, transmisiona elektronska mikroskopija (TEM), sol-gel sinteza, nanočestični hematit.

Uvod

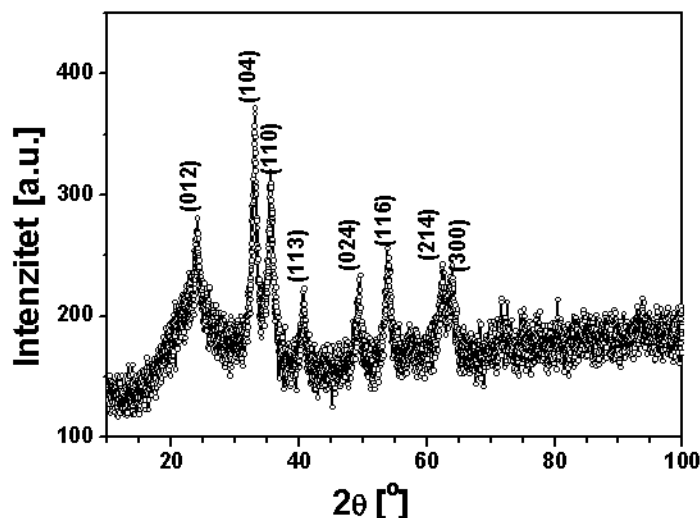
Ispitivani uzorak hematita α -Fe₂O₃/SiO₂ pokazao je sve osobine koje poseduju nanočestični superparamagnetni materijali. Magnetizacija uzorka zavisi od njegove magnetne istorije, tj. merenja temperature zavi-

snosti magnetnog dipolnog momenta pri nekom konstantnom magnetnom polju daju različite rezultate za uzorak ohlađen bez polja (ZFC merenja) i za uzorak ohlađen u magnetnom polju (FC merenja). Uočena je temperatura blokiranja- T_B , postojanje histerezisne petlje ispod temperature blokiranja, kao i njeno odsustvo iznad temperature ireverzibilnosti- T_{ir} .

U ovom radu predstavljeni su eksperimentalni rezultati i data diskusija na osnovu njih za nanočestični hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) u amorfnoj matrici silicijum-dioksida sa međučestičnim interakcijama srednje jačine. Rezultati su poređeni sa neinteragujućim, slabo interagujućim i jako interagujućim sistemima sa hematitom.

Sinteza i difrakcioni eksperimenti nanočestičnog hematita

Nanočestični hematit sintetisan je sol-gel postupkom korišćenjem gvožđe-nitrata $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, etanola $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, TEOS-a (tetraetilortosilikat, $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_4$) i azotne kiseline HNO_3 kao polaznih supstanci. Molami odnosi etanola prema TEOS-u i vode prema TEOS-u uzeti su 4:1 i 11,67:1, respektivno. Izabrano je da konačni maseni udeo hematita u uzorku bude 45%. Posle mešanja rastvora podešena je pH vrednost na 2. Dobijeni gel je sušen deset dana na temperaturi do 100°C , zatim je uzorak žaren na temperaturi od 200°C u vazduhu 5 sati. Ovako dobijen uzorak je usitnjen u prah, a zatim su izvršena merenja.



Slika 1 – Difraktogram nanočestičnog uzorka $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, dobijen rasejanjem X-zraka
Figure 1 – X-ray powder diffraction pattern of the nanocomposite $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$

Snimanje difraktograma izvršeno je na sobnoj temperaturi na difraktometru za prah *Phillips PW 1710*, na osnovu kojeg je određena faza datog uzorka. Kao izvor X-zraka korišćeno je zračenje bakame antikatode $K\alpha_{1/2}$, talasnih dužina $\lambda_1=1,5405 \text{ \AA}$ i $\lambda_2=1,5443 \text{ \AA}$. Snimanje je izvršeno u intervalu $10^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$, sa korakom $0,02^\circ$ i ekspozicijom 15 sekundi po koraku. Difrakciona slika ispitivanog uzorka koji je dobijen žarenjem na temperaturi 200°C prikazana je na slici 1.

Analizom difraktograma za ispitivani uzorak i poređenjem sa bazom podataka potvrđena je faza nanočestičnog hematita, bez prisustva neke druge faze. Svi pikovi na difraktogramu su indeksirani u skladu sa fazom hematita. Na difrakcionoj slici može se uočiti i visoka bazna linija (*background*) koja ukazuje na postojanje amornog materijala u ovom uzorku (amorfni silicijum dioksid). Srednja veličina kristalita određena je pomoću *Scherrer*-ove jednačine

$$d_{hkl} = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

gde je

d_{hkl} – prosečna dimenzija kristalita u pravcu normalnom na niz ravni sa kojih difraktuju rendgenski zraci ($\text{\AA}$),

K – faktor oblika (približno 1),

λ – talasna dužina upotrebljenog rendgenskog zračenja ($\text{\AA}$),

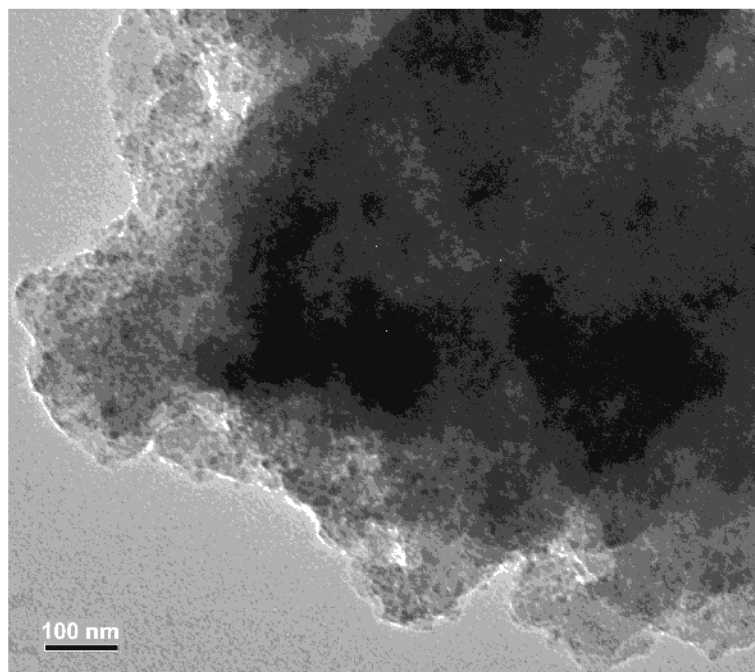
β – širina difrakcione linije nastala samo usled strukturnih faktora i

θ – *Bragg*-ov ugao. Dobijena vrednost za srednju veličinu kristalita je $d_{sr} = 9 \text{ nm}$.

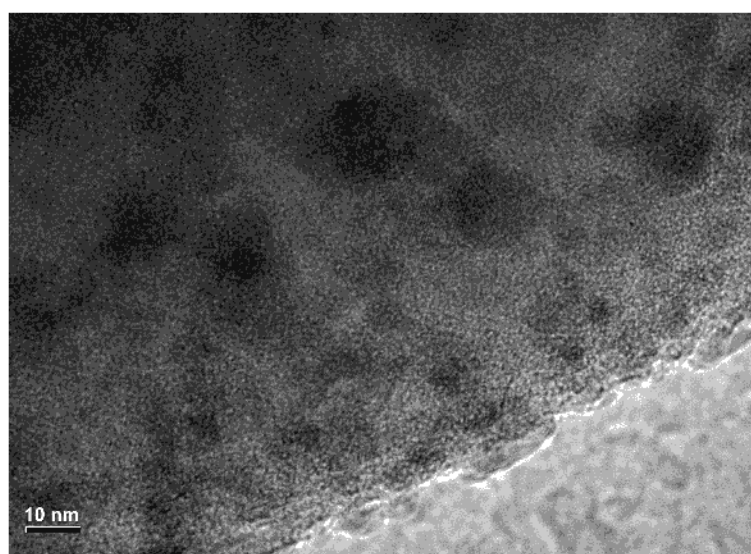
Transmisiona elektronska mikroskopija nanočestičnog hematita

Veličina nanočestica, distribucija po veličinama i morfologija određena je pomoću TEM-a i visokorezolucionog transmissionog elektronskog mikroskopa (HRTEM). Fotografije koje su dobijene transmissionom elektronskom mikroskopijom prikazane su na slikama 2 i 3.

Na slici 2 vidi se komad amornog silicijum-dioksida u kojem su ravnomerno raspoređene nanočestice hematita. Mogu se primetiti delovi u kojima je došlo do aglomeracije nanočestica, kao i delovi u kojima su one jasno razdvojene. Slika 3 jasno pokazuje da se radi o nanočesticama sfernog oblika veličine oko 10 nanometara.

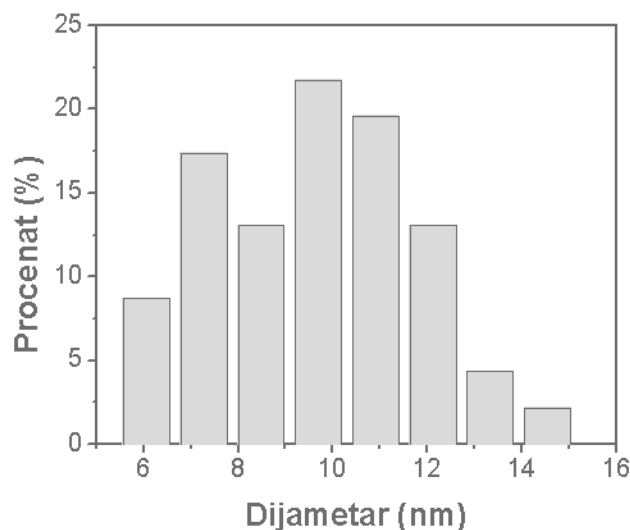


Slika 2 – Fotografija dobijena pomoću TEM-a za nanokompozit α -Fe₂O₃/SiO₂
Figure 2 – Transmission electron micrograph of nanocomposite α -Fe₂O₃/SiO₂



Slika 3 – Fotografija dobijena pomoću HRTEM-a za nanokompozit α -Fe₂O₃/SiO₂
Figure 3 – High resolution transmission electron micrograph of nanocomposite α -Fe₂O₃/SiO₂

Distribucija nanočestica po veličinama predstavljena je na slici 4, sa koje se može uočiti široka distribucija čestica po veličini oko srednje veličine $d_{sr} = 10$ nm. Ova distribucija dobijena je merenjem pojedinačnih nanočestica sa slika 2 i 3. Pojava dva maksimuma na slici 4 verovatno je posledica ograničenog broja nanočestica koje su uzete u razmatranje.



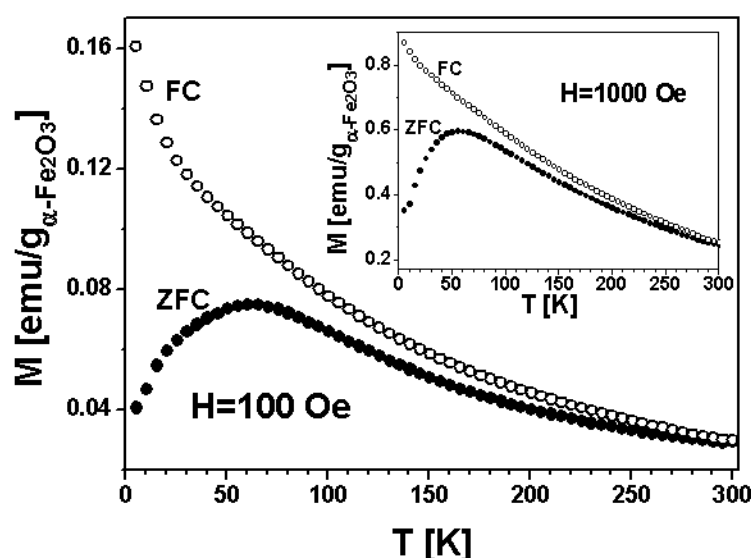
Slika 4 – Distribucija nanočestica hematita po veličini
Figure 4 – Size distribution of α -Fe₂O₃ nanoparticles

Rezultati dobijeni difrakcijom X-zraka i transmissionom elektronskom mikroskopijom u saglasnosti su i pokazuju formiranje nanočestičnog hematita u amorfnoj silicijumovoj matrici.

Magnetne osobine nanočestičnog hematita

Magnetne osobine nanočestičnog hematita najpre su ispitivane na osnovu eksperimentalno određenih temperaturnih zavisnosti magnetizacije uzorka. Merena je zavisnost magnetizacije uzorka α -Fe₂O₃/SiO₂ od temperature T , pri konstantnom magnetnom polju. Merenja su izvršena u magnetnom polju jačine $H = 100$ Oe i $H = 1000$ Oe, u temperaturnom intervalu 2-300 K. Merenje magnetizacije u zavisnosti od temperature je vršeno u dva režima rada. Prvo je izvršeno hlađenje uzorka bez polja, tzv. ZFC (*Zero-Field-Cooled*) merenje, tj. uzorak koji se nalazi na temperaturi iznad temperature blokiranja (T_B), u ovom slučaju na sobnoj temperaturi, se prvo ohladi do niske temperature (2 K), $T \ll T_B$, izvan magnetnog polja, pa se na najnižoj temperaturi T (pošto se temperatura stabilizovala)

primeni konstantno magnetno polje željene jačine i meri se magnetizacija sa povećanjem temperature. Zatim je izvršeno tzv. FC (*Field-Cooled*) merenje, tj. uzorak koji se nalazi iznad T_B (u ovom slučaju sobna temperatura) se hladi do niske temperature $T = 2$ K u prisustvu istog polja koje je primenjeno pri ZFC merenju. Pošto se temperatura uravnotežila ne menjajući magnetno polje, merena je magnetizacija sa povećanjem temperature. Rezultati ZFC i FC merenja u primenjenim magnetnim poljima 100 Oe i 1000 Oe prikazani su na slikama 5 i 6. ZFC i FC merenja magnetizacije predstavljena su punim i praznim krugovima, respektivno.



Slika 5 – Zavisnost magnetizacije od temperature za uzorak nanočestičnog hematita ZFC i FC merenja) u magnetnim poljima jačine 100 Oe i 1000 Oe (umetak)
Figure 5 – Temperature dependence of the zero-field-cooled (ZFC, solid symbols) and field-cooled (FC, open symbols) magnetization measured in a field of 100 and 1000 Oe (inset)

Sa slike 5 može se uočiti tipično ponašanje magnetizacije za magnetne nanočestične sisteme (Zboril, et al, 2002, str. 969-982). ZFC kriva magnetizacije pokazuje rast do temperature 65 K, gde se nalazi širok maksimum koji odgovara temperaturi blokiranja T_B , posle koje magnetizacija počinje da opada.

Ispod temperature blokiranja ZFC i FC magnetizacione krive se značajno razdvajaju: ZFC magnetizacija oštro opada, dok FC magnetizacija konstantno raste. Temperatura na kojoj se razdvajaju ZFC i FC magnetizacione krive odgovara temperaturi blokiranja najvećih čestica u sistemu. Ona se naziva temperatura ireverzibilnosti T_{irr} (Dormann, et al, 1988, str. 2015-2034), (Mydosh, 1993, str. 45-118), (Fernandez, et al, 2008, str. 4138-4142).

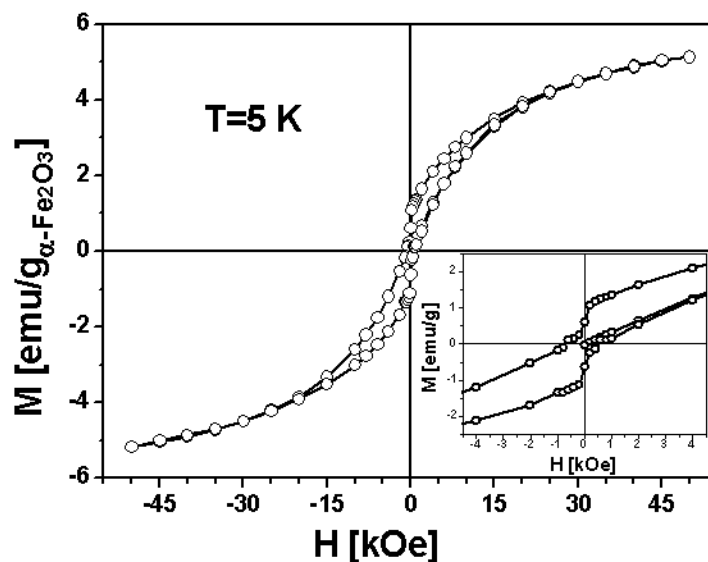
Na osnovu eksperimentalnih rezultata određena je vrednost temperature ireverzibilnosti za ispitivani sistem, i ona iznosi $T_{irr} = 300$ K.

Merenja ZFC i FC magnetizacije u magnetnom polju 1000 Oe (slika 5 umetak) sa temperaturom blokiranja $T_B = 62$ K i temperaturom ireverzibilnosti $T_{ir} = 300$ K, pokazuju slično ponašanje merenjima magnetizacije u 100 Oe, što pokazuje slabu zavisnost magnetnih karakteristika ispitivanog uzorka od jačine magnetnog polja. Pojava *Morin*-ovog prelaza nije uočena u merenom opsegu 2-300 K i magnetnim poljima 100 Oe i 1000 Oe.

Zavisnost magnetizacije od magnetnog polja pri konstantnoj temperaturi ispod temperature blokiranja merena je u magnetnim poljima u intervalu od -5 T do 5 T i konstantnoj temperaturi 5 K. Rezultati merenja prikazani su na slici 6. Ispod temperature blokiranja pojavljuje se histerezisna petlja, što je karakteristično za nanočestične sisteme. Zapaža se da pri visokim vrednostima magnetnog polja magnetizacija ne pokazuje saturaciju (do 5 T), što je karakteristično za hematit. Sa slike 6 (umetak) može se uočiti sužavanje histerezisne petlje na malim vrednostima magnetnog polja. Dobijene vrednosti koercitivnog polja i remanentne magnetizacije sa histerezisne petlje merene na temperaturi 5 K su $H_C = 610$ Oe i $M_r = 0,435$ emu/g, respektivno.

Vrednost saturacione magnetizacije na temperaturi 5 K je određena ekstrapolacijom magnetizacije M u zavisnosti od $1/H$ i dobijena je vrednost saturacione magnetizacije $M_S = 6,1$ emu/g.

Ove vrednosti su uporedive sa vrednostima dobijenim u drugim nanočestičnim sistemima sa hematitom (Zysler, et al, 2004, str. 171-175), (Xu, et al, 2005, str. 36-38). Za balk ova vrednost iznosi oko 2 emu/g.



Slika 6 – Histerezisna petlja magnetizacije na temperaturi $T = 5$ K za uzorak nanočestičnog hematita

Figure 6 – Magnetization vs. field dependence recorded at 5 K. The inset shows low field magnetization behaviour

Na temperaturi 300 K magnetizaciona kriva ne pokazuje histerezis, tj. koercitivno polje je jednako nuli $H_c = 0$ Oe, što je karakteristika za superparamagnetno stanje (slika 7) (Zhongquan, et al, 2008, str. 2335-2338), (Atwater, et al, 2008, str. 3131–3134), (Caizer, 2008, str. 1056-1062).

Superparamagnetizam nanočestičnih materijala se može opisati pomoću *Langevin*-ove teorije za paramagnetne materijale, gde se zavisnost magnetizacije – M , od temperature – T i polja – B može predstaviti jednačinom

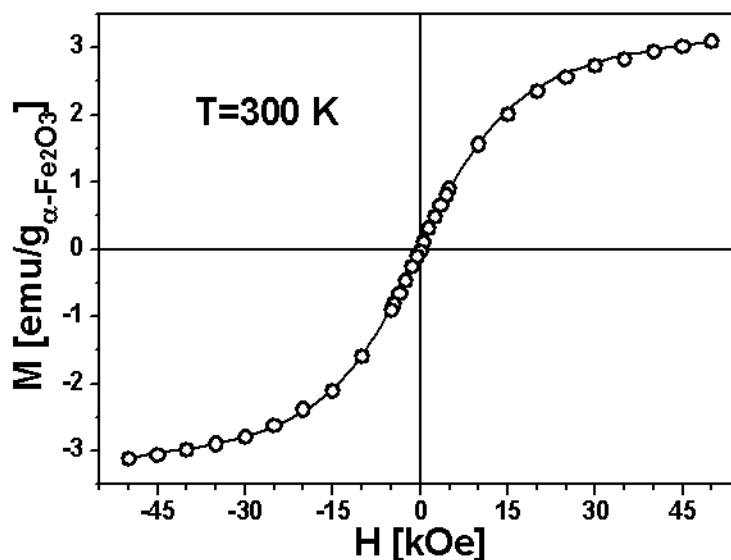
$$M = \frac{C}{T} B \quad (2)$$

gde je C označena *Curie*-jeva konstanta.

Podešavajući *Langevin*-ovu jednačinu na eksperimentalne podatke, gde su saturaciona magnetizacija (M_s) i magnetni moment čestice (m_p) uzeti za fitujuće parametre, može se dobiti informacija o veličini i magnetnom momentu superparamagnetnih čestica. Procena srednje veličine čestica iz magnetnih merenja može se dobiti pomoću izraza:

$$m_p = \frac{\pi d^3 M_s}{6} \quad (3)$$

gde d označava prečnik nanočestice.



Slika 7 – Zavisnost magnetizacije od magnetnog polja na temperaturi 300 K. Punom linijom je prikazana *Langevin*-ova kriva dobijena podešavanjem izraza (2) na eksperimentalne vrednosti

Figure 7 – Weighted Langevin function fit (full line) to the $M(H)$ data (dots) measured at 300 K

Podešavajući *Langeven*-ovu jednačinu (3) na podatke merene na temperaturi 300 K dobijena je funkcija prikaza na slici 7. Dobijene vrednosti fitujućih parametara su $M_S = 3,5 \text{ emu/g}$, i $m_p = 570 \mu_B$.

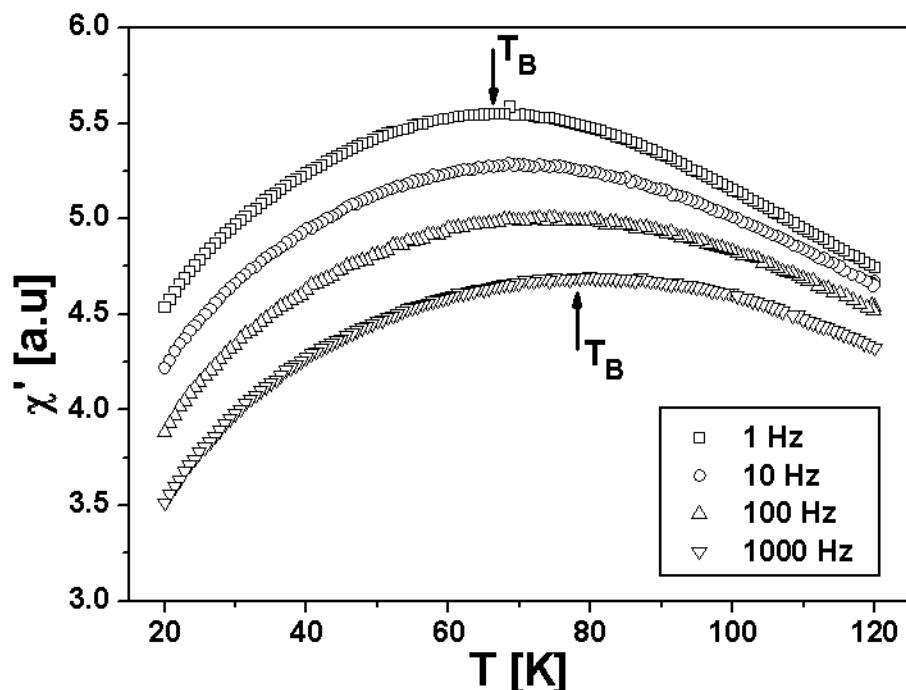
Glavni doprinos vrednosti magnetnog momenta kod $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanočestica potiče od neuređene površinske magnetne strukture gde nema kompenzovanja spinskih magnetnih momenata (Zysler, et al, 2004, str. 171–175), (Zysler, et al, 2001, str. 5–11), (Tadić, et al, 2007, str. 291–296).

Takođe, za nanočestice postojanje nepotpune kompenzacije magnetnih momenata u antiferomagnetnom jezgru nanočestica je očekivano, što takođe daje doprinos vrednosti magnetnom momentu nanočestica m_p (Zysler, et al, 2001, str. 5–11). Od dobijenih vrednosti za M_S i m_p pomoću izraza (3) određen je srednji prečnik čestica, i on iznosi $d = 8,2 \text{ nm}$.

Ova vrednost dobijena pomoću magnetnih merenja i *Langevin*-ove teorije odlično se slaže sa srednjim prečnikom dobijenim pomoću XRPD, TEM i HRTEM merenja, što potvrđuje da se radi o superparamagnetnom sistemu na sobnoj temperaturi i pokazuje ispravnost *Langevin*-ove teorije o paramagnetizmu u slučaju nanočestičnih sistema.

Merenja AC susceptibilnosti

Prisustvo i jačina interakcija između nanočestica hematita ispitivana su pomoću AC susceptibilnosti. Urađena su merenja AC susceptibilnosti za četiri različite frekvence magnetnog polja u opsegu od 1 do 1000 Hz. Merenja su vršena u temperaturskom opsegu koji uključuje temperaturu blokiranja (20–120 K) koja je određena iz ZFC merenja $T_B = 65 \text{ K}$. Sa slike 8 može se videti da realni deo susceptibilnosti $\chi'(T)$ zavisi od frekvence spoljašnjeg magnetnog polja. Maksimum krive koji odgovara temperaturi blokiranja pomera se ka višim temperaturama sa povećanjem frekvence, dok visina maksimuma opada. Iznad temperature blokiranja susceptibilnost χ' postepeno opada sa povećanjem temperature, zato što termalna energija postaje veća od energetske barijere i magnetni momenti nanočestica postaju neuređeni kao kod paramagnetika van magnetnog polja. S druge strane, ispod temperature blokiranja χ' opada sa smanjenjem temperature, zbog zamrzavanja magnetnih momenata u pravcu osa lake magnetizacije (Mydosh, 1993, str. 45–118).



Slika 8 – Temperaturna zavisnost realnog dela χ' AC susceptibilnosti nanočestičnog hematita za različite frekvence primenjenog AC magnetnog polja

Figure 8 – Temperature dependence of the real part of AC susceptibility at different frequencies. Arrows denote positions of T_B

U skladu sa Neel-ovom teorijom (Neel, 1949, str. 99–136), magnetni moment neinteragujućih monodomenskih čestica sa jednom osom lake magnetizacije fluktuiira između dva smera sa relaksacionim vremenom τ koje se pokorava Arrhenius-ovom zakonu:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{\Delta E}{k_B T}} \quad (4)$$

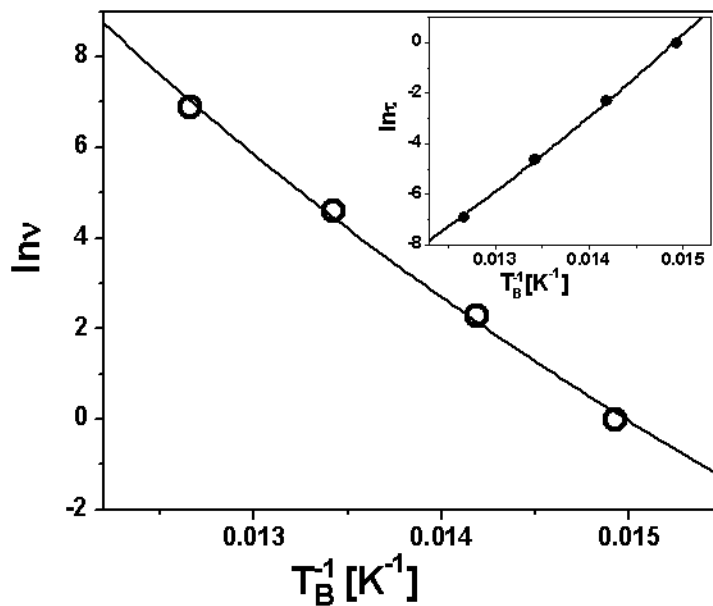
gde ΔE predstavlja energetska barijeru, a τ_0 vreme za koje magnetni moment pokušava da preskoči barijeru. Pri AC merenjima τ odgovara vremenu merenja i jednako je inverznoj vrednosti frekvence $\tau = 1/\nu$. U slučaju neinteragujućih čestica zavisnost $\ln \tau$ od T_B^{-1} treba da bude linearna. Takođe, u slučaju neinteragujućih čestica τ_0 vrednost se obično nalazi između 10^{-9} i 10^{-13} s (Shtrikman, Wolfart, 1981, str. 467-470). Podešavajući Arrhenius-ov zakon na eksperimentalne podatke za nanočestični hematit dobija se znatno manja vrednost $\tau_0 \approx 10^{-24}$, što ukazuje na postojanje interakcija u ispitivanom sistemu (slika 9).

Prisustvo međučestičnih interakcija i njihova jačina u uzorcima mogu se proceniti pomoću empirijskog parametra $C_1 = \Delta T_B / (T_B \Delta \log v)$, gde T_B predstavlja srednju vrednost temperatura blokiranja za date frekvence, ΔT_B razliku između maksimalne i minimalne vrednosti za T_B , dok $\Delta \log v$ označava razliku između maksimalnog i minimalnog dekadnog logaritma frekvence (Mydosh, 1993, str. 45–118).

U slučaju interagujućih čestica zavisnost T_B od frekvence spoljašnjeg magnetnog polja ponaša se u skladu sa *Vogel-Fulcher*-ovim zakonom:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{\Delta E}{k_B(T - T_0)}\right) \quad (5)$$

T_0 predstavlja vrednost u koju su uključene međučestične interakcije. Podešavajući eksperimentalne podatke na *Vogel-Fulcher*-ov zakon (slika 9) dobijeni su sledeći parametri: $\tau_0 = 3,2 \cdot 10^{-12}$ s, $\Delta E/k_B = 330$ K i $T_0 = 44$ K.



Slika 9 – Korelacija između temperature blokiranja T_B i frekvencije primenjenog magnetnog polja v : punom linijom su prikazane krive dobijene podešavanjem izraza za Arrhenius-ov i Vogel-Fulcher-ov (umetak) zakon na eksperimentalne vrednosti
Figure 9 – Change of blocking temperature T_B with AC field frequency v fitted to the Arrhenius function. Inset: fit to the Vogel-Fulcher function

Vrednost parametra $\Delta E/k_B$ može se iskoristiti za određivanje vrednosti konstante anizotropije K , pomoću izraza $KV = \Delta E$ (V predstavlja zapreminu čestice). Za sferne čestice prečnika $d = 10$ nm (dobijeno iz TEM merenja) dobija se vrednost $K = 2,9 \cdot 10^5$ erg/cm³.

Ova vrednost je za red veličine veća od vrednosti za hematit visokog kristaliniteta $K = 8 \cdot 10^4 \text{ erg/cm}^3$ (Morrish, 1994), što je posledica površinskih efekata kod nanočestičnih materijala. Koristeći vrednost dobijenu za T_0 , može se izračunati vrednost parametra $C_2 = (T_B - T_0)/T_B$, na osnovu koje se takođe može izvršiti procena međučestičnih interakcija. Vrednost parametra C_2 iznosi 0,57.

U slučaju neinteragujućih nanočestičnih magnetnih sistema, temperatura razdvajanja ZFC i FC magnetizacionih krivih ($T_{irr} = 300 \text{ K}$) odgovara temperaturi blokiranja najvećih čestica u uzorku i zove se temperatura ireverzibilnosti, dok maksimum ZFC magnetizacione krive ($T_B = 65 \text{ K}$ u ispitivanom uzorku) odgovara temperaturi blokiranja čestica srednje veličine (Zysler, et al, 2004, str. 171–175), (Tadić, et al, 2007, str. 291–296), (Tadić, et al, 2009, str. 12–16), (Tadić, Čitaković, 2010, str. 47–64) (Tadić, Čitaković, 2011, str. 91–105).

Širok maksimum u ZFC magnetizacionoj krivoj koji odgovara T_B i velika razlika $T_{irr} - T_B = 235 \text{ K}$ (slika 5) ukazuju na široku distribuciju čestica po veličinama (Tadić, et al, 2009, str. 12–16), (Tadić, Čitaković, 2010, str. 47–64).

U literaturi je pokazano da međučestične interakcije takođe imaju veliki uticaj na temperature blokiranja i da mogu proizvesti povećanje temperature blokiranja sistema T_B i širenje maksimuma u ZFC magnetizaciji, kao i porast razlike $T_{irr} - T_B$ (Bødker, et al, 2000, str. 32–36).

Na osnovu podataka iz literature poznato je da neinteragujuće nanočestice hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) prosečne veličine $d = 4 \text{ nm}$ imaju temperaturu blokiranja $T_B = 21 \text{ K}$ (Zysler, et al, 2004, str. 171–175), dok je za slučaj jako interagujućih nanočestica hematita prosečne veličine $d = 3 \text{ nm}$ temperatura blokiranja $T_B = 145 \text{ K}$ (Zysler, et al, 2001, str. 5–11).

Ovi primeri potvrđuju izuzetno veliki uticaj međučestičnih interakcija na temperaturu blokiranja T_B . U slučaju slabo interagujućih sistema ovaj efekat nije uočen i za nanočestice prosečne veličine $d = 4 \text{ nm}$ dobijena je temperatura blokiranja $T_B = 19 \text{ K}$ (Tadić, et al, 2007, str. 291–296).

Efekat povećanja razlike $T_{irr} - T_B$ takođe je direktno povezan sa međučestičnim interakcijama, što je eksperimentalno potvrđeno (Bødker, et al, 2000, str. 32–36). Prema tome, magnetne karakteristike ispitivanog nanokompozita $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, kao što su širok maksimum u ZFC magnetizaciji, visoke vrednosti temperature blokiranja $T_B = 65 \text{ K}$ i temperature ireverzibilnosti $T_{irr} = 300 \text{ K}$, kao i njihova velika razlika $T_{irr} - T_B = 235 \text{ K}$ posledica su kompleksne kombinacije individualnih blokirajućih fenomena čestica i međučestičnih interakcija. Vrednosti empirijskih parametara $C_1 = 0,55$ i $C_2 = 0,057$ znatno su manje od vrednosti dobijenih za neinteragujuće nanočestične sisteme ($C_1 = 0,1 - 0,13$ i $C_2 = 1$), tako da je prisustvo međučestičnih interakcija potvrđeno za ispitivani uzorak (Mydosh, 1993, str. 45–118), (Dormann, et al, 1997, str. 283–494). Dobijene vrednosti empirijskih parametara su manje i od vrednosti koje su dobijene za slabo interagujući sistem koje iznose $C_1 = 0,08$ i $C_2 = 0,82$ (Tadić, et al, 2007, str. 291–296), što ukazuje na jače

međučestične interakcije između nanočestica ispitivanog uzorka. U poređenju sa spin-glas sistemima ($C_1 = 0,005 - 0,05$ i $C_2 = 0,07 - 0,5$) ovi parametri su veći, što isključuje spin-glas stanje u ispitivanom uzorku (Mydosh, 1993, str. 45–118), (Goya, Sagredo, 2001, str. 235–241).

U jako interagujućim sistemima dobijene su vrednosti empirijskog parametra C_1 oko 0,1, što je znatno manje od dobijenih vrednosti u ispitivanom sistemu (Dormann, et al, 1997, str. 283–494.). Sužavanje histerezisne petlje pri slabim magnetnim poljima (slika 6) primećeno je kod sistema sa jakim interakcijama, i ovaj efekat je objašnjen kao kolektivno zamrzavanje spinova na površini nanočestica (Zysler, et al, 2001, str. 5–11).

Konstantan rast magnetizacije sa opadanjem temperature i nepojavljivanje platoa i/ili pika u FC magnetizaciji izdvaja magnetne karakteristike ispitivanog sistema od jako interagujućih sistema i pokazuje da ispitivani sistem ne spada u grupu jako interagujućih sistema (Zysler, et al 2001, str. 5–11), (Xu, et al, 2005, str. 36–38).

U tabeli 1 uporedo su date vrednosti dobijene za ispitivani uzorak sa vrednostima dobijenim u drugim sistemima sa nanočestičnim hematitom. Uočeno je da na vrednost T_B veliki uticaj imaju veličina čestica i interakcije između čestica (tabela 1). Takođe, primećena je zavisnost T_M , m_p , i K od veličine čestica.

Tabela 1 – Pregled magnetnih parametara za neke nanočestične sisteme sa nanočesticama hematita

Table 1 – Review of magnetic properties for some nanoparticle systems with hematite nanoparticles

Uzorak	Veličina čestica (nm)	T_B (K)	T_M (K)	m_p (μ_B)	K (erg/cm)	Interakcija čestica	Ref.
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ u polimernoj matrici	$d \approx 5$	≈ 22	Nema	≈ 80	$8 \cdot 10^5$	Ne	Zysler, Vasquez Mansil, Fiorani (2004)
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanožice	$d \approx 10-20$ $\approx 10-20 \mu m$	≈ 120	< 4	-	-	Da	Xu, Rui, Fu, Zhang (2005)
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ u alumini	$d \approx 3$	≈ 145	< 5	≈ 40	-	Da	Zysler, Fiorani, Testa (2001)
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -bez odgreivanja -odgrevan	$d \approx 40$	≈ 390	177	≈ 13200	$1,1 \cdot 10^5$	Da	Artman, Murphy, Foner (1965)
	$d \approx 40$	≈ 845	205	≈ 11500	$2,6 \cdot 10^5$	Da	
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ u SiO_2 matrici	$d \approx 4$	≈ 19	Nema	≈ 120	$1,6 \cdot 10^6$	Da	Tadić, Marković et al (2007)
$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ u SiO_2 matrici	$d \approx 10$	≈ 65	Nema	≈ 570	$2,9 \cdot 10^5$	Da	Ovaj rad

Zaključak

Cilj rada bio je istraživanje magnetnih karakteristika nanočestičnog feri-oksida $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematita), u amorfnoj matrici silicijum-dioksida, tj. nanokompozitnog feri-oksida.

Ispitivani uzorak nanokompozitnog feri-oksida dobijen je sol-gel metodom. Kristalna faza uzorka određena je pomoću difrakcije elektrona i X-zraka. Na osnovu TEM snimaka utvrđena je veličina čestica, koja iznosi oko 10 nm (široka distribucija čestica po veličini).

Ispitivanja magnetnih osobina uzorka obuhvatila su merenja DC magnetizacije i AC susceptibilnosti u opsegu temperatura od 2 K do 300 K i magnetnih polja od -5 T do 5 T. Merenja su urađena na SQUID magnetometru. Cilj je bio da se pokaže da je sol-gel metoda pogodna za sintezu nanočestičnog hematita, zatim da se opiše nanočestično ponašanje ispitivanog uzorka, da se utvrdi postojanje i uticaj međučestičnih interakcija na magnetne karakteristike, kao i uticaj širine distribucije nanočestica na njih, da se uporede magnetne karakteristike i ukaže na velike mogućnosti za primenu ispitivanog nanočestičnog feri-oksida.

Kao kod svih superparamagnetnih materijala, nanočestični hematit pokazuje da magnetizacija uzorka zavisi od magnetne istorije, tj. merenja temperature zavisnosti magnetizacije pri nekom konstantnom magnetnom polju, te da daju različite rezultate za uzorak ohlađen bez polja i za uzorak ohlađen u magnetnom polju. Uočeno je pojavljivanje maksimuma u ZFC magnetizacionoj krivoj, koji odgovara temperaturi blokiranja. Ona iznosi 65 K (širok maksimum odgovara širokoj distribuciji nanočestica po veličini). Dobijene vrednosti iz magnetnih merenja potpuno se slažu sa rezultatima dobijenim pomoću TEM merenja (veličina čestica i distribucija po veličini čestica). Takođe, pokazano je postojanje histerezisne petlje ispod temperatura blokiranja T_B , kao i odsustvo iznad temperatura ireverzibilnosti T_{irr} , što je karakteristika superparamagnetnih materijala. Na osnovu ovih rezultata možemo zaključiti da uzorak nanočestičnog hematita ima tipične karakteristike nanočestičnih magnetnih materijala. Urađena su i merenja AC susceptibilnosti, koja su pokazala da položaj maksimuma u $\chi'(T)$, zavisi od frekvencije primenjenog magnetnog polja ω . Primenom Arrhenius-ovog i Vogel-Fulcher-ovog zakona dobijene su vrednosti parametara koje odgovaraju srednje interagujućim nanočestičnim sistemima. Vrednost saturacione magnetizacije iznosi 3,5 emu/g.

Na osnovu rezultata (transmisione elektronske mikroskopije, difrakcije X-zraka i magnetnih merenja) pokazano je da je dobijen kvalitetni nanočestični uzorak i da je sol-gel metoda izuzetno pogodna za sintezu nanočestičnog feri-oksida, hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$).

Literatura

- Artman, J.O., Murphy, J.C., & Foner, S. 1965. *Phys. Rev. A*, 138, str. 912-917.
- Atwater, J.E., Akse, J.R., & Holtsnider, J.T. 2008. *Mater. Letters*, 62, str. 3131-3134.
- Bødker, F., Hansen, M.F., Koch, B.C., & Mørup, S. 2000. *J. Magn. Magn. Mater.*, 221, str. 32-36.
- Caizer, C. 2008. *J. Magn. Magn. Mater.*, 320, str. 1056-1062.
- Dormann, J.L., Bessais, L., & Fiorani, D. 1988. *J. Phys. C*, 21(10), str. 2015-2034. doi:10.1088/0022-3719/21/10/019.
- Dormann, J.L., Fiorani, D., & Tronc, E. 1997. Magnetic relaxation in fine-particle systems. *Adv. Chem. Phys.*, 98, str. 283-494. doi: 10.1002/9780470141571.ch4.
- Fernandez, C.J., Sangregorio, C., Innocenti, C., Mattei, G., & Mazzoldi, P. 2008. *Inorg. Chim. Acta*, 361, str. 4138-4142.
- Goya, G.F., & Sagredo, V. 2001. *Phys. Rev. B*, 64, str. 235-241.
- Morrish, A.H. 1994. *Canted antiferromagnetism: Hematite*. Singapore: World Scientific.
- Mydosh, J.A. 1993. *Spin glasses: An experimental introduction*. London: Taylor & Francis., str. 45-118.
- Neel, L. 1949. *Ann. Geophys.*, 5, str. 99-136.
- Shtrikman, S., & Wolfart, E.P. 1981. *Physics Letters A*, 85(8-9), str. 467-470. doi:10.1016/0375-9601(81)90441-2.
- Tadić, M., Kusigerski, V., Marković, D., Milošević, I., & Spasojević, V. 2009. *J. Magn. Magn. Mater.*, 321, str. 12-16.
- Tadić, M.M., Marković, D.S., Spasojević, V.V., Kusigerski, V.B., Remskar, M., Pirnat, J., & Jagličić, Z. 2007. Synthesis and magnetic properties of concentrated alpha-Fe₂O₃ nanoparticles in a silica matrix. *Journal of Alloys and Compounds*, 441 (1-2), str. 291-296. doi:10.1016/j.jallcom.2006.09.099.
- Tadić, M.M., & Čitaković, N.M. 2010. Sol-gel sinteza i magnetne osobine nanočestičnog hematita. *Vojnotehnički glasnik*, 58(3), str. 47-64. Preuzeto sa <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0042-84>.
- Tadić, M.M., & Čitaković, N.M. 2011. Mehanochemijska sinteza i magnetne osobine nanočestičnog maghemita. *Vojnotehnički glasnik*, 59(3), str. 91-105. Preuzeto sa <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0042-84>.
- Xu, Y.Y., Rui, X.F., Fu, Y.Y., & Zhang, H. 2005. *Chemical Physics Letters*, 410(1-3), str. 36-38. doi:10.1016/j.cplett.2005.04.090.
- Zboril, R., Mashlan, M., & Petridis, D. 2002. *Chem. Mater.*, 14, str. 969-982.
- Zhongquan, M., Dihu, C., & Zhenhui, H. 2008. *J. Magn. Magn. Mater.*, 32, str. 2335-2338.
- Zysler, R.D., Fiorani, D., & Testa, A.M. 2001. *J. Magn. Magn. Mater.*, 224(1), str. 5-11. doi:10.1016/S0304-8853(00)01328-7.
- Zysler, R.D., Vasquez, M.M., & Fiorani, D. 2004. *Eur. Phys. J. B*, 41(2), str. 171-175. doi:10.1140/epjb/e2004-00306-7.

SYNTHESIS, DIFFRACTION EXPERIMENTS, TRANSMISSION
ELECTRON MICROSCOPY AND MAGNETIC PROPERTIES
OF α -Fe₂O₃/SiO₂ NANOCOMPOSITE SAMPLE

FIELD: Materials, Physics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

The sol-gel method was successfully utilized for the synthesis of the highly concentrated α -Fe₂O₃/SiO₂ nanocomposite containing 45 wt% of hematite. TEM micrograph showed that spherical particles of 10 nm average size were evenly dissolved in glassy silica matrix. Both DC magnetization and AC susceptibility measurements indicated superparamagnetic behaviour of the system with the blocking temperature $T_B \approx 65$ K. Magnetization vs. field data at 300 K was successfully fitted to a weighted Langevin's curve for superparamagnetic system and the particle size obtained from this fit was in excellent agreement with the TEM results. Several features evinced in the magnetic data pointed to the presence of non-negligible magnetic interaction between hematite nanoparticles: the weak field dependence of the magnetization as a function of temperature, narrowing of the hysteresis loop at low applied field below T_B , and high value of T_B for hematite nanoparticles of 10 nm in size. On the other hand, features like continuous increase of the ZFC magnetization with decreasing temperature and the absence of a plateau or a peak in the FC branch showed that no strong magnetic interactions were present in the system. The AC susceptibility study showed that the Vogel-Fulcher model for single-domain inter-acting particles was applicable, while the empirical parameters $C_1 = 0,055$ and $C_2 = 0,57$ that lie between values for strongly interacting systems and non-interacting systems obtained have pointed to the presence of the interactions of intermediate strength. On the basis of the above listed results, we can conclude that the system under consideration consists of interacting single-domain hematite nanoparticles with magnetic properties that are located between weakly and strongly interacting systems.

Key words: *superparamagnetism, blocking temperature, transmission electron microscopy (TEM), sol-gel synthesis, hematite nanoparticles.*

Datum prijema članka/Paper received on: 29. 08. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 08. 10. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 12. 10. 2013.

ANALIZA I TUMAČENJE MODELA FARADEJEVOG KAVEZA ZA ISPITIVANJE ELEKTROMAGNETSKE KOMPATIBILNOSTI

Nenad V. Munić ^{a,b}, Aleksandar M. Kovačević ^b

^a Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu,

^b Vojska Srbije, Tehnički opitni centar, Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-3980

OBLAST: telekomunikacije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti sredstava i sistema naoružanja i vojne opreme za potrebe Vojske Srbije, prema vojnim standardima SORS 1029/89 i SORS 1762/89, obavljaju se u Faradejevom kavezu. Faradejev kavez, usled reflektujućih zidova, poda i plafona, ima niz parazitnih rezonancija. U cilju unapređenja ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti, izvršeno je numeričko modelovanje kompletnog Faradejevog kaveza. Upoređivanjem rezultata simulacija i eksperimenata, detektovane su razne nesavršenosti kaveza i uključene u model.

Ključne reči: *elektromagnetska kompatibilnost; Faradejev kavez; ekranizovan prostor; simulacija; rezonantne šupljine.*

Uvod

Ispitivanja elektromagnetske kompatibilnosti sredstava i sistema naoružanja i vojne opreme (sredstva i sistemi NVO) za potrebe Vojske Srbije, prema vojnim standardima SORS 1029/89 (Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989a) i SORS 1762/89 (Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989b), obavljaju se u Faradejevom kavezu (ekranizovan prostor). Faradejev kavez je prostorija sa zidovima, podom i plafonom od metalne mreže ili lima, namenjena za elektromagnetsko razdvajanje ispitnog prostora od okoline (Savezni zavod za standardizaciju, 1997). Pri tome, Faradejev kavez ne predstavlja idealan prostor za ispitivanje jer ima nesavršene spojeve. Naime, da bi se Faradejev kavez mogao koristiti, potrebno je da ima određen broj otvora, i to: za pristup radnog osoblja, za napajanje električnom energijom, za komunikacione priključke, za ventilaciju itd. Takođe, pri realizaciji Faradejevog kaveza veoma su bitni upotrebljeni materijali (Keiser, 2005). Tako, za statička i spo-

ropromenljiva magnetska polja primenjuju se materijali koji imaju veliku magnetsku permeabilnost, dok se za visoke frekvencije koriste materijali sa velikom specifičnom provodnošću.

Poznato je u literaturi (Bronaugh, Lambdin, 1988), (Camell, Koepke, Rakoski, Smith, 1996) da na rezultate ispitivanja u ekranizovanim prostorijama utiču refleksije od zidova, koje zavise od tipa, položaja i frekvencije izvora, kao i od provodnosti i permeabilnosti zidova kaveza, a ne zavisi od debljine zidova (Keiser, 2005). Refleksije od zidova dovode do rezonancija kaveza, koje značajno utiču na rezultate ispitivanja uređaja, jer značajno menjaju strukturu polja. Pri tome, rezonantne učestanosti su specifične za svaki kavez, ali zavise i od konkretnog sredstva koje se ispituje u kavezu.

U cilju unapređenja rada Laboratorije za elektromagnetsku kompatibilnost u Tehničkom opitnom centru (TOC-u) (<http://www.toc.vs.rs>), pristupilo se ispitivanjima uticaja Faradejevog kaveza na rezultate merenja (Đorđević, et al, 2011, pp.965-968) (Đorđević, et al, 2012, pp.1115-1118). Osnovni cilj ovih ispitivanja je simulacija polja u kavezu, posebno u okolini rezonantnih učestanosti, kako bi se mogli predvideti rezultati merenja sredstava NVO u elektromagnetski gluvoj sobi ili bilo u kom drugom okruženju. Simulacioni (računarski) modeli kaveza su razvijani u programu Wipl-D (<http://www.wipl-d.com>), u iteracijama, poredeći numeričke rezultate sa merenjima, s obzirom na to da se naišlo na niz teškoća zbog složene konstrukcije i nesavršenosti kaveza.

Predmet ovog rada je prikaz tih simulacionih modela, kao i odgovarajućih rezultata proračuna i merenja.

Konstrukcija kaveza

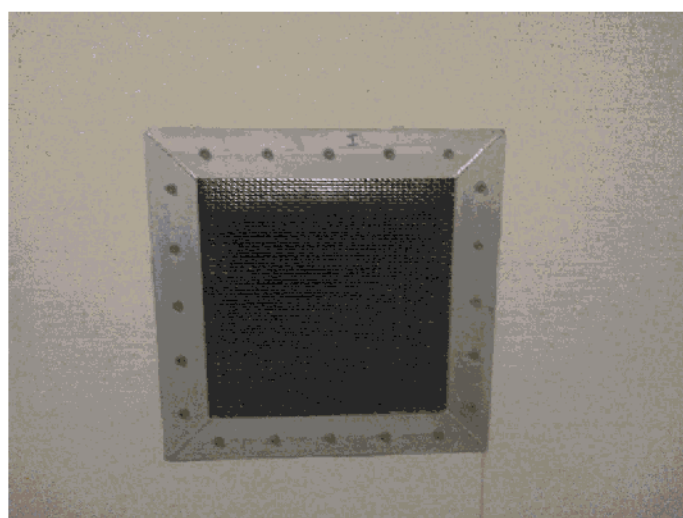
Kavez koji se koristi u TOC-u napravljen je pre oko tri decenije. Kavez je montažno-demontažnog tipa. Sastavljen je od sendvič-panela (drvenih ploča obloženih pocinkovanim limom), dimenzija 1,25 m x 2,5 m. Osnova kaveza je kvadratna. Unutrašnje dimenzije osnove su 3,76 m x 3,76 m, a visina kaveza je 2,5 m.

Plafon kaveza je spušten, kako bi se vizuelno sakrile instalacije za osvetljenje. Spušteni plafon se sastoji od plastificiranih aluminijumskih profila (lamperije), koji idu celom dužinom kaveza (slika 1a). Lamperija je labavo prikačena na horizontalne gvozdene nosače. Nosači su različitih dužina, a zavrtnjima su obešeni o plafon kaveza.

Na kavezu postoje četiri ventilaciona otvora (dva otvora na plafonu i dva na jednom zidu). Ventilacioni otvori su urađeni u obliku talasovodnog saća (slika 1b). Kavez u jednom uglu ima jednokrilna vrata (slika 2), sa kontaktnim oprugama od feder-bronze.



a)



b)

Slika 1 – Elementi Faradejevog kaveza: a) lamperija, b) ventilacioni otvor
Figure 1 – Elements of a Faraday cage: a) strips, b) ventilation opening

Prilikom merenja, u kavezu se može nalaziti sto obložen uzemljenim limovima, antena, ispitivani uređaj i druga oprema. Međutim, u svim situacijama prikazanim u ovom radu, kavez je bio prazan, osim što se u njemu nalazila samo jedna monopol-antena (slika 2), priključena na konektorsko polje kaveza (priključno polje).



Slika 2 – Položaj horizontalne monopol-antene u Faradejevom kavezu
Figure 2 – Position of a horizontal monopole antenna in a Faraday cage

Gubici ploča kaveza

Pri učestanostima reda veličine nekoliko desetina megaherca, u potpunosti je izražen površinski efekat u limovima od kojih je kavez sačinjen. Međutim, debljina sloja cinka je relativno mala (nekoliko mikrometara), tako da i u gvožđu postoje značajni gubici. Za modelovanje ovih gubitaka, usvojeno je da specifična provodnost zidova, podova i plafona kaveza bude $\sigma = 10 \text{ MS/m}$, kao i da je provodnik magnetski materijal, relativne permeabilnosti $\mu_r = 100$, što odgovara permeabilnosti gvožđa za male signale. Ti podaci su posredno provereni na sledeći način. Paralelno zidu kaveza postavljena je žica, koja sa zidom obrazuje vod. Vod je na jednom kraju vezan na analizator mreža, a otvoren na drugom kraju. Izmeren je ulazni koeficijent refleksije voda, pa su, simulacijama u programu Microwave Office (<http://www.awrcorp.com>), gubici podešavani tako da se dobije poklapanje proračuna sa rezultatima eksperimenta.

Gubici sastava ploča kaveza

Otkrivanje neispravnih sastava rađeno je pomoću uređaja za detekciju diskontinuiteta oklopa Faradejevog kaveza EATON-3500. Princip merenja je zasnovan na generisanju jake struje učestanosti od 106 kHz koja se, preko elektroda, injektuje u kavez sa spoljašnje strane (Eaton Corporation Electronic Instrumentation Division, 1988). Pomoću magnetske sonde, u

unutrašnjosti kaveza se detektuje magnetsko polje, koje je izrazito jako na mestima loših sastava. Dominantna mesta gubitaka nalaze se na sastavima poda i zida, kao i na sastavima ventilacionih otvora sa zidovima.

U programu Wipl-D, gubici na lošim spojevima modelovani su uzanim pločama (trakama), postavljenim duž spojeva. Pri tome, menjana je specifična provodnost materijala od koga su te trake sačinjene. Probanjem je ustanovljeno da se najbolje slaganje sa eksperimentom dobija ako se usvoji da je specifična provodnost tih traka veoma mala, reda veličine $\sigma = 1 \mu\text{S/m}$ i manja. To odgovara potpunom gubitku kontakta, odnosno situaciji kada su u modelu trake potpuno izbačene.

Rezonancije kaveza

Prazan kavez je, praktično, rezonantna šupljina nastala pregrađivanjem pravougaonog talasovoda. Ako se Dekartov koordinatni sistem postavi kao na slici 3, teorijske rezonantne učestanosti ove šupljine (Đorđević, Tošić, 2006), u opsegu frekvencija do 110 MHz, date su u tabeli 1.

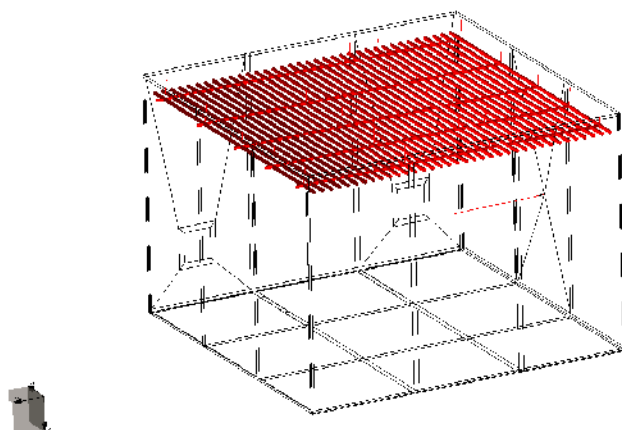
Tabela 1 – Teorijske rezonantne učestanosti kaveza
Table 1 – Teoretical resonant frequencies of a cage

<i>Mod</i>	<i>f [MHz]</i>
TE ₁₁₀	56,42
TE ₁₀₁ , TE ₀₁₁	72,05
TE ₁₁₁	82,35
TE ₂₁₀ , TE ₁₂₀	89,20
TE ₂₀₁ , TE ₀₂₁	99,82
TE ₁₂₁ , TE ₂₁₁	107,51

U okolini rezonancija, kavez svojim prisustvom znatno utiče na rezultate ispitivanja uređaja jer drastično menja strukturu polja i unosi gubitke.

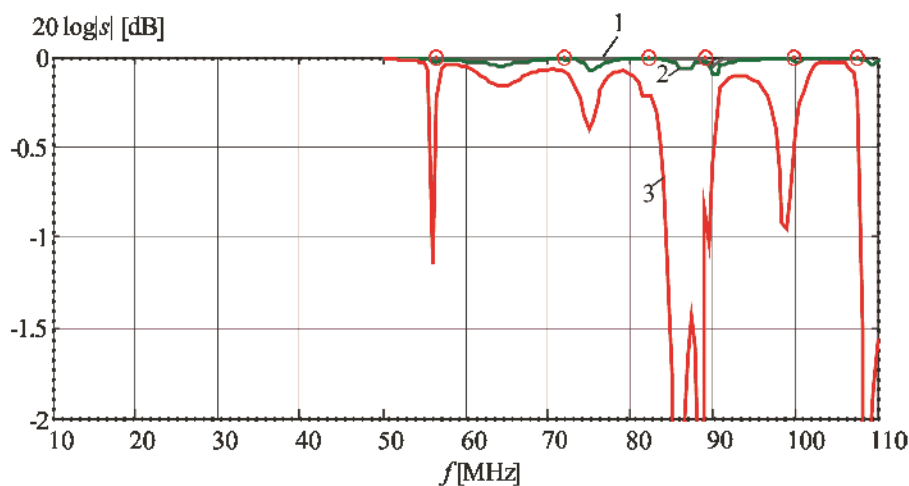
Na zidu kaveza nalazi se koso postavljena monopol-antena dužine 1,014 m. Na slici 4 prikazani su rezultati simulacije za koeficijent refleksije tog monopola. Procenjeni gubici su sukcesivno uključivani u model kaveza. Pretpostavljeno je da su zidovi kaveza sačinjeni od homogenog materijala.

Kada se u modelu zanemare gubici, ulazna impedansa antene je čisto reaktivna (kriva 1), pa je $|s_{11}| = 1$ (0 dB). Kada postoje gubici usled površinskog efekta, tada je $|s_{11}| < 1$, pa se u dijagramu na slici 4 vide jasno izražene rezonancije (kriva 2), čiji se položaji relativno dobro poklapaju sa rezonantnim učestanostima iz tabele 1 (koje su označene tačkama na apscisi).



Slika 3 – Početni model Faradejevog kaveza i horizontalne monopol-antene (u programu Wipl-D)
Figure 3 – Initial model of a Faraday cage and a horizontal monopole antenna (in the Wipl-D program)

Modelovanjem procepa, rezonancije (koje se vide u modulu koeficijenta refleksije monopola) postaju izraženije (kriva 3 na slici 4). Osim toga, dolazi do izvesnog pomeranja rezonantnih učestanosti, što znači da procepi utiču i na gubitke, i na strukturu rezonantnog polja.



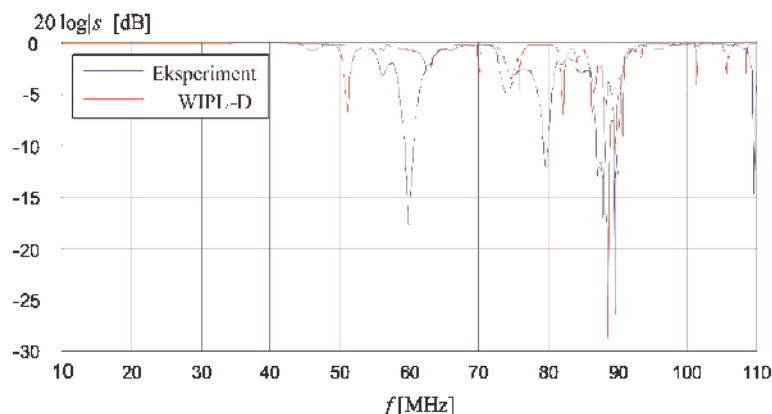
Slika 4 – Modul koeficijenta refleksije monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez bez gubitaka (kriva 1), sa gubicima usled površinskog efekta (kriva 2) i sa gubicima usled površinskog efekta i procepima (kriva 3)
Figure 4 – Module of the reflection coefficient of the monopole antenna in the cage, as a function of frequency, for a cage without losses (curve 1), with losses due to the skin effect (curve 2) and with losses due to the skin effect and gaps (curve 3)

Model kaveza

Početni model kaveza

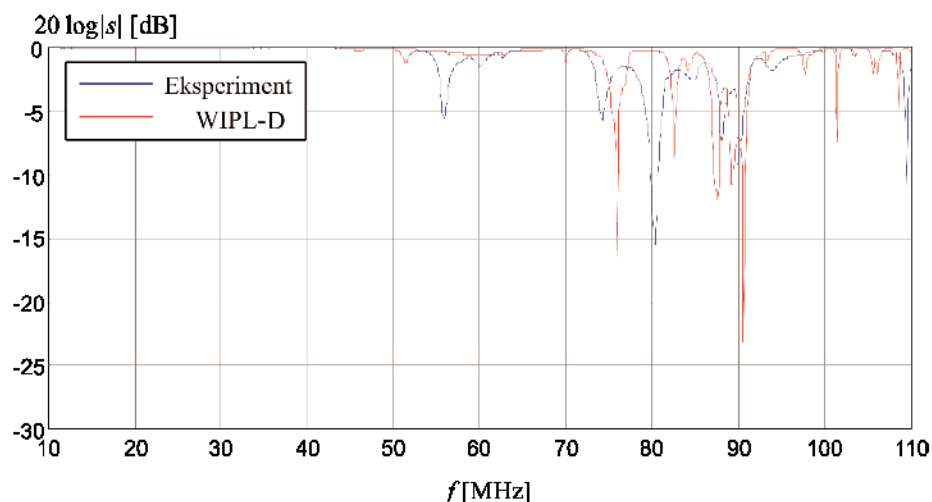
Na osnovu obavljenih ispitivanja (Đorđević, et al, 2011, pp.965-968), početni simulacioni model kaveza u programu Wipl-D sastoji se od ploča sa gubicima (slika 3). U model su uključeni ventilacioni otvori na zidu, kao i gubici zbog loših sastava ploča (modelovanjem sastava uzanim trakama specifične provodnosti $1 \mu\text{S/m}$). Aluminijski profili (lamperija), nosači i zavrtnji modelovani su žičanim provodnicima.

Na slikama 5 i 6 prikazani su rezultati simulacija i merenja koeficijenta refleksije koso i horizontalno postavljenog monopola, respektivno (Đorđević, et al, 2011, pp.965-968). Na slikama se može videti da se eksperimentalni rezultati kvalitativno poklapaju sa rezultatima simulacije u programu Wipl-D, ali da kvantitativno slaganje nije svuda najbolje. Naime, eksperimentalni rezultati pokazuju izraženije rezonancije, kao da su gubici drastično veći, a veći je i broj rezonantnih učestanosti. Glavni uzrok povećanih gubitaka i dodatnih rezonancija je lamperija koja u simulacionim modelima nije adekvatno predstavljena. U realnosti, aluminijski profili su u obliku ploča koje su na krajevima povijene ka unutrašnjosti. U početnom modelu takvi profili su aproksimirani žičanim provodnicima. Detaljnije modelovanje lamperije zahtevalo bi upotrebu velikog broja spojeva žica i ploča (veza nosača lamperije i lamperije), što bi usložnjavalo model i drastično povećalo broj upotrebljenih nepoznatih, kao i vreme potrebno za izvršenje simulacije. Osim toga, za svaki nosač bilo bi potrebno eksperimentalno proveriti kvalitet kontakta sa kavezom, a za svaku aluminijsku ploču proveriti da li, eventualno, postoji galvanski kontakt sa nosačima i gde je kontakt lociran, što bi zahtevalo obimna ispitivanja.



Slika 5 – Modul koeficijenta refleksije kose monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez sa lamperijom

Figure 5 – Module of the reflection coefficient of the inclined monopole antenna in the cage, as a function of frequency for the cage with strips



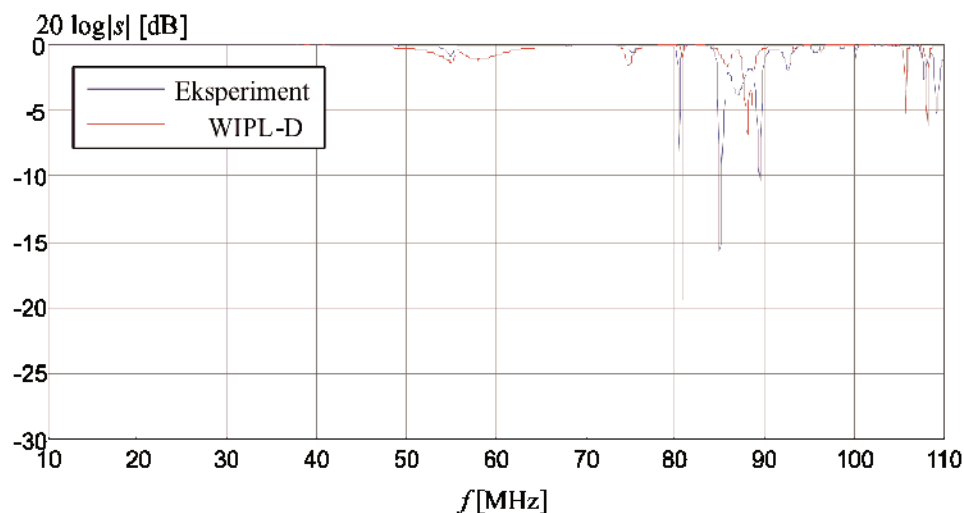
Slika 6 – Modul koeficijenta refleksije horizontalne monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez sa lamperijom

Figure 6 – Module the reflection coefficient of the horizontal monopole antenna in the cage, as a function of frequency for the cage with strips

Uprošćeni model kaveza

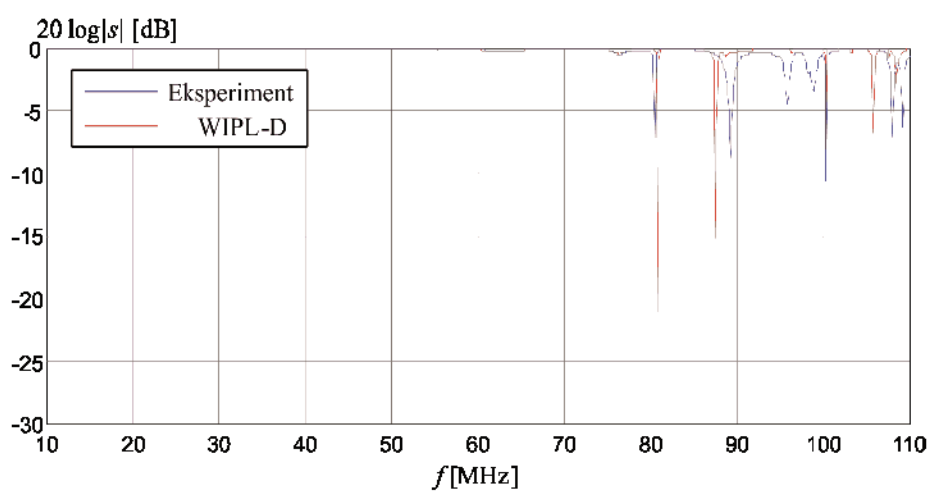
U cilju dobijanja jednostavnijeg, ali pouzdanijeg simulacionog modela, odnosno da bi se ostvarilo bolje predviđanje osobina kaveza, aluminijski profili su skinuti sa nosača. U kavezu su ostali samo nosači lamperije i zavrtnji kojima su oni obešeni o plafon.

Rezultati merenja i odgovarajućeg simulacionog modela su dati na slikama 7 i 8. Na tim slikama se može uočiti izostanak većine parazitnih rezonancija koje postoje na slikama 5 i 6. Takođe, gubici kaveza su znatno manji, posebno na rezonantnim učestanostima kaveza. Na pojedinim frekvencijama, na primer u opsegu od 90 MHz do 100 MHz, u merenjima se javljaju parazitne rezonancije, koje u rezultatima simulacije ne postoje. Analizirajući model kaveza, primećuje se da, slično početnom modelu, aproksimacija nosača lamperije odgovarajućim žičanim provodnicima ne odgovara realnom obliku profila nosača, koji liči na ćirilčno slovo „П“. Preciznije modelovanje nosača lamperije provodnim pločama značajno bi usložnjavalo model usled velikog broja spojeva provodnih ploča (spojevi nosača lamperije i zavrtnja kojima su oni obešeni o plafon), što bi povećalo vreme potrebno za izvršenje simulacije. Osim toga, i dalje ostaje otvoreno pitanje kvaliteta kontakata između nosača i plafona kaveza.



Slika 7 – Modul koeficijenta refleksije kose monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez bez lamperije

Figure 7 – Module of the reflection coefficient of the inclined monopole antenna in the cage as a function of frequency for the cage without strips



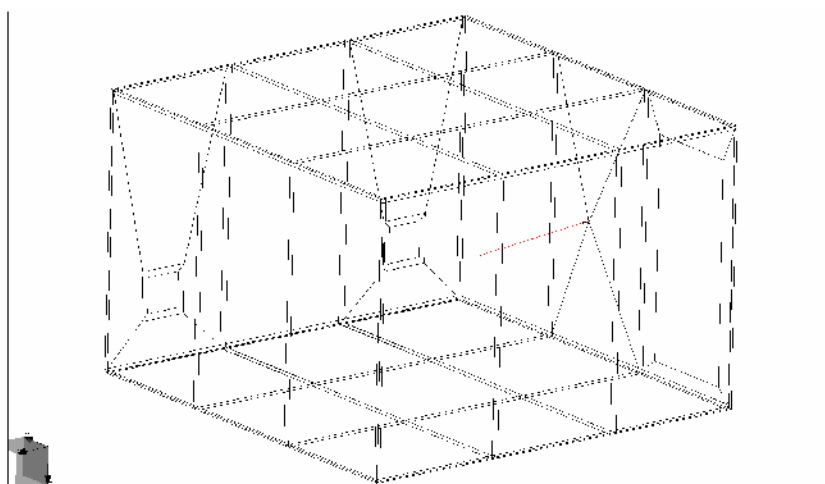
Slika 8 – Modul koeficijenta refleksije horizontalne monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez bez lamperije

Figure 8 – Module of the reflection coefficient of the horizontal monopole antenna in the cage as a function of frequency for the cage without strips

Konačni model kaveza

Da bi se izbegla neodređenost koju unose nosači lamperije, iz kaveza su uklonjeni i ti nosači, kao i zavrtnji. Takav kavez praktično ima oblik paralelopipeda čije rezonantne učestanosti možemo teorijski proračunati (Đorđević, Tošić, 2006). Konačni model kaveza realizovan u programu Wipl-D je prikazan na slici 9.

Rezultati simulacije u programu Wipl-D i eksperimentalni rezultati prikazani su na slikama 10 i 11. Na osnovu slika se može uočiti veoma dobro poklapanje rezultata simulacije i eksperimenta, ne samo kvalitativno, već i kvantitativno.



Slika 9 – Konačni model kaveza sa horizontalnom monopol-antenom u kavezu (u programu Wipl-D)

Figure 9 – Final model of the cage with the horizontal monopole antenna in the cage (in the Wipl-D program)

U tabelama 1 i 2 date su teorijske rezonantne učestanosti kaveza, kao i rezonantne učestanosti dobijene merenjem (eksperimentalno) i simulacijom. U rezultatima merenja i simulacija se ne vidi rezonancija TE_{111} kada je antena horizontalna, jer je sprega između antene i rezonantnog polja slaba. U tabelama su date i relativne razlike između frekvencija. Vidi se da je relativna razlika u odnosu na teorijske učestanosti manja od 1 % za sve modove osim za TE_{101} i TE_{011} , za koje je razlika manja od 5 %. Relativna razlika između rezultata merenja i simulacija je manja od 1 %. Bolje slaganje između rezultata merenja i simulacija nego slaganje sa teorijskim rezonantnim učestanostima može se objasniti lošim kontaktima između ploča. Ti kontakti su modelovani u programu Wipl-D, ali teorijski rezultati važe samo za idealnu rezonantnu šupljinu.

Tabela 2 – Relativna greška rezonantne učestanosti kose monopol-antene za kavez bez lamperije, nosača lamperije i zavrtnja

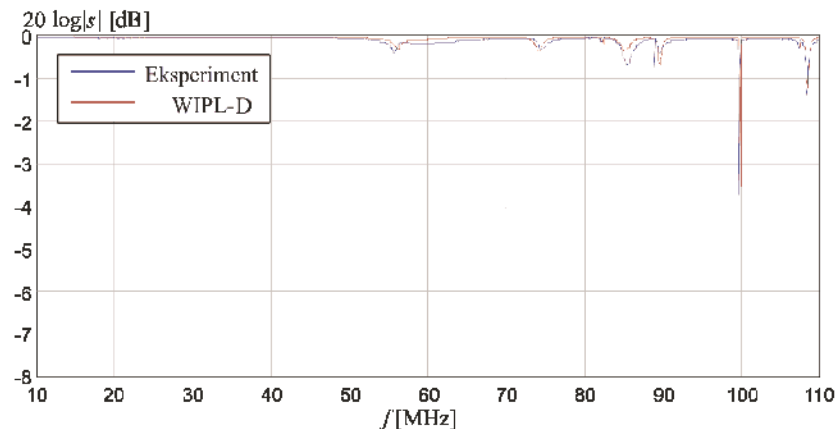
Table 2 – Relative error of resonant frequencies of the inclined monopole antenna for the cage without strips, strip carriers and screws

<i>Mod</i>	<i>f</i> [MHz] <i>Teor.</i>	<i>f</i> [MHz] <i>Eksper.</i>	<i>f</i> [MHz] <i>Wipl-d</i>	δ [%] <i>Teor. /</i> <i>Eksper.</i>	δ [%] <i>Teor. /</i> <i>Wipl-d</i>	δ [%] <i>Eksper. /</i> <i>Wipl-d</i>
TE ₁₁₀	56,42	55,6	56,1	0,57	0,57	0,90
TE ₁₀₁ , TE ₀₁₁	72,05	74,3	74,1	3,12	2,85	0,27
TE ₁₁₁	82,35	82	82,3	0,43	0,06	0,37
TE ₂₁₀ , TE ₁₂₀	89,20	89,6	89,6	0,45	0,45	0,00
TE ₂₀₁ , TE ₀₂₁	99,82	99,6	99,8	0,22	0,02	0,20
TE ₁₂₁ , TE ₂₁₁	107,51	107,3	107,4	0,20	0,10	0,09

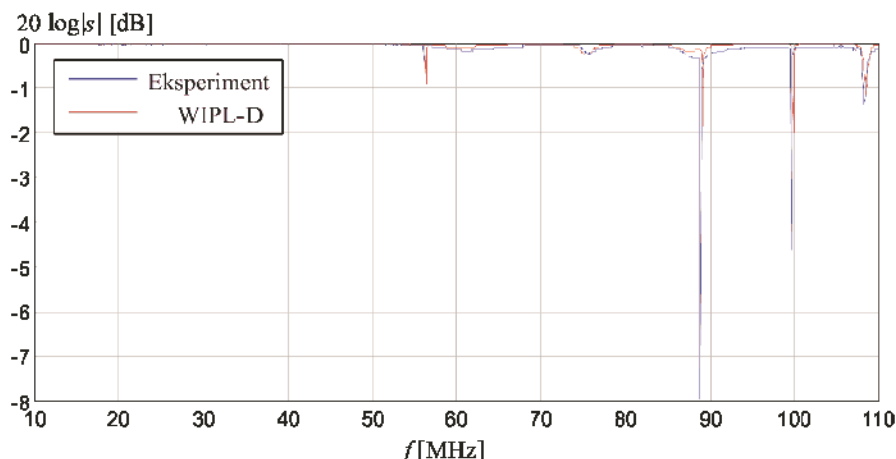
Tabela 3 – Relativna greška rezonantne učestanosti horizontalne monopol-antene za kavez bez lamperije, nosača lamperije i zavrtnja.

Table 3 – Relative error of resonant frequencies of the horizontal monopole antenna for the cage without strips, strip carriers and screws

<i>Mod</i>	<i>f</i> [MHz] <i>Teor.</i>	<i>f</i> [MHz] <i>Eksper.</i>	<i>f</i> [MHz] <i>Wipl-d</i>	δ [%] <i>Teor. /</i> <i>Eksper.</i>	δ [%] <i>Teor. /</i> <i>Wipl-d</i>	δ [%] <i>Eksper. /</i> <i>Wipl-d</i>
TE ₁₁₀	56,42	56,1	56,4	0,04	0,04	0,53
TE ₁₀₁ , TE ₀₁₁	72,05	75,7	75,3	5,07	4,51	0,53
TE ₁₁₁	82,35	/	/	/	/	/
TE ₂₁₀ , TE ₁₂₀	89,20	88,8	89,2	0,45	0,00	0,45
TE ₂₀₁ , TE ₀₂₁	99,82	99,6	99,9	0,22	0,08	0,30
TE ₁₂₁ , TE ₂₁₁	107,51	108,3	108,5	0,73	0,92	0,18



Slika 10 – Modul koeficijenta refleksije kose monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez bez lamperije, nosača lamperije i zavrtnja
Figure 10 – Module of the reflection coefficient of the inclined monopole antenna in the cage as a function of frequency for the cage without strips, strip carriers and screws



Slika 11 – Modul koeficijenta refleksije horizontalne monopol-antene u kavezu, u funkciji učestanosti, za kavez bez lamperije, nosača lamperije i zavrtnja
 Figure 11 – Module of the reflection coefficient of the horizontal monopole antenna in the cage as a function of frequency for the cage without strips, strip carriers and screws

Zaključak

U radu je prikazan razvoj simulacionih modela Faradejevog kaveza. Poboljšanja modela dobijana su poredeći rezultate simulacija i merenja, detektujući, pri tome, uzročnike povećanih gubitaka i parazitnih rezonancija. Uzročnici su uklanjani, jedan po jedan. Konačan model je obuhvatio gubitke usled površinskog efekta u pločama, od kojih je kavez napravljen. Gubici su dobijeni merenjem, a eksperimentalno su detektovana i mesta curenja na sastavima ploča, oko ventilacionih otvora i ulaznih vrata.

Za finalne modele, rezultati simulacija i merenja se dobro slažu kvalitativno i kvantitativno. Naime, rezonancije u rezultatima simulacija imaju iste položaje i iste dubine kao i u rezultatima merenja. Pri tome, relativna razlika između rezultata merenja i simulacija je manja od 1%.

U daljem radu može se očekivati da će biti ostvarljivo da se, na osnovu merenja i simulacija, identifikuju ekvivalentni izvori koji opisuju ispitivani uređaj. To bi omogućilo karakterizaciju ispitivanog uređaja u proizvoljnom elektromagnetskom okruženju, a time obezbedilo i poređenje rezultata dobijenih u različitim laboratorijama.

Literatura

Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989, *Elektromagnetske smetnje, MERENJA, SORS 1762/89*, Beograd, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA.

Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA, 1989, *Elektromagnetske smetnje, ZAHTJEVI, SORS 1029/89*, Beograd, Biro za standardizaciju i metrologiju u JNA.

Bronaugh, E., Lambdin, W., 1988, *Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility: Electromagnetic Interference Test Methodology and Procedures*, Gainesville, VA, Interference Control Technologies, Inc.

Camell, D., Koepke, G., Rakoski, B., Smith, R., 1996, *A standard source method for reducing antenna factor errors in shielded room measurements*, NIST Tech. Note 1382.

Đorđević, A., Kovačević, A., Munić, N., 2011, Modelovanje Faradejevog kaveza za ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, pp.965-968, *Zbornik radova 19. konferencije TELFOR*, Beograd.

Đorđević, A., Kovačević, A., Munić, N., Stevanović, M., 2012, Poboljšano modelovanje Faradejevog kaveza za ispitivanje elektromagnetske kompatibilnosti, pp.1115-1118, *Zbornik radova 20. konferencije TELFOR*, Beograd.

Đorđević, A., Tošić, D., 2006, *Mikrotalasna tehnika*, Beograd, Akademska misao.

Eaton Corporation Electronic Instrumentation Division, 1988, *Eaton 3500 Shielded Enclosure Leak Detection System Operation and Maintenance Manual, Preliminary*, Los Angeles, CA, USA.

Keiser, B., 2005, *Principles of electromagnetic compatibility*, Dedham, MA, USA, Artech House.

Microwave Office 8.00, Applied Wave Research (2008) Preuzeto sa www.awr.com

Savezni zavod za standardizaciju, 1997, *Međunarodni elektrotehnički IEC rečnik sa terminima na srpskom jeziku – elektroenergetika, elektronika i telekomunikacije*, Beograd, Savezni zavod za standardizaciju.

<http://www.toc.rs>

<http://www.wipl-d.com>

ANALYSIS AND INTERPRETATION OF THE MODEL OF A FARADAY CAGE FOR ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY TESTING

FIELD: Telecommunications

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

In accordance with SORS 1029/89 and SORS 1762/89 military standards, electromagnetic compatibility tests of equipment and weapon systems and military equipment of the Serbian Army are carried out in a Faraday cage. A Faraday cage has many parasitic resonances due to the reflective walls, floor, and ceiling. In order to improve electromagnetic compatibility tests, a complete Faraday cage was modeled. Various imperfections of the cage were detected by comparing the results of simulations and experiments, and they were included into the model.

Introduction

In order to improve the work of the Laboratory for Electromagnetic Compatibility Testing in the Technical Test Center (TTC), we investi-

gated the influence of the Faraday cage on measurement results. The primary goal of this study is the simulation of the fields in the cage, especially around resonant frequencies, in order to be able to predict results of measurements of devices under test in the anechoic chamber or in any other environment. We developed simulation (computer) models of the cage step by step, by using the Wipl-D program and by comparing the numerical results with measurements as well as by resolving difficulties due to the complex structure and imperfections of the cage.

The subject of this paper is to present these simulation models and the corresponding results of the computations and measurements.

Construction of the cage

The cage is made of steel plates with the dimensions 1.25 m x 2.5 m. The base of the cage is a square; the footprint interior dimensions are 3.76 m x 3.76 m, and the height is 2.5 m. The cage ceiling is lowered by plasticized aluminum strips. The strips are loosely attached to the carriers which are screwed to the ceiling. The cage has four ventilation openings (two on the ceiling and two on one wall), made of honeycomb waveguide holes. In one corner of the cage, there is a single door with springs made of beryllium bronze.

For frequencies of a few tens of MHz, the skin effect is fully developed in the cage walls. By measuring the input impedance of the wire line parallel to a wall of the cage, we calculated the surface losses of the cage plates.

In addition, we used a magnetic probe to detect shield discontinuities. We generated a strong current at a frequency of 106 kHz outside the cage and measured the magnetic field inside the cage at the places of cage shield discontinuities. In this paper, we showed the influence of these places on the measurement results, especially on the qualitative and quantitative changes of the cage resonant frequencies.

Model of the cage

On the basis of the testing, the initial simulation model of the cage in the Wipl-D program consists of plates with losses, including losses at plate junctions, wall ventilation openings, aluminum profiles, profile carriers, and screws. The analysis showed that this model is not satisfactory.

To obtain a more accurate model of the cage, we need the additional and more precise model of the lowered ceiling. That would complicate the model and require a lot of additional testing.

For obtaining a simpler, but more reliable simulation model, we dismounted the aluminum profiles from the carriers. Thereafter, the agreement between the simulation and the experimental results was better than for the initial model, but still is not good enough, due to the uncertainties caused by the strips carriers and the screws.

Final model of the cage

To avoid the uncertainty due to the strips carriers, we removed the carriers and the screws from the cage. A very good matching of the

simulation and the experimental results was achieved. We showed that the relative difference of the resonant frequencies between simulation and measurement is less than 1%. However, the relative difference of resonant frequency between simulation or measurement and theoretical results is also less than 1%, except for TE_{101} and TE_{011} modes, for which the relative difference is under 5%. We explained the exception by the influence of the places of the cage shield discontinuities on the measurement results.

Conclusion

The results of the simulations and the measurements for the final model show good agreement, both qualitatively and quantitatively. We showed that the resonant frequencies in the simulations and the measurement results have same positions and depths. Also, the relative differences of the resonant frequencies are less than 1 %.

As future work, we will provide a technique for the identification of equivalent sources that represent the device under test. This would enable a characterization of the tested device in an arbitrary electromagnetic environment and allow a comparison of results obtained in different laboratories.

Key words: electromagnetic compatibility; Faraday cage; shielded enclosures; simulation; resonant cavities.

Datum prijema članka/Paper received on: 04. 06. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 10. 10.2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 12. 10. 2013.

SJEDINJAVANJE KOLOR I MONOHROMATSKIH SLIKA UZ ISTICANJE IVICA

Rade M. Pavlović^a, Vladimir S. Petrović^b

^a Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Vojni arhiv, Beograd,

^b University of Manchester, Manchester, United Kingdom

DOI: 10.5937/vojtehg62-2484

OBLAST: digitalna obrada slike

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U ovom radu predložena je nova metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika. Prvo se kolor slika transformiše u laž kolor sistem, a zatim se vrši sjedinjavanje monohromatske slike sa jednim od kanala kolor slike dobijenom laž kolor transformacijom. Inverznom transformacijom u RGB kolor sistem dobija se sjedinjena kolor i monohromatska slika. Sjedinjavanjem novom metodom zadržava se prirodnost i visoka rezolucija kolor slike, dok su informacije iz monohromatske slike jasne i vidljive. Isticanje objekata iz monohromatske slike vrši se tako što se pre sjedinjavanja vrednostima piksela monohromatske slike dodaju vrednosti jačine ivica.

Ključne reči: obrada slike, sjedinjavanje, kodiranje, boja.

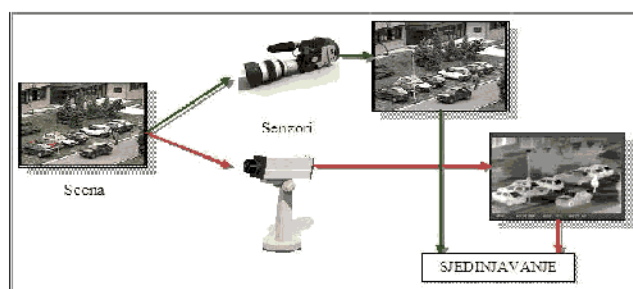
Uvod

Multisenzorski sistemi koriste više različitih senzora koji nadgledaju istu situaciju ili prostor. Na ovaj način daju potpunije i pouzdanije informacije od sistema koji koriste samo jedan ili više senzora istog tipa. Sa druge strane, iako se u sistem unose potpunije informacije o željenom cilju, to ne znači da se one mogu koristiti bez prethodne obrade specifikovane za svaki senzor i bez koordinacije sa informacijama dobijenim iz drugih izvora. Ovaj problem rešava multisenzorsko sjedinjavanje (fuzija) informacija (Petrović, Zrnić, 2001).

Osnovna ideja osmatranja spregom više senzora jeste eliminacija efekata njihovih pojedinih nedostataka, što obezbeđuje uspešno funkcionisanje sistema u svim uslovima. Primenom više senzora zasnovanih na merenju različitih fenomena, kao na primer toplotnog zračenja (infracrveni (IC) senzori) i refleksije svetlosti (kamere u vidnom opsegu), dobija se više realnih informacija o objektima koje posmatramo.

Sjedinjavanje slika dobijenih sa više senzora prevazilazi ograničenja pojedinačnih senzora, kombinujući izvorne slike u kompozitnu sliku. Na

slici 1 prikazan je sistem za multisenzorsko sjedinjavanje slika. Televizijskoj kameri pridodata je termovizijska kamera i slike sa oba senzora se kombinuju u jednu sliku. Ovakav pristup prevazilazi probleme o kojima je govoreno ranije. Dok je televizijska kamera pogodna za rad u dnevnim uslovima, termovizijska kamera se koristi u uslovima slabe osvetljenosti scene.



Slika 1 – Multisenzorsko sjedinjavanje slika
Figure 1 – Multisensor image fusion scheme

Metode za sjedinjavanje

Krajem prošlog veka razvijen je veliki broj metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika, od kojih su najzastupljenije multirezolucione i multiveličinske (Burt, Adelson, 1983), (Petrović, Xydeas, 1999), (Petrović, Xydeas, 2004), (Toet, 1989). Multirezoluciona analiza transformiše signal slike u piramidalnu predstavu sastavljenu od podopsežnih signala opadajuće rezolucije od kojih svaki predstavlja jedan deo originalnog spektra. Veće strukture su u podopsezima nižih, a finiji detalji u podopsezima viših nivoa rezolucije. Sjedinjavanje slika multirezolucionim piramidama daje veću fleksibilnost prilikom izbora informacija za sjedinjenu sliku i negativne efekte loših izbornih odluka pri sjedinjavanju ograničava na samo određene delove spektra. Gausova piramida (Burt, Adelson, 1983) jeste prva multirezoluciona tehnika primenjena u sjedinjavanju slika. U Gausovoj piramidi informacije iz originalne slike izražene su kroz niz sve grubljih niskopropusnih (NP) aproksimacija originalne slike. Ove aproksimacije dobijaju se iterativnom NP filtracijom gausovskim prozorom, praćenim decimacijom sa faktorom 2.

Multiveličinske tehnike sjedinjavanja slika srodne su multirezolucionim. Multiveličinske predstave slika predstavljaju nizove slika podjednake veličine, od kojih svaka sadrži samo deo originalnog spektra (Petrović, Xydeas, 1999). Praktično, u multiveličinskoj analizi nema decimacije signala koja je kritična u procesu multirezolucione analize. Redosled operacija nad slikama je isti za obe tehnike: analiza–sjedinjavanje–sinteza.

Međutim, ako uzmemo u obzir činjenicu da ljudsko oko može da razlikuje najviše 100 nivoa sivog, rezultati dobijeni sjedinjavanjem monohromatskih slika mogu da budu veoma teški za interpretaciju, a samim tim može doći i do smanjenja efekta sjedinjavanja. Pošto ljudi mogu da razlikuju nekoliko hiljada boja definisanih kao promena intenziteta, zasićenja i osvetljenosti, došlo je do razvoja algoritama za kolor mapiranje i razlikuju se dve grupe metoda (Toet, 2003b). Prvu grupu čine metode zvane „false color“ koje preslikavaju karakteristike prirodne kolor slike koja se naziva referentna u kolor sliku dobijenu iz monohromatskih (Hogervorst, Toet, 2007), (Hogervorst, Toet, 2010), (Shiming, et al., 2007), (Toet, 2003a), (Toet, 2003b), (Toet, Hogervorst, 2009), (Yhang, et al., 2009). Rezultat sjedinjavanja i bojenja zavisi od izbora kolor referentne slike i metode za mapiranje ulaznih monohromatskih slika u kolor sliku. Od referentne slike zavisi raspored boja na sjedinjenoj slici i potrebno je izabrati sliku koja je najpribližnija posmatranoj situaciji. Pored toga, algoritmi su vremenski zavisni i dovode u pitanje realizaciju u realnom vremenu.

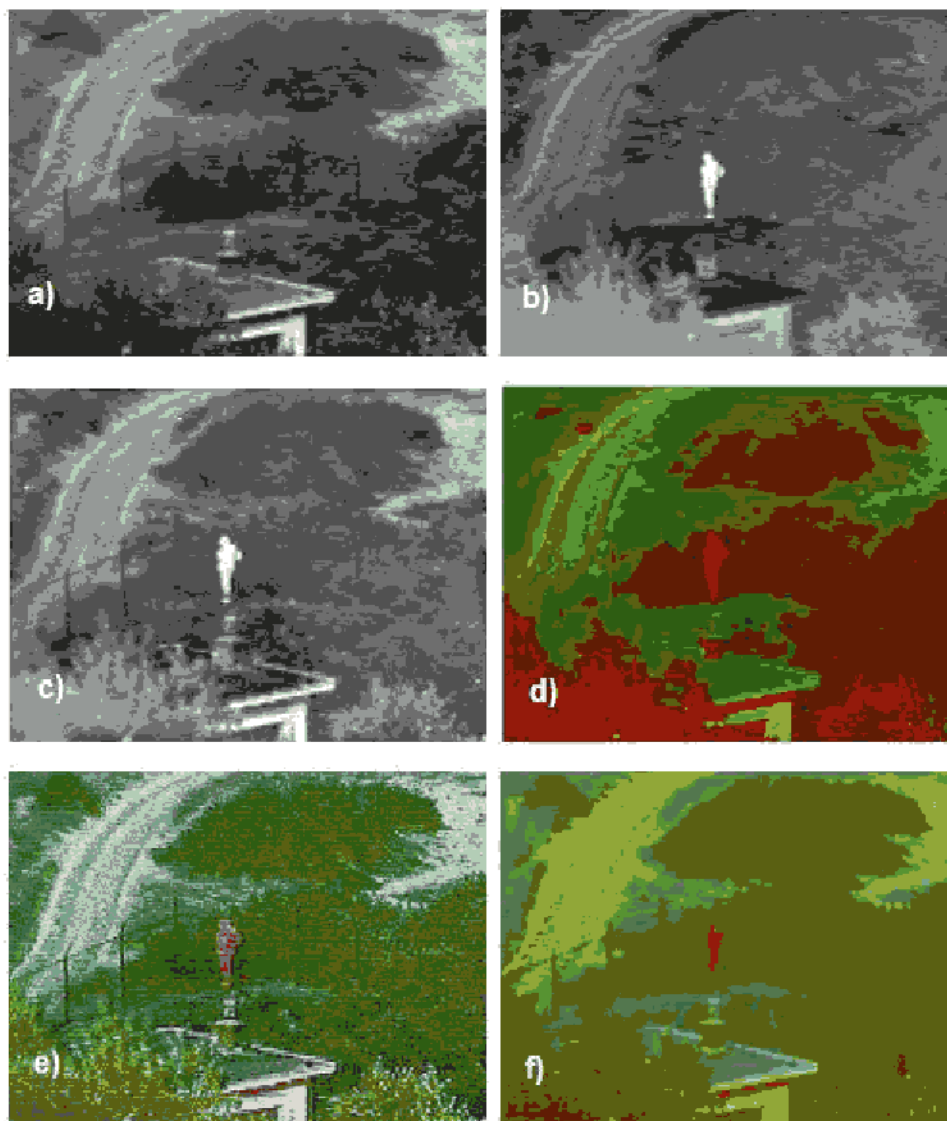
Pored „false color“ metoda postoji i druga grupa metoda za kolor mapiranje koje se zovu „pseudo color“ metode (Aguilar, et al., 1998), (Guangxin, Shuyan, 2009), (Jang, Ra, 2008), (McDaniel, et al.), (Toet, Walraven, 1996), (Waxman, et al., 1998a), (Waxman, et al., 1998b). Ove metode ne zahtevaju referentnu sliku, već se kolor informacije dobijaju iz ulaznih monohromatskih slika. Dobijena kolor slika ne može predstavljati prirodne boje, ali su algoritmi znatno računarski jednostavniji i pogodni za rad u realnom vremenu.

„Pseudo-color“ algoritam koji su predstavili Toet i Walraven (1996) jedan je od najpoznatijih algoritama za kolor mapiranje. U algoritmu se najpre određuju zajedničke komponente za dve ulazne slike, koje se zatim oduzimaju od ulaznih slika, čime se dobijaju jedinstvene komponente za svaku ulaznu sliku. Jedinstvene komponente jedne slike se u sledećem koraku oduzimaju od druge slike za svaku sliku i te vrednosti ubacuju u R i G kanale RGB kolor sistema. B kanal postavlja se na nulu ili se može dobiti i kao razlika jedinstvenih komponenti. U slučaju televizijske i termovizijske slike algoritam se može opisati kao:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IC - TV^* \\ TV - IC^* \\ TV^* - IC^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde je $TV^* = TV - \text{comm}$, $IC^* = IC - \text{comm}$ i $\text{comm} = \min\{TV, IC\}$.

Još jedan poznat „pseudo-color“ algoritam predstavili su Waxman, et al. (Waxman, 1998a) i (Waxman, 1998b), koji koristi neuronske mreže i pozitivnu i negativnu IC sliku. Obe metode imaju već navedene osobine za „pseudo-color“ algoritme i bitnu osobinu da su im luminansne komponente zavisne od boja na slici. Rezultati kolor mapiranja prikazani su na slici 2.



Slika 2 – a) i b) TV i termovizijska slika iz UNCAMP sekvence, c) monohromatska slika sjedinjena Laplasovom piramidom, d) kolor mapiranje, e) i f) kolor mapiranje uz neuronske mreže

Figure 2 – a) and b) Visible and thermal range images from the UNCAMP sequence, c) image fused using Laplacian monochrome fusion, d) colour mapping, e) and f) colour mapping with neuron networks

Problemi neprirodnosti boja sjedinjenih slika rešavaju se sjedinjavanjem kolor i monohromatskih slika. Na slici 3 prikazane su kolor slika (TV slika) i monohromatska slika (IC slika) iste scene (<http://www.imagefusion.org>, 2012). Na IC slici jasno se uočava čovek i dimna bomba koja je aktivirana, ali je slika lošije rezolucije i ne vide se jasno ostali detalji scene. TV slika jasno prikazuje scenu, ali se ne vide objekti iza dimne zavese. Cilj je da se sjedinjavanjem ove dve slike prenesu objekti vidljivi u IC slici, a da se zadrži visoka rezolucija i prirodnost TV slike.



Slika 3 – Slike a) TV i b) termovizijske kamere OCTEC sekvence
Figure 3 – Example of a multisensor OCTEC sequence a) visible and b) thermal range

Metode za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika zasnovane su na transformaciji kolor slike iz RGB kolor sistema u neki drugi kolor sistem (HSV, LAB, $Lq\beta$, ...) i zatim sjedinjavanju monohromatske slike sa jednim od kanala kolor slike (Toet, 2003c), (Zhiyun, Rick, 2003), (Huang, et al., 2008). Metoda za sjedinjavanje jednog od kolor kanala sa monohromatskom slikom jedna je od standardnih metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika (Burt, Adelson, 1983), (Petrović, Xydeas, 1999), (Petrović, Xydeas, 2004), (Toet, 1989). Uspešnost sjedinjavanja zavisi od izbora kolor sistema za sjedinjavanje i metode monohromatskog sjedinjavanja. Veći broj metoda koristi sjedinjavanje monohromatske slike sa kanalom koji predstavlja intenzitet piksela na kolor slici (Toet, 2003c), (Huang, et al., 2008). Mana ovih metoda može da bude gubitak kontrasta na sjedinjenoj slici i narušavanje prirodnog izgleda kolor slike.

Transformacijom u HSV kolor sistem i sjedinjavanjem IC slike sa V kanalom TV slike Laplasovom piramidom (Burt, Adelson, 1983), zatim inverznom transformacijom u RGB kolor sistem dobija se slika prikazana na slici 4 (Huang, et al., 2008). U sjedinjenu sliku preneseni su detalji iz obe ulazne slike, ali čovek koji se nalazi iza dimne zavese slabije je uočljiv jer je dimna zavesa bele boje, a topliji objekti iz IC slike su takođe predstavljeni belom bojom. Takođe, došlo je i do malog gubitka prirodnosti boja kolor slike.



Slika 4 – Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazan na slici 1, HSV kolor transformacijom i Laplasovom piramidom
Figure 4 – Colour fusion of the inputs in Figure 1 using the HSV space and the Laplacian pyramid fusion

Jedan deo metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika našao je primenu u detekciji skrivenog oružja (DSO) (Toet, 2003c), (Zhiyun, Rick, 2003). Metoda koja je opisana u (Toet, 2003c) zasnovana je na $l\alpha\beta$ kolor transformaciji. Kolor slika se transformiše u $l\alpha\beta$ kolor sistem i zatim se vrši sjedinjavanje l -komponente sa monohromatskom slikom. Sjedinjen rezultat vraća se u RGB kolor sistem i dobija se sjedinjena kolor slika. Sjedinjena slika ulaznih slika prikazanih na slici 3 vidi se na slici 5. Objekti iz monohromatske slike vidljivi su u sjedinjenoj slici, ali je prirodnost boja sjedinjene slike u većoj meri izgubljena. Kao i kod prethodne metode, topliji objekti u ovom slučaju predstavljeni su belom bojom i zavise od ostalih parametara slike.



Slika 5 – Slika sjedinjena metodom za detekciju skrivenog oružja (DSO)
Figure 5 – Fused image with the method for Concealed Weapon Detection

Sjedinjavanje uz zadržavanje prirodnosti boja

Poboljšanje kontrasta prenetih objekata iz monohromatske slike može se postići sjedinjavanjem monohromatske slike sa kanalom kolor slike koji predstavlja crvenu boju. Odnosno, topliji detalji IC slike biće predstavljeni crvenijom bojom na sjedinjenoj kolor slici, a samim tim biće uočljiviji, uz zadatak da se zadrži prirodnost boja kolor slike. RGB kolor sistem ne predstavlja dobro rešenje za sjedinjavanje jer su kanali međusobno zavisni i sjedinjavanje slika u jednom kanalu i promena u njemu prouzrokovalo bi promenu na celoj slici. Na taj način narušila bi se prirodnost boja kolor slike.

Rešenje problema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike može se naći u $l\alpha\beta$ kolor sistemu. Kanali $l\alpha\beta$ kolor sistema međusobno su slabo povezani i moguće je vršiti operacije u jednom kanalu koje će prouzrokovati male promene na ostalim kanalima (Reinhard, et al., 2001). Za sjedinjavanje sa monohromatskom slikom izabran je β kanal, jer on predstavlja crvenu-zelenu boju slike. Sjedinjavanje se vrši modifikovanim Laplasovom piramidom uz eliminaciju nepotrebnih informacija iz monohromatske slike. U sledeća dva dela biće objašnjen način transformacije u $l\alpha\beta$ kolor sistem iz RGB kolor sistema i obmuto, kao i dobijanje Laplasove piramide iz monohromatske slike.

$l\alpha\beta$ kolor sistem

Ruderman et al. (1998) predstavili su kolor sistem nazvan $l\alpha\beta$ koji minimizira korelaciju između kanala. Slaba korelacija između kanala $l\alpha\beta$ kolor sistema dozvoljava primenu različitih operacija na različitim kolor kanalima (Reinhard, et al., 2001). $l\alpha\beta$ kolor sistem predstavlja transformaciju LMS kolor sistema. LMS kolor sistem dobija se iz XYZ sistema, te je prvo potrebno izvršiti transformaciju RGB kolor sistema u XYZ sistem:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5141 & 0,3239 & -0,1604 \\ 0,2651 & 0,6703 & 0,0641 \\ 0,0241 & 0,1228 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

LMS kolor sistem dobija se sledećom transformacijom:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3897 & 0,6890 & -0,0787 \\ -0,2298 & 1,1834 & 0,0464 \\ 0,0600 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

Kombinacijom ove dve matrice dobija se transformacija između RGB i LMS kolor sistema:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3811 & 0,5783 & 0,0402 \\ 0,1967 & 0,7244 & 0,0782 \\ 0,0241 & 0,1288 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

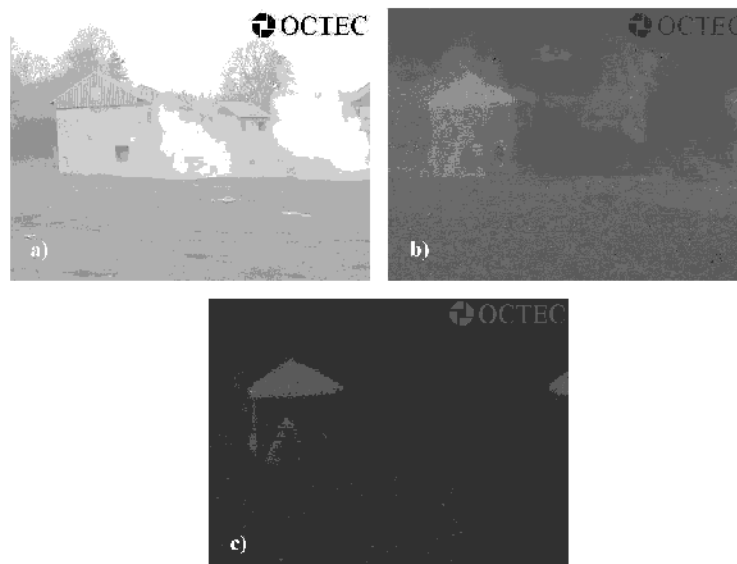
Vrednosti dobijene ovim kolor sistemom su sa naglim neravninama, te je potrebno izvršiti ravnjanje uz pomoć logaritamskih funkcija:

$$[L, M, S] = [\log L, \log M, \log S] \quad (5)$$

Iako su vrednosti dobijene logaritmovanjem mnogo ravnije, korelacija između kanala je i dalje velika. Za smanjenje korelacije između kanala Ruderman et al. (1998) predložili su sledeće matrice transformacije.

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ako se uzme činjenica da je L kanal crvena, M kanal zelena, a S kanal žuta boja, onda se može zaključiti da l kanal predstavlja monohromatski kanal, a α i β kanali predstavljaju žuti-plavi, odnosno crveni-zeleni kanal (Reinhard, et al., 2001). Primeri l, α i β kanala slike 3a prikazani su na slici 6.



Slika 6 – Primer l $\alpha\beta$ kolor transformacije slike 3, a) kanal intenziteta l, b) plavi-žuti kanal α i c) crveni-zeleni kanal β

Figure 6 – The l $\alpha\beta$ representation of the image in Figure 1, a) intensity channel l, b) the blue-yellow channel α and c) the red-green channel β

Nakon izvršenih operacija nad kanalima u lαβ kolor sistemu potrebno je izvršiti inverznu transformaciju u RGB kolor sistem. Prvo se vrši konverzija iz lαβ u **LMS** pomoću sledeće jednačine:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{3}/3 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{6}/6 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Posle izvršenog stepenovanja sa osnovom 10 i povratka u linearni sistem, vrši se konverzija u RGB kolor sistem:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,4679 & -3,5873 & 0,1193 \\ -1,2186 & 2,3809 & -0,1624 \\ 0,0497 & -0,2469 & 1,2045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (8)$$

Gaus-Laplasova piramida

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike svodi se na sjedinjavanje jednog od kolor kanala i monohromatske slike izborom jedne od metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika (Burt, Adelson, 1983), (Petrović, Xydeas, 1999), (Petrović, Xydeas, 2004), (Toet, 1989). U ovom radu predložena je Gaus-Laplasova piramida kao jedna od pouzdanih metoda (Burt, Adelson, 1983), (Toet, 1989). Ona omogućava prenos relevantnih informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu.

Konstrukcija piramide vrši se na sledeći način. Originalna slika uzima se kao dno ili nulti nivo piramide G_0 . Svaki sledeći nivo piramide dobija se niskofrekventnim filtriranjem prethodnog nivoa uz smanjenje veličine slike faktorom dva. Svaka vrednost piksela nivoa piramide je usrednjena vrednost piksela prethodnog nivoa sa prozorskim filtrom dimenzija 5X5. Ovaj proces naziva se redukcija i može se zapisati kao $G_l = \text{REDUCE}(G_{l-1})$, odnosno

$$G_l(m, n) = \sum_{i,j=-2}^2 w(i, j) G_{l-1}(2m+i, 2n+j) \quad (9)$$

gde broj N predstavlja broj nivoa Gausove piramide. Inverzna operacija od redukovanja naziva se ekspanzija i može se zapisati kao:

$$G_{l,0} = G_l \text{ i } G_{l,k} = \text{EXPAND}(G_{l,k-1}) \quad (10)$$

odnosno

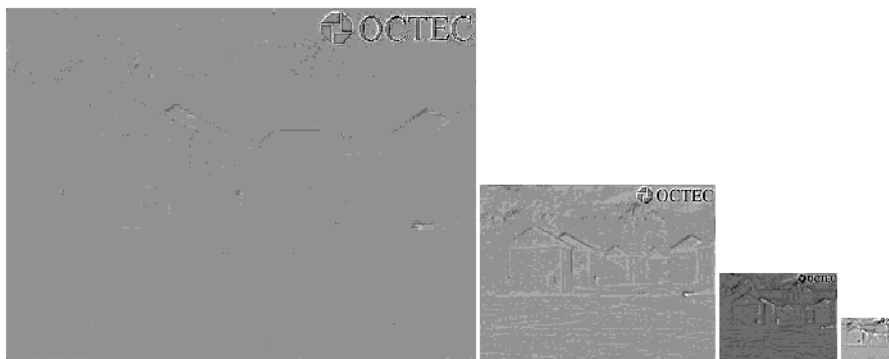
$$G_{l,k}(m, n) = 4 \sum_{i,j=-2}^2 w(i, j) G_{l,k-1}\left(\frac{m+i}{2}, \frac{n+j}{2}\right) \quad (11)$$

Sekvenca $L_0, L_1, \dots, L_{N-1}$ dobija se kao razlika između slike sa nivoa Gausove piramide i ekspanzije slike sa višeg nivoa:

$$L_l = G_l - \text{EXPAND}(G_{l+1}) \text{ i } L_N = G_N \quad (12)$$

Na ovaj način dobija se sekvenca slika propuštenih kroz filter propusnik opsega i naziva se *DOLP* (*difference of low-pass*) ili Laplasova piramida i predstavlja kompletnu reprezentaciju slike (slika 7). Originalna slika može se dobiti obrnutim koracima konstrukcije piramide:

$$G_N = L_N \text{ i } G_l = L_l + \text{EXPAND}(G_{l+1}) \quad (13)$$



Slika 7 – Nivoi Laplasove piramide slike 3b
Figure 7 – Levels of the Laplacian pyramid from Figure 3b

Kolor sjedinjavanje slike

Cilj sjedinjavanja slika sa više senzora jeste prikazivanje informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu sliku. Kolor TV slika (slika 3a) sadrži više detalja o sceni, dok monohromatska IC slika (slika 3b) prikazuje objekte koji su različite temperature i mogu biti nevidljivi za ljudsko oko. Radi što efikasnije i vidljivije predstave informacija iz monohromatske IC slike u sjedinjenoj kolor slici, toplije objekte predstavljemo nivoima crvene boje, dok ćemo vrednosti ostalih kanala ostaviti nepromenjene. Na ovaj način kolor slika zadržaće svoju prirodnost, a informacije iz monohromatske IC slike biće jasno prezentovane.

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike vrši se na sledeći način. Prvo se ulazna kolor slika transformiše u $l\alpha\beta$ kolor sistem na već opisan način (jednačine 4-6). Pošto su kanali u $l\alpha\beta$ kolor sistemu slabe korelacije mogu se vršiti operacije na jednom od njih uz slab uticaj na ostale kanale. Za sjedinjavanje sa monohromatskom slikom izabran je β kanal koji predstavlja crveni-zeleni kanal. Sjedinjavanje β kanala sa monohromatskom slikom proizvešće kao rezultat prikaz toplijih detalja iz IC slike crvenom bojom u sjedinjenoj kolor slici. Pošto su opsezi vrednosti β kanala i

nivoa sivog monohromatskog kanala različiti, za uspešno sjedinjavanje potrebno je vrednosti svesti u jedan opseg. Sjedinjavanje slika vrši se u β kanalu kolor slike, tako da se vrednosti nivoa sivog piksela monohromatske slike moraju svesti u β opseg prema sledećem:

$$I'_m = \frac{\sigma_\beta}{\sigma_m}(I_m - \mu_m) + \mu_\beta \quad (14)$$

gde je I_m vrednost piksela nivoa sivog monohromatske slike, σ_β i σ_m predstavljaju standardne devijacije β kanala kolor i monohromatske slike, a μ_β i μ_m su srednje vrednosti ovih kanala. Sada su opsezi i srednje vrednosti ova dva kanala usaglašeni i može se izvršiti sjedinjavanje kanala.

Koristeći Laplasovu piramidu za sjedinjavanje monohromatskih slika, sjedinjavanje ćemo izvesti na sledeći način. Prvo se od β kanala i modifikovanih vrednosti monohromatske slike konstruišu Laplasove piramide (jednačine 9–12). Za sjedinjavanje nivoa Laplasove piramide koristićemo izbor apsolutnog maksimuma, odnosno za sjedinjenu sliku u piramidi uzimaće se veća vrednost za svaki piksel iz ulaznih slika. Radi očuvanja prirodnosti kolor slike i izbegavanja veće količine prenetih podataka iz monohromatske slike, informacije koje predstavljaju niže frekvencije, odnosno spore promene, uzećemo samo iz β kanala kolor slike. Više frekvencije, odnosno brže promene na ulaznim slikama biće prenete na već opisan način.

Sjedinjeni β kanal kolor slike dobija se inverznom Laplasovom transformacijom sjedinjene Laplasove piramide (jednačina 13). Konačno, sjedinjena kolor slika dobija se transformacijom $l\alpha\beta$ kolor sistema u RGB kolor sistem (jednačine 7 i 8). Sjedinjena kolor slika opisana ovom metodom za ulazne slike sa slike 3 prikazana je na slici 8.



Slika 8 – Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazanih na slici 3, pomoću $l\alpha\beta$ kolor transformacije i Laplasove piramide

Figure 8 – Result of the fusion of the color and monochromatic images in Figure 3 with the $l\alpha\beta$ color transform and the Laplacian pyramid

Isticanje objekata iz monohromatske slike

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike predloženom metodom daje sjedinjenu sliku na kojoj se jasno uočavaju objekti koji se nalaze na obe ulazne slike. Čovek koji se nalazi iza dimne zavese jasnije i brže se uočava nego na sjedinjenoj slici pomoću HSV transformacije. Međutim, objekti preneseni iz monohromatske slike mogu se napraviti još uočljivijim za slučaj da je potrebna brza i precizna identifikacija ciljeva. To se može postići dodavanjem izdvojenih ivica monohromatske slike u samu sliku.

Ivice se mogu okarakterisati kroz dva osnovna parametra – amplitude (jačina) i pravca (orijentacija). Predloženi algoritam izdvaja samo informacije jačine ivice za svaki (n, m) piksel slike i ugrađuje ih u monohromatsku sliku. Jačina ivica dobija se Sobel operatorom, koji definišu dva 3×3 prozora (Sonka, et al., 1998) prikazana na slici 9.

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Slika 9 – Uspravni i vodoravni Sobel prozori
Figure 9 – Horizontal and vertical Sobel kernels

Ovi prozori mere vodoravnu i uspravnu komponentu ivice u centralnom pikselu. Monohromatska slika filtrira se Sobel prozorima, što daje još dve slike s^x i s^y , koje sadrže ivične komponente u x i y pravcu. Iz ovih komponenti dobija se jačina ivice prema jednačini:

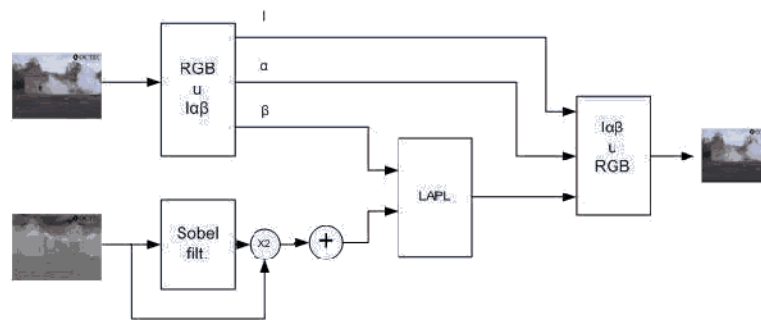
$$g_a(n, m) = \sqrt{s^x(n, m)^2 + s^y(n, m)^2} \quad (15)$$

Opseg vrednosti jačine ivica zavisi od parametara normalizacije Sobelovog filtriranja, a u 8-bitnoj slici nikad ne prelazi 143, dok $g(n, m) = 0$ znači da je signal konstantan (Petrović, 2001). Na kraju se ulazna slika dobija kao zbir monohromatske slike i njenih ivica pomnoženih sa faktorom 2:

$$I'(n, m) = I(n, m) + 2g(n, m) \quad (16)$$

Izdvojene ivice slike 3b i modifikovana IC slika prikazane su na slici 11a i 11b. Jasno se vidi da su objekti na IC slici sada naglašeni i da će biti verodostojnije prikazani u sjedinjenoj slici.

Postupak sjedinjavanja svodi se na već objašnjen način u prethodnom poglavlju, a rezultat sjedinjavanja prikazan je na slici 11d. Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazana je na slici 10.

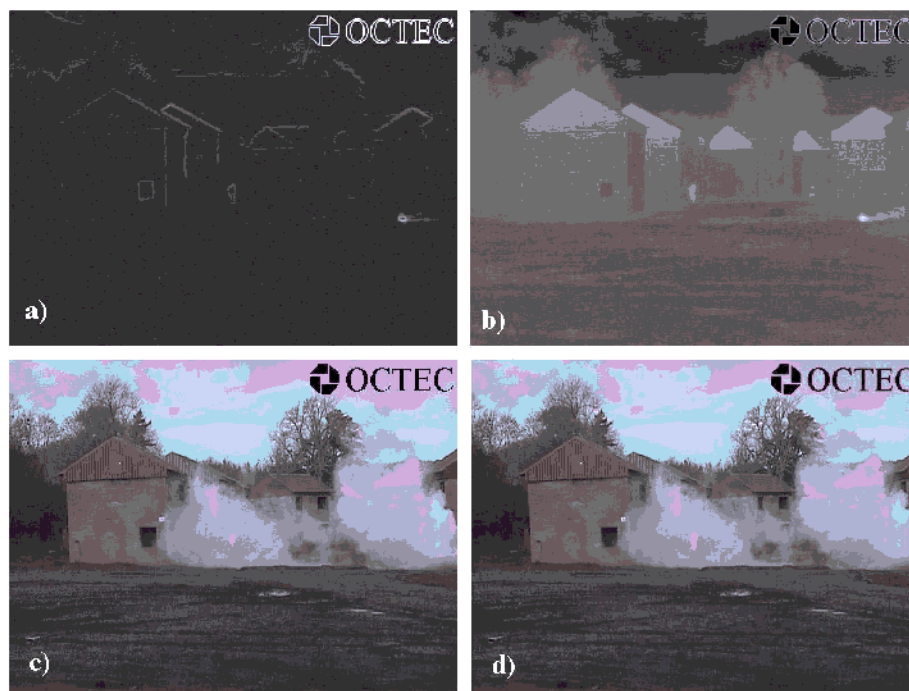


Slika 10 – Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike
Figure 10 – Color and monochromatic image fusion scheme

Analiza rezultata

Rezultati sjedinjavanja slika 3a i 3b prikazani su na slici 11. Rezultati su dobijeni na već opisane načine uz primenu Laplasove piramide sa 7 nivoa. Prilikom sjedinjavanja β kanala TV slike sa IC slikom prva tri nivoa Laplasove piramide uzeta su samo iz β kanala, dok su ostali nivoi sjedinjeni metodom maksimalne apsolutne vrednosti. Sjedinjena kolor slika pomoću β kanala kolor i monohromatske slike (slika 11c) daje dobre rezultate i preneseni su objekti iz IC slike verodostojno. Jasno se uočava čovek iza dimne zavese i dimna bomba koja je jakog temperaturnog kontrasta i veoma uočljiva. Pozadina slike, zgrade, nebo i ostali detalji su jasno uočljivi i zadržali su boju ulazne kolor slike. Međutim, i pored dobre predstave objekata iz ulaznih slika, na sjedinjenoj slici mogu se uočiti izobličenja oko slova u gornjem desnom uglu. Izobličenja su nastala prilikom sjedinjavanja Laplasovom piramidom beta kanala sa monohromatskom slikom. Problem predstavlja, u stvari, sjedinjavanje informacija koje su u potpunom kontrastu. Naime, slova kod monohromatske slike su crne boje i pikseli imaju vrednost 0, dok su u beta kanalu bela i imaju normalizovanu vrednost 1. Sjedinjavanje ovih informacija prouzrokuje izobličenja koja se javljaju u njihovoj okolini i utiču na sjedinjenu kolor sliku. Sjedinjena kolor slika uz dodavanje ivica IC slike još jasnije i vidljivije predstavlja objekte iz IC slike. Samim tim što su objekti većeg kontrasta na slici 11b od objekata na slici 3b sjedinjavanje ovom metodom daje bolje rezultate. Pojačan je kontrast između čoveka iza dimne zavese i pozadine, pa se samim tim i objekat lakše uočava i identifikuje. U slučaju da je po-

trebna brza identifikacija ciljeva na slici metodom za isticanje ivica dobili bi bolje rezultate. Takođe, sjedinjavanje sa dodavanjem ivica eliminiše izobličenja koja su nastala prilikom sjedinjavanja signala koji su u kontrastu, odnosno, u našem slučaju, sjedinjavanju informacija oko slova u gornjem desnom uglu.

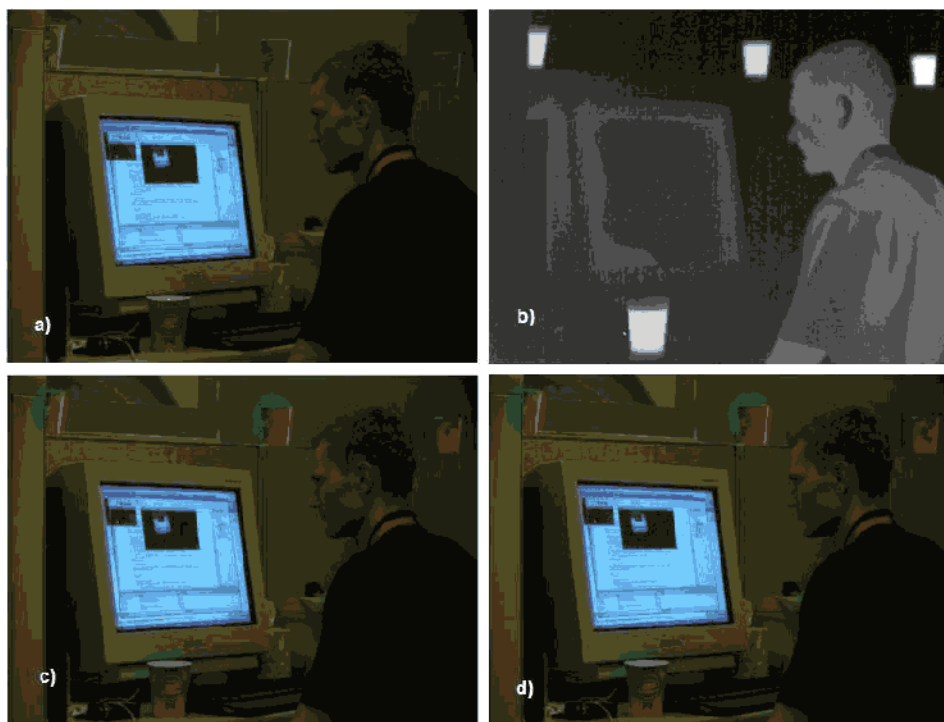


Slika 11 – Kolor sjedinjavanje uz pojačanje ivica na monohromatskoj slici:

a) jačina ivica monohromatske slike prikazane na slici 3b, b) pojačana slika gradijentima c) i d) rezultati sjedinjavanja bez isticanja ivica i sa isticanjem ivica

Figure 11 – Structure enhanced color fusion: a) gradient magnitude of the IR image in Figure 3b, b) enhanced IR image I', c) and d) images fused using the proposed method without and with structural enhancement

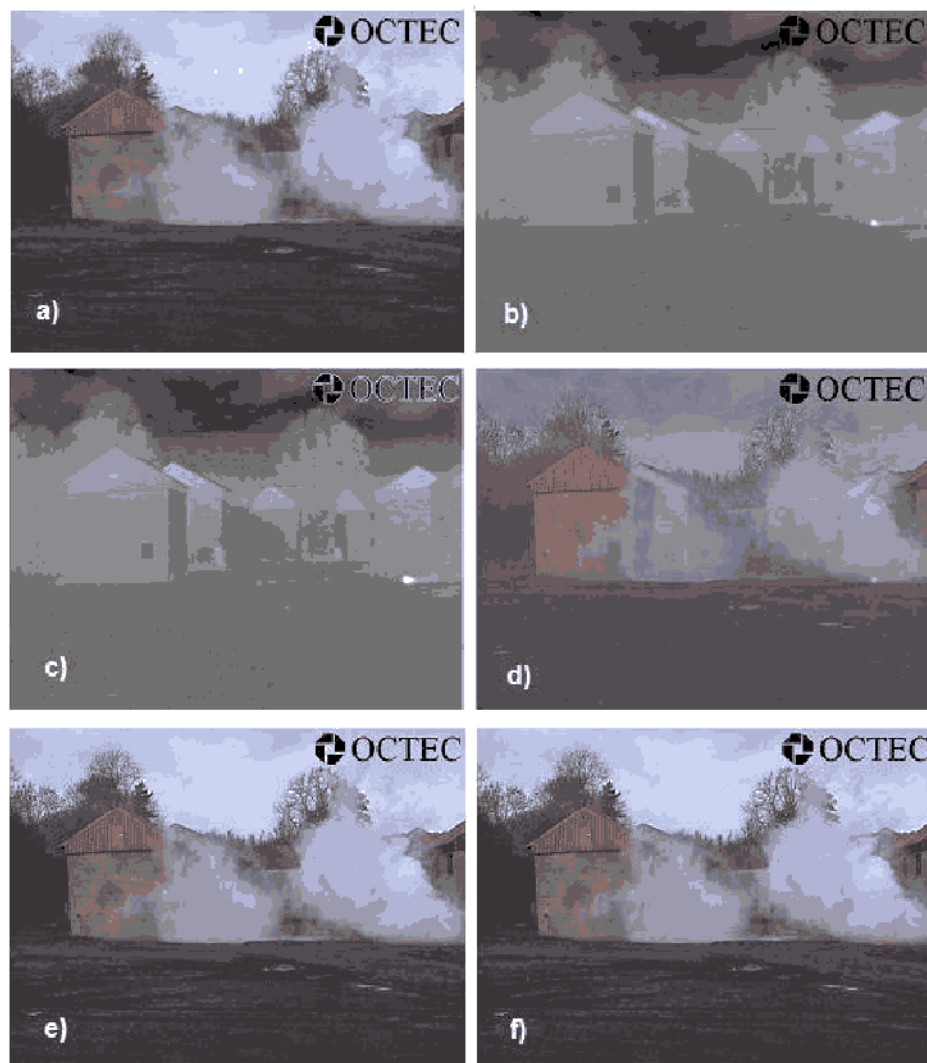
Opravdanost predložene metode potvrđena je i na sekvencama dobijenih iz unutrašnjih uslova, tako da omogućava primenu u više scenarija i uslova. Na slici 12 a i 12b date su slike TV i IC kamere iz sobnih uslova. Na IC slici uočavaju se topliji objekti u vidu tople tečnosti u čašama, dok TV slika jasno daje vidljive detalje, čak i sadržaj monitora. Kako bi se dobila jedna slika sa svim informacijama izvršeno je kolor sjedinjavanje i rezultati su prikazani na slikama 12c i 12d. Sjedinjavanjem su preneti svi detalji iz obe ulazne slike, a pri tome je u potpunosti zadržana i prirodnost kolor slike.



Slika 12 – Kolor sjedinjavanje slika na sekvenci u unutrašnjim uslovima:
a) i b) ulazne TV i termovizijske slike, c) i d) rezultati sjedinjavanja koristeći
lαβ kolor sistem bez isticanja i sa isticanjem ivica

Figure 12 – Color image fusion of an indoor sequence. a) and b) true color and IR inputs,
c) and d) fusion results using the lαβ color system method without and with structural
enhancement

Prednosti predložene metode bolje se vide na još jednom frejmu OCTEC sekvence. Na slici 13a i 13b date su ulazne slike IC i TV kamere. Za razliku od frejma prikazanog na slici 3, ovaj frejm predstavlja pojavljivanje još jednog čoveka između treće i četvrte zgrade gledano sa leve strane. Ovaj čovek se veoma slabo uočava na ulaznoj IC slici. Na slici 13c data je IC slika sa dodatim ivicama i na njoj je ovaj čovek znatno uočljiviji, kao i ostali objekti. Sjedinjena slika HSV transformacijom 13d prikazuje objekte iz ulaznih slika, ali su slabo uočljivi zbog malog kontrasta između dimne zavese i ljudi iza nje. Sjedinjena slika predloženom metodom bez dodavanja ivica prikazana je na slici 13e i daje dobre rezultate, ali je čovek, kao i na ulaznoj IC slici, slabo uočljiv. Slika koja je dobijena sjedinjavanjem uz dodavanje ivica (slika 13f) mnogo bolje od ostalih prikazuje drugog čoveka, iako je on jedva vidljiv u ulaznoj IC slici.



Slika 13 – Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje:

- a) i b) TV i IC slika OCTEC sekvence, c) IC slika sa dodatim ivicama,
d) rezultat sjedinjavanja HSV transformacijom, e) i f), rezultat kolor sjedinjavanja
lαβ kolor transformacijom i sa dodavanjem ivica monohromatske slike

Figure 13 – Input images and images fused with color fusion: a) and b) true color and IR inputs of the OCTEC dataset, c) enhanced IR image I', d) HSV fusion result, e) and f) images fused using the lαβ method without and with structural enhancement

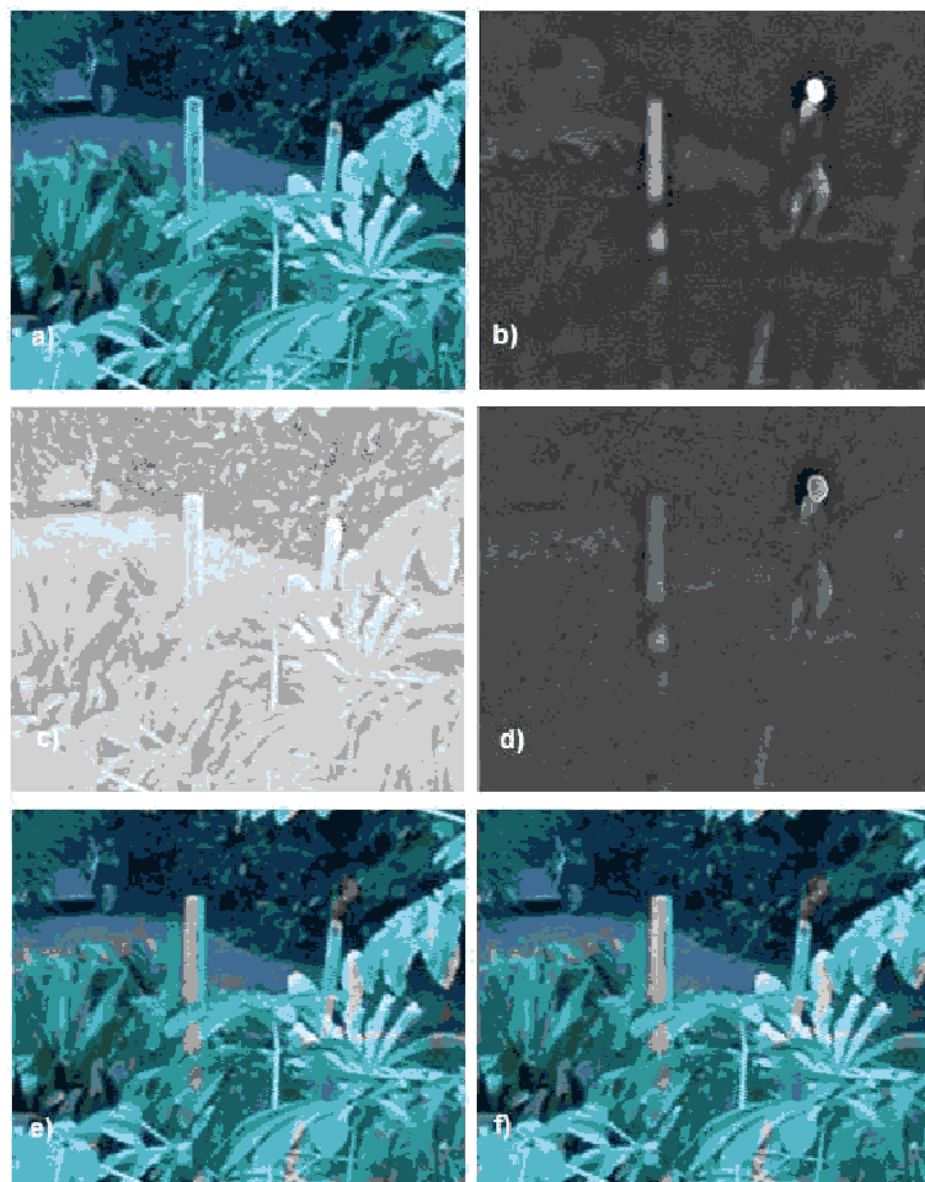
Dobre rezultate predložena metoda daje i na sjedinjavanju sekvence EDEN. Po jedan frejm ulaznih slika TV i IC kamere dati su na slici 14a i 14b. Na IC slici jasno se uočava čovek zbog različite temperature

sa okolinom. Ostali detalji su slabo vidljivi. TV slika jasno prikazuje drveće i lišće ali je čovek gotovo neuočljiv. Sjedinjavanjem ove dve slike dobijamo sjedinjenu kolor sliku na kojoj se jasno uočava i čovek i pozadina (slike 14e i 14f). Kako bi se video uticaj kolor sjedinjavanja date su i slike β kanala pre i nakon sjedinjavanja na slikama 14c i 14d, stim što je na 14c izvršeno razvlačenje histograma pa je slika svetlija. Na slikama se jasno uočava uticaj sjedinjavanja i vide se preneseni podaci iz monohromatske slike u β kanalu kolor slike. Na slici 14e izvršeno je sjedinjavanje predloženom metodom bez isticanja ivica i dobijeni rezultati su veoma dobri. Prikazani su detalji iz obe ulazne slike i mogu se lako uočiti svi objekti. Još bolje rezultate daje predložena metoda sa isticanjem ivica IC slike (slika 14f). Na ovoj slici čovek je uočljiviji i detekcija ciljeva bila bi veoma efikasna.

Subjektivna procena uspešnosti sjedinjavanja

Predloženi algoritmi za sjedinjavanje ispitani su vizuelnom analizom sjedinjavanja. Subjektivni testovi vođeni u okviru ovog rada su neformalni, pasivni sa ciljem da odrede relativnu uspešnost jedne metode sjedinjavanja u odnosu na druge (Petrović, 2001). Zadaci koje su imali učesnici subjektivnih testova bili su da procene uspešnost prenetih podataka iz ulaznih slika u sjedinjenu i da procene prirodnost sjedinjenje slike. Svaki test poredio je tri različite metode (HSV sjedinjavanje, sjedinjavanje putem β -kanal bez isticanja i sa isticanjem ivičnih efekata u ulaznoj monohromatskoj slici). Uspešnost je određivao subjektivni izbor, tj. za svaki par ulaznih slika od subjekata se tražilo da se odluče za jednu od sjedinjenih slika po navedena dva principa uspešnosti sjedinjavanja (preneti podaci i prirodnost).

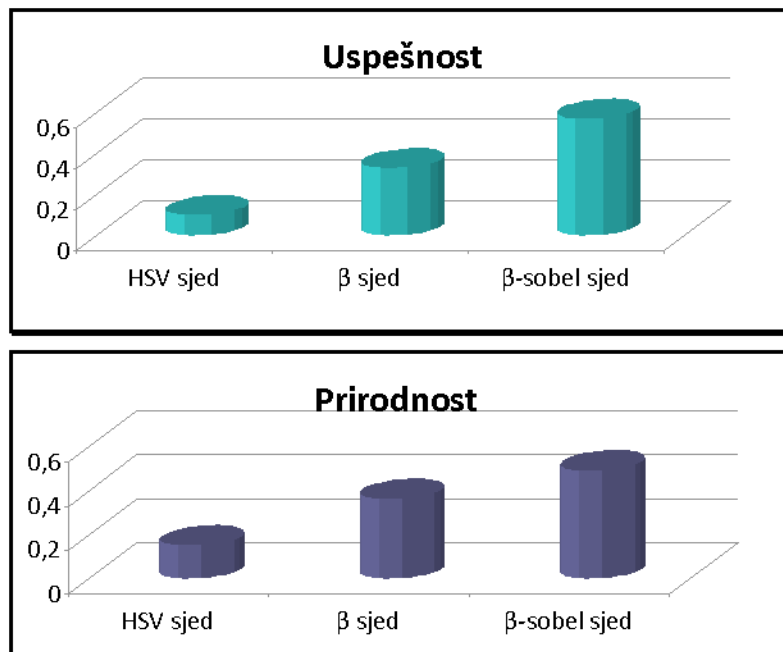
Test za procenu uspešnosti sjedinjavanja sadržao je 23 ulazna para registrovanih kolor i monohromatskih slika iste scene iz pet različitih prizora, odnosno sekvenci. Pri tome je vođeno računa da ulazne slike obuhvate što više različitih scenarija iz urbanih i ruralnih prostora. U proseku 15 srednje iskusnih subjekata radilo je test na 20" monitoru na razdaljini od oko 80 cm. Ukupni izborni rezultat koji određuje uspešnost prenetih informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu, a koji daje procenat glasova za određenu metodu je 0,57:0,33:0,1 je za metode sjedinjavanja preko β kanala sa dodatkom ivica, sjedinjavanje preko β kanala i sjedinjavanje preko HSV transformacije respektivno. Takođe, ukupan izborni rezultata za prirodnost sjedinjene slike je 0,49:0,36:0,15 za metode gore navedene. Ovi rezultati (slika 15) jasno ukazuju na prednost predloženih metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika i ističu prednosti sjedinjavanja slika preko β kanala uz dodavanje ivica u monohromatsku sliku.



Slika 14 – Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje:

a) i b) TV i IC slika EDEN sekvence, c) beta kanal kolor slike, d) sjedinjeni beta kanal,
e) i f) rezultat kolor sjedinjavanja $\alpha\beta$ kolor transformacijom i sa dodavanjem ivica
monohromatske slike

Figure 14 – Color fusion of the EDEN dataset: a) and b) true color and IR inputs,
c) β chanal of color image, d) fused β chanal, e) and f) fusion with the proposed method
without and with structure enhancement



Slika 15 – Rezultati subjektivnih testova na 23 scene uz učešće 15 posmatrača
Figure 15 – Subjective trial average preferences for 23 datasets and 15 viewers

Zaključak

U radu je prikazana metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika u kolor sliku. Osnovna ideja je bila da se informacije iz monohromatske slike predstave u kolor slici što verodostojnije, a da se pri tome ne naruši prirodan izgled kolor slike. Za sjedinjavanje slika izabrana je $\text{I}\alpha\beta$ kolor transformacija kolor slike, jer su kanali slabo povezani i moguće je vršiti operacije na jednom kanalu sa malim uticajem na ostale. U radu je izabran β kanal koji predstavlja crvenu-zelenu boju, kako bi objekte koji su, na primer, topliji u IC monohromatskoj slici predstavili crvenom bojom, a samim tim i uočljivije na sjedinjenoj slici. Efikasnost sjedinjavanja povećana je pojačanjem ivica monohromatske slike pomoću Sobel operatora. Na ovaj način sjedinjavanja objekti iz monohromatske slike su jasniji i veoma lako se uočavaju i identifikuju. Rezultati dobijeni novom metodom prikazani su na slikama iz dve sekvence u spoljnim uslovima (OC-TEC i EDEN) i jedna u unutrašnjim uslovima i opravdavaju primenu predložene metode. Takođe, subjektivni testovi koji su vođeni u prethodnom periodu opravdavaju predložene metode i daju znatno bolje karakteristike od postojećih metoda na većem broju ulaznih podataka.

Literatura

- Aguilar, M., Fay, D.A., Ross, W.D., Waxman, A.M., Ireland, D.B., Racamato, J.P., 1988, Real-time fusion of low-light CCD and uncooled IR imagery for color night vision, pp. 124-135, *Enhanced and Synthetic Vision*, Orlando, FL, US, July 30.
- Burt, P., Adelson, E., 1983, The Laplacian pyramid as a compact image code, *IEEE Transactions on Communication*, Volume 31(4), pp. 532-540.
- Guangxin, L., Shuyan, X., 2009, An Efficient Color Transfer Method for Fusion of Multiband Nightvision Images, *International Conference on Information Engineering and Computer Science*, Wuhan, China, December 19-20.
- Hogervorst, M.A., Toet, A., 2007, Fast and true-to-life application of daytime colours to night-time imagery, pp.1-8, *Information Fusion, 2007 10th International Conference on*, Quebec, QC, Canada, July 9-12.
- Hogervorst, M.A., Toet, A., 2010, Fast natural color mapping for night-time imagery, *Information Fusion*, Volume 11(2), pp. 69-77.
- Huang, M., Leng, J., Xiang, C., 2008, A Study on IHS+WT and HSV+WT Methods of Image Fusion, pp. 665-668, *International Symposium on Information Science and Engineering*, Shanghai, China, December 20-22.
- Jang, J.H., Ra, J.B., 2008, Pseudo-Color Image Fusion Based on Intensity-Hue-Saturation Color Space, pp. 366-371, *IEEE International Conference on Multi-sensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, Seoul, Korea, August 20-22.
- McDaniel, R.V., Scribner, D.A., Krebs, W.K., Warren, P., McCarley J., 1998, Image fusion for tactical applications, *Infrared Technology and Applications*, Volume 3436, pp. 685-695.
- Petrović, V., 2001, *Multisensor pixel-level image fusion*, PhD Thesis, University of Manchester, UK.
- Petrović, V., Xydeas, C., 1999, Computationally efficient pixel-level image fusion, pp. 177-184 *Proceedings of Eurofusion99*, Stratford-upon-Avon, October.
- Petrović, V., Xydeas, C., 2004, Gradient Based Multiresolution Image Fusion, *IEEE Transactions on Image Processing*, Volume 13(2), pp. 228-237.
- Petrović, V., Zmić, B., 2001, Multisenzorsko sjedinjavanje informacija za otkrivanje, praćenje i identifikaciju ciljeva, *TELFOR 2001*, Beograd, Novembar 20-22.
- Reinhard, E., Ashikhmin, M., Gooch, B., Shirley, P., 2001, Color transfer between images, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Volume 21(5), pp. 34-41.
- Ruderman, A., Joubert, O.R., Fabre-Thorpe, M., 1988, Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding, *Journal of the Optical Society of America*, Volume 15(8), pp. 2036-2045.
- Shiming, S., Lingxue, W., Wei-qi, J., Yuanmeng, Z., 2007, Color night vision based on color transfer in YUV color space, *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2007: Image Processing*, Beijing, China, September 09.
- Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 1998, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, PWS Publishing, Pacific Grove.
- The Online Resource for Research in Image Fusion*, [Internet], Dostupno na: <<http://www.imagefusion.org>>, Preuzeto: 08.03.2012. godine.

- Toet, A., 1989, Image fusion by a ratio of low-pass pyramid, *Pattern Recognition Letters*, Volume 9, pp. 245-253.
- Toet, A., 2003a, Color the night: Applying Daytime Colors to Nighttime Imagery, pp. 168-178 *Enhanced and Synthetic Vision*, Orlando, FL, September 23.
- Toet, A., 2003b, Natural colour mapping for multiband nightvision imagery, *Information fusion*, Volume 4(3), pp. 155-166.
- Toet, A., 2003c, Color Image Fusion for Concealed Weapon Detection, pp.372-379, *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Defense and Law Enforcement II*, Orlando, FL, September 23..
- Toet, A., Hogervorst, M.A., 2009, Towards an Optimal Color. Representation for Multiband Nightvision Systems, pp. 1417 – 1423, *12th International Conference on Information Fusion*, Seattle, WA, USA, July 6-9.
- Toet, A., Walraven, 1996, New false color mapping for image fusion, *Optical Engineering*, Volume 35(3), pp.650-658.
- Waxman, A.M., Aguilar, M., Baxter, R.A., Fay, D.A., Ireland, D.B., Racamato, J.P., Ross, W.D., 1998a, Opponent-color fusion of multi-sensor imagery: visible, IR and SAR, *Proceedings of IRIS Passive Sensors*, Volume 1, pp. 43-61.
- Waxman, A.M., Aguilar, M., Baxter, R.A., Fay, D.A., Ireland, D.B., Racamato, J.P., Ross, W.D., 1998b, Solid-state color night vision: fusion of low-light visible and thermal infrared imagery, *Lincoln Laboratory Journal*, Volume 11(1), pp. 41-60.
- Yhang, J., Han, Y., Chan, B., Yuan, Y., Qian, Y., Qiu, Y., 2009, Real-time Color Image Fusion for Infrared and Low-light-level Cameras, *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging*, Beijing, China, August 04.
- Zhiyun, X., Rick, S. B., 2003, Concealed Weapon Detection Using Color Image Fusion", pp. 622-627, *Information Fusion, 2003. Proceedings of the Sixth International Conference*, Cairns, Queensland, Australia, July 08-11.

FUSION OF COLOUR AND MONOCHROMATIC IMAGES WITH EDGE EMPHASIS

FIELD: Digital image processing
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary

We propose a novel method to fuse true colour images with monochromatic non-visible range images that seeks to encode important structural information from monochromatic images efficiently but also preserve the natural appearance of the available true chromacity information. We utilise the β colour opponency channel of the $l\alpha\beta$ colour as the domain to fuse information from the monochromatic input into the colour input by the way of robust grayscale fusion. This is followed by an effective gradient structure visualisation step that enhances the visibility of monochromatic information in the final colour fused image. Images fused using this met-

hod preserve their natural appearance and chromacity better than conventional methods while at the same time clearly encode structural information from the monochromatic input. This is demonstrated on a number of well-known true colour fusion examples and confirmed by the results of subjective trials on the data from several colour fusion scenarios.

Introduction

The goal of image fusion can be broadly defined as: the representation of visual information contained in a number of input images into a single fused image without distortion or loss of information. In practice, however, a representation of all available information from multiple inputs in a single image is almost impossible and fusion is generally a data reduction task. One of the sensors usually provides a true colour image that by definition has all of its data dimensions already populated by the spatial and chromatic information. Fusing such images with information from monochromatic inputs in a conventional manner can severely affect natural appearance of the fused image. This is a difficult problem and partly the reason why colour fusion received only a fraction of the attention than better behaved grayscale fusion even long after colour sensors became widespread.

Fusion method

Humans tend to see colours as contrasts between opponent colours and an improvement in visibility of structures from the monochrome can be achieved when they are used to encode a single HVS colour dimension consistently. The $l\alpha\beta$ colour system effectively decorrelates the colour opponency and intensity channels and manipulating one causes no visible changes in the others. Colour fusion can be achieved by fusing one of the colour opponency channels with the monochrome image. We use the Laplacian pyramid fusion known to be one of the most robust monochrome fusion methods available. The Laplacian, also known as the DOLP (difference of low-pass) pyramid is a reversible multiresolution representation that expresses the image through a series of sub-band images of decreasing resolution, increasing scale, whose coefficients broadly express fine detail contrast at that location and scale. A simple fusion strategy creates a new fused pyramid by copying the largest absolute input coefficient at each location.

The β channel of the $l\alpha\beta$ space represents the red-green opponency and we base our fusion on encoding this channel of the colour input with the monochrome image. This causes warmer objects (lighter in IR) to appear redder in the fused image. The fusion proceeds in several steps. Initially we transform the colour input RGB image into the $l\alpha\beta$ image. Monochrome fusion is then performed by decomposing the β image and the normalised monochrome into their Laplacian pyramid representations. We use the select max strategy to construct the fused pyramid but we only apply this to a small number of higher resolution pyramid sub-bands. Larger scale features in lower resolution sub-band images that constitute the natural context of the scene are sourced entirely from the colour image (β). This ensures that well defined smaller objects from the IR image are

transferred robustly into the fused image as well as the broad scene context from the colour input. Reconstructing the fused pyramid produces the fused β image which is combined with the original I and α channels of the colour input to produce the fused RGB colour image.

Edge Emphasis

We encode only the β channel which has only a fraction of the overall colour signal power (most is in the intensity channel) so the contrast of the monochrome image structures is still relatively modest in the fused image. We can improve their visualisation using a relatively simple effect of gradient outline enhancement. Initially, we extract gradient information from the monochrome image using 3x3 Sobel edge operators. The responses to horizontal and vertical Sobel templates, s^x and s^y , are combined to evaluate gradient magnitude at each location. To enhance the structure visualisation, prior to fusion, to the monochrome input we add its gradient magnitude image. The enhanced monochrome image is well behaved as the used gradient filters are linear, and is used directly as the input into monochrome fusion. The gradient magnitude image effectively captures the primal sketch of the scene and encoding an opponency channel with this information improves the visualisation of the structural outline of the monochrome input in the colour fused image.

Results and Conclusion

A new “ β fusion” colour image fusion method is presented that successfully both visualises important structure information from the monochrome input and preserves the natural appearance of the true colour input. Colour fusion is performed in the $l\alpha\beta$ colour space known to decorrelate main colour opponencies seen by the human visual system. We chose the β channel representing the red-green opponency of the true colour image to encode structural information from the monochrome input by fusing them using modified Laplacian pyramid fusion. The visualisation of important structures from the monochrome input can be improved through a simple structure encoding step using its gradient information. The method is naturally extended to video fusion. The proposed fusion methods produce colour fused images with significantly better visualisation of important information from the monochrome input while almost entirely preserving the natural appearance of the true colour input. This was demonstrated on a number of well-known colour fusion examples and measured using subjective trials on the data from multiple surveillance scenarios.

Key words: *imaging; fusion; encoding; colour.*

Datum prijema članka/Paper received on: 31. 08. 2012.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 18. 05. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 20. 05. 2013.

HIDRAULIC HAMMER EXCAVATOR FAILURE DUE TO SOLID PARTICLE CONTAMINATION

Mitar T. Jovanović ^a, Velibor V. Karanović ^b,
Andrea V. Ivanišević ^a, Darko M. Knežević ^b

^a University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences,
Department of Industrial Engineering and Management,

^b University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Automation and Mechanisation,
Bosnia and Herzegovina, Republic of Srpska

DOI: 10.5937/vojtehg62-4676

FIELD: Mechanical Engineering
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

Hydraulic systems of mobile machines are often contaminated by solid particles. Solid particles increase the abrasive wear intensity of hydraulic components and present one of the main causes of system failure. The paper presents a representative example of the solid particle influence on the wear intensity of hydraulic hammer parts, in the cement industry environment.

Ključne reči: particles, excavators, hydraulics, wearing.

Introduction

Contamination of the working fluid of a hydraulic system is one of the biggest enemies of mobile machines. In mobile machines that are mostly used in dirty environments, it is necessary to protect the hydraulic system by proper designing, especially in respect of external contamination.

The influence these contaminants have on operation and reliability of hydraulic components and therefore of hydraulic systems as well, may significantly decrease the planned exploitation life (Fitch, 1988), (Biočanin, Pavlović, 2011, pp.106-130), (Guberinić, Milojević, 2009, pp.31-45). Whether their state of matter is gas, liquid or solid, contaminants represent one of the factors that has the biggest impact on failures of hydraulic system components (Liang, et al, 1999, pp.278-298). Solid particles have a significantly destructive character compared to other contaminants (Chandrasekaran, et al, 1985, pp.219-222), (Lehner, Jacobs, 1995, pp.261-276), (Odi-Owei, Roylance, 1986, pp.239-255), (Williams,

Hyncica, 1992, pp.57-74) and they express it through a mechanism of abrasive and erosive wear (Fitch, Hong, 2004). Solid particles may get into a hydraulic system from the environment in which such a system operates (external contamination) or through internal contamination that is the result of the presence of solid particles in hydraulic fluid (so called "built-in" contamination), or as a result of the wear of operating parts of hydraulic components (Fitch, Hong, 2004).

Problems with using different fluids in hydraulic systems as well as the significance of decreasing the contaminants with regards to proper operation of a hydraulic system have been analyzed through various tests and applied to certain hydraulic components (pumps, valves, etc) (Totten, De Negri, 2011). In addition, the impact of contaminants, in the form of solid particles, on the wear of hydraulic components and systems was monitored through various tests carried out on certain components. It was also proved that solid particles cumulate in clearances of operating components, creating layers of contaminants that may lead to partial or total failure of a hydraulic system component (Jocanović, 2010).

Because of the above mentioned reasons and in order to prevent the increase of total production costs as well as to increase the reliability and efficiency, in modern automatized technological systems it has been insisted on the introduction of system condition monitoring which is the integral part of the preventive and proactive maintenance strategies (Jocanović, et al, 2012, pp.281-288). One should also bear in mind that requests for using the assets, measuring and other equipment needed for carrying out the condition monitoring, need to be valid from the aspect of rentability or, in special circumstances, from the aspect of reliability, regardless of the maintenance expenses and complexity of the technical system (for example military applications and the like).

This paper presents the impact of the contamination of working fluid in the excavator hydraulic system through an operating part – hydraulic hammer. It was noticed that due to the inappropriate design of the hammer and a wrong selection of the return filter in the excavator hydraulic system, during the operation, solid particles as contaminants penetrate inside the hydraulic system and increase the wear of the operating parts of hydraulic components (primarily the operating of the hydraulic pump), as well as the operating parts of the hydraulic hammer. For better understanding of the impact of hydraulic oil contamination with solid particles, this paper also includes a photo-documentation of critical parts of certain components that were damaged. In addition, a financial analysis was also carried out, which justifies the investment in equipment and additional filtering on machines that work in specific conditions.

The cross-sectional view (Figure 2) illustrates the operation of the hydraulic hammer which is performed in phases as follows:

- Phase 1: The working piston (P) moves upwards.

The hydraulic oil from the pressure line enters the chambers labeled by positions 11 and 18. The regulating valve (19) is pushed into the lower end position. The hammer working piston moves upwards compressing the gas into the compression chamber (15). The working fluid from chamber 14 is released towards the chamber (17) through the hole in the regulating valve (19), and from there, the oil is sent directly to the reservoir through the return line and the filtering system.

- Phase 2: Setting the regulating valve (19) in the upper position.

When the oil under pressure is pushed into the chamber (11), the hammer working piston moves upwards to the position when the chambers (12) and (16) are filled with oil. At the moment when the pressures are equal due to the difference in the surfaces affected by the pressure, the regulating valve (19) moves into the upper end position joining the chambers (18) and (14).

- Phase 3: The working piston moves downwards

When the chambers (14) and (18) are joined, the force which acts on the upper ring-shaped surface of the working piston in the chamber (14) together with the force created by the compressed gas the storage space of the chamber (15) moves the hammer working piston (P) into the lower working position.

- Phase 4: The working piston hits the chisel

When moving downwards, the working piston (P) hits the chisel (20). At that moment, the middle part of the piston joins the chambers (12) and (13) and, as a result, the chamber (16) on the lower side of the regulating valve (19) unloads as well. The force on the lower side of the regulating valve is smaller than on the upper side causing the regulating valve to return to the lower end position.

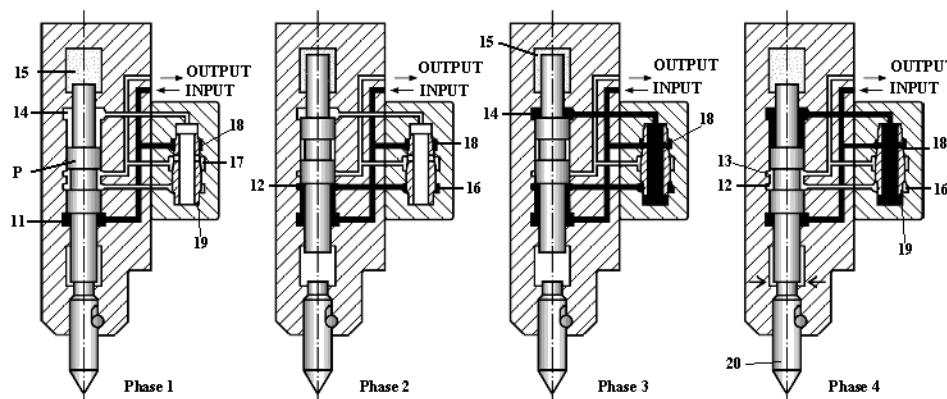


Figure 2 – Cross-sectional view of the hydraulic hammer and the operational phases

Slika 2 – Presek hidrauličnog čekića i njegove radne faze

The given description presents one operating cycle of the hydraulic hammer. The operating process of causing the hits of the hammer requires continuous repetition of the previously described cycle. From the aforementioned, it can be noticed that the operation of the hydraulic hammer represents a dynamic cycle of movements of certain hammer parts which, in order to work properly, also require certain conditions for long-term exploitation. One of such conditions is also keeping the working fluid clean.

Causes of Contamination in the Excavator Hydraulic System

In the excavator hydraulic system, it was visually noticed that, due to poor filtering of the filter block (Figure 1 – position 6) used in the excavator return line, the color of the hydraulic oil changes due to the presence of solid particles of cement dust, which affects the work and reliability of the excavator during the exploitation. Frequent failures of certain components in the system were noticed (of proportional and servo type). In order to prove the assumption relating to inadequate filtering, oil samples were taken from the reservoir (a reservoir volume of 250 liters) of the hydraulic excavator that had been exploited for 950 work hours. By imaging the content of solid particles in oil mass with a device type FCU 2045 HYDAC (Hydac International GmbH., 2010), we obtained the information about the oil purity class (Table 1).

By monitoring the contamination with solid particles, it is crucial to define the sources of contamination, and later, to spot and correct possible mistakes which cause contamination. When the filtering in the system is not appropriate, it generally leads to a constant increase of contaminants in the form of solid particles in the working fluid of the hydraulic system. In the case of an excavator, there were three basic causes of contamination of the working fluid.

Table 1 – Content of solid particles in the oil mass of the excavator hydraulic system
Tabela 1 – Sadržaj čvrstih čestica u uljnoj masi hidrauličnog sistema bagera

Description and the number of the sample	Number of operating hours [h]		Number of measured solid particles by size in the 100 ml sample				Purity class	
	excavator	oil	2 μm	5 μm	15 μm	25 μm	NAS 1638	ISO4406/88
Before filtering (1)	950	950	>>>	8,585.215	1,605.631	1,327.103	>15	24/23/21

>>> – too many particles immeasurable by the device

The executive part of the excavator hydraulic system, i.e. the hammer, was noticed as the first source of contamination (of an external character) during the monitoring process. Through the operating parts of the hammer, due to a mistake in the design (a poor sealing system), there is a penetration of a big quantity of solid particles washed down by the working fluid and distributed in the hydraulic system through the return line into the reservoir of the working fluid.

The second source of contamination (of an internal character) is the inadequate solution for filtering the working fluid in the return line of the hydraulic hammer system. With regards to the filter construction, the degree of the filtration rate is $\beta_x=200$ for $30\text{ }\mu\text{m}$ particles. However, the system has a built-in axial piston pump with the LS regulation and the group of proportional and servo valves for the operation of which one needs to provide filters with a degree of fineness between 2 and $5\text{ }\mu\text{m}$ in line with the old ISO 4406/87, or 4 and $6\text{ }\mu\text{m(c)}$ in line with the new ISO 4406/99 standard.

The third cause of contamination is the inadequately designed system of the hammer return line, especially the filter block (Figure 1 - position 6). During the monitoring process, it was noticed that there were some sudden rises of pressure in the filter housing which causes the tearing of the steel filter mesh (Figures 3 and 4) and the penetration of filth in the form of solid particles.

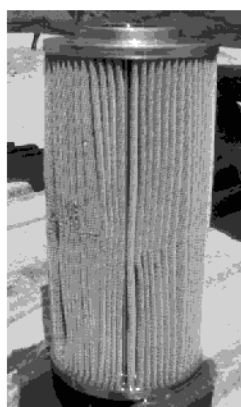


Figure 3 – Filter cartridge embedded in the return line of the hydraulic hammer system
Slika 3 – Filterski uložak, ugrađen u povratnom vodu hidrauličnog sistema čekića

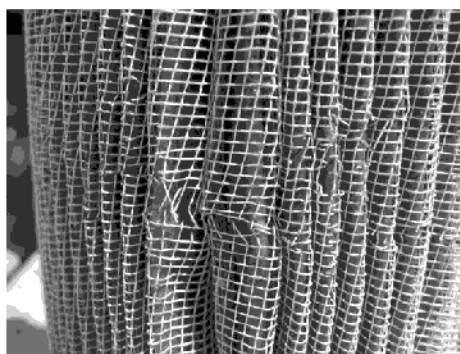


Figure 4 – Visible damage in the steel mesh and the filter medium
Slika 4 – Vidljiva oštećenja na čeličnoj mrežici filterskog uložka

In order to prove the previously mentioned facts, the contamination of the new fluid was measured before the system was put into operation and after a certain period of exploitation, and the measuring results are presented in Table 2. We also need to mention that filtering was executed with external, i.e. a secondary filtering system, and that the samples were taken from the reservoir in line with the prescribed sampling method.

Table 2 – Results of measuring solid particles in the excavator working fluid mass after oil change

Tabela 2 – Rezultati merenja čvrstih čestica u hidrauličnom sistemu bagera nakon zamene ulja

Description and the number of the sample	Number of operating hours [h]		Number of measured solid particles by size in the 100 ml sample				Purity class	
	Excavator	New oil	2 μm	5 μm	15 μm	20 μm	NAS 1638	ISO 4408/87
After filtering the new oil (2)	950	0	168.887	16.767	112	49	7	18/16/10
During the operation (3)	985	35	2.752.511	163.839	2.159	1.847	10	21/18/13
During the operation (4)	1230	280	4.227.071	1.261.567	34.047	37.375	13	23/21/17

As it can be noticed, the content of contaminants in the form of solid particles in the working fluid increased from satisfying purity class NAS 7 to unpermitted class NAS 10 for a very short period of operating time (35 hours) of the excavator in the extremely contaminated environment (cement industry environment). After 280 operating hours, the oil purity class increased to NAS 13 which represented a class of contamination at unpermitted level (Figure 5).

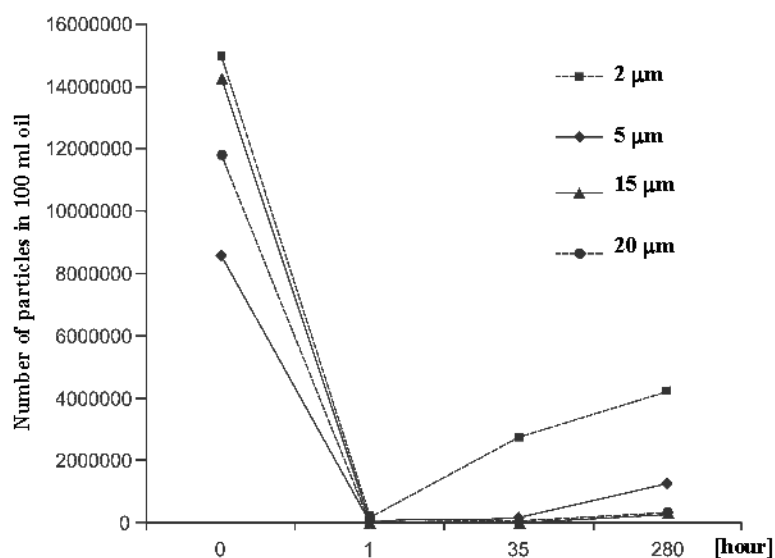


Figure 5 – Increase in the oil contamination level in 280 operating hours
Slika 5 – Povećanje kontaminacije ulja za 280 radnih časova

Since the excavator was within the warranty period, there was not any possibility to make any change on the hydraulic excavator system in agreement with the servicing staff. The servicing staff insisted that both oil and filters were supposed to be replaced even before the prescribed terms (prescribed replacement of filters after 1000 hours; changing oil after 5000 operating hours), ignoring the presented observations and reports relating to the operation and contamination of the working fluid in the hydraulic excavator system. It is also important to mention that during 1230 hours of the excavator operation, there were three replacements of filters in the hammer return line and one complete change of oil at 950 working hours.

Influence of Contaminants on the Damage of Hydraulic Excavator Components

Research on the negative impact of contaminants in the form of solid particles was done on a new excavator the exploitation life of which ended after only 1230 operating hours. Because of the inadequately designed hydraulic system, as well as due to a mistake in the design of the excavator hammer, the penetration of contaminants (particles originating from SiO_2 , MgO , CaO_3 , Al_2O_3) into the hydraulic system was at a very high level. The role of the filter in the system may be neglected because the filter did not do the work which, according to the system functioning plans, it was supposed to do.

Due to a poor design of the hammer sealing system, where there is only one seal for dust removal (Figure 6 – position 47), a great quantity of solid particles from the atmosphere of the cement industry work environment penetrated the housing of the hammer (Figure 6 – position 1). Solid particles that penetrated the interior of the hammer were washed down by the working fluid and sent to other parts of the hydraulic system, all the way to the reservoir, and after that the pump sent them again to the executive part and other components of the excavator hydraulic system. In this way, the level of contamination cyclically increased in the working fluid.

Due to the penetration of solid particles into the housing, damage occurred in the form of metal particles, as in Figure 7 which presents the interior of the hammer housing (Figure 6 - position 1) with the products of wear that occurred as a result of primarily abrasive wear and partially due to vibration. Figure 8 shows an enlarged image of the housing with the presence of particles and Figure 9 shows the assembly of the piston and the housing with the presence of accumulated solid particles after disassembling the hydraulic hammer. In the presented housing (Figure 9), there is a driving part of the hammer piston (Figure 6 - position 12) which is also presented in Figure 10 with visible traces of abrasive wear resulting from the performance of solid particles from the environment. Due to

the presence of contaminants, significant damage is visible on the hammer piston in the form of longitudinal scratches that occurred as a result of the abrasive impact of solid particles present in the oil and vibrations that occurred during the operation of the hammer.

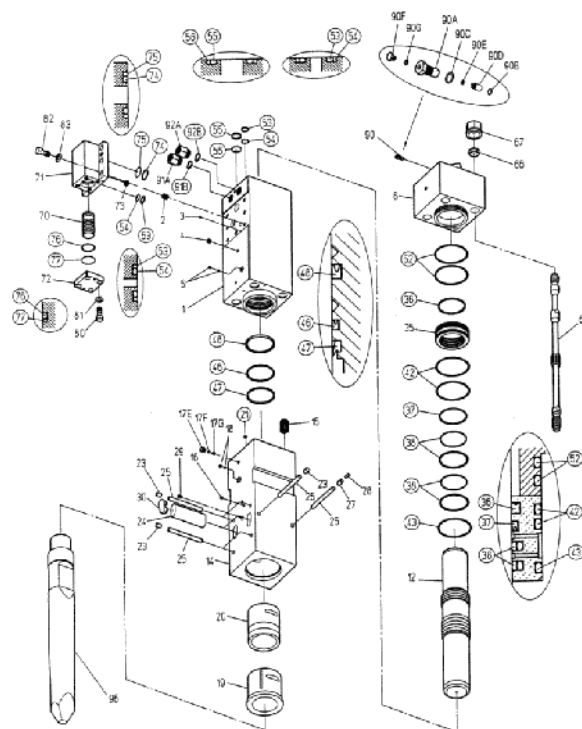


Figure 6 – Explosion scheme of the hydraulic hammer
Slika 6 – Detaljna šema hidrauličnog čekića



Figure 7 – Housing of the hammer with particles
Slika 7 – Kućište čekića sa vidljivim čvrstim česticama

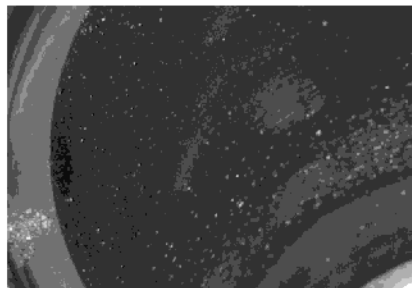


Figure 8 – Enlarged image of the housing with the mass of metal particles
Slika 8 – Uvećan prikaz kućišta sa metalnim česticama



Figure 9 – The assembly of the housing and the piston of the hammer with solid particles
Slika 9 – Sklop kućišta i klipa hidrauličnog čekića sa vidljivim čvrstim česticama

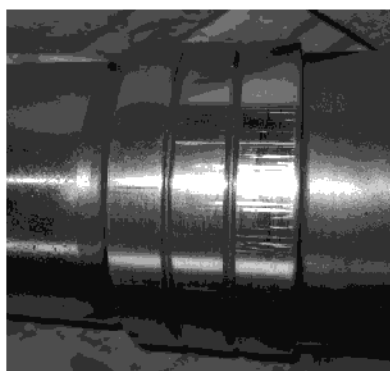


Figure 10 – Abrasive damage on the hammer piston
Slika 10 – Abrazivna oštećenja na klipu čekića

Solid particles present in the working fluid also caused the abrasive wear damage on the piston of the hammer regulating valve (Figure 6 – position 70) and it is shown in Figure 11.



Figure 11 – Abrasive damage of the regulating valve piston
Slika 11 – Abrazivna oštećenja na klipu regulacionog ventila

Besides the presented parts of only one operating assembly of the hydraulic hammer system, the hydraulic excavator system also had damage on other components, primarily on the axial piston pumps with the LS regulation as well as on the proportional control valves. On the basis of the detailed analyses of the damage causes, on the filter and other hydraulic components, we came up with an idea to use the equipment for monitoring the basic physical values (pressure, flow and temperature) in the return line and, based on these values, to state the cause of the mechanical failure of the filter cartridge.

Monitoring the Hydraulic Hammer System

In the hydraulic hammer system, on the return line that takes the oil out of the hammer housing through the filter block (Figure 1 - position 6), the sensors for measuring the pressure (Figure 12) were set up on the measuring points M1 and M2. Based on the measured values obtained through the multy handy diagnostic unit 2045 (Hydrotechnik UK, 2012), it was determined that when the hammer chambers 12, 13 and 16 were unloaded in phase 4 (Figure 2), the pressure dropped in the return line between the inlet (M2) and the outlet (M1) of the filter housing, to the value of $\Delta p=3.5$ bars (Figure 13). According to the manufacturer's recommendation, the pressure relief valve embedded in the housing of the filter was adjusted to open after the pressure had reached the value of $\Delta p_{max}=1.5$ bars. Due to the impact of variable pressure values of $\Delta p=3.5$ bars on the filter cartridge, or more specifically on the mesh and the filtering medium,

enormous force was generated leading to bending and twisting of the medium and steel protection of the filter cartridge. Due to the cyclic loading, the steel mesh became worn out and torn and the filter cartridge medium was splitted (Figures 3 and 4). This phenomenon was also identified after replacing the old filter cartridge with a new one. After only 250 operating hours, the same phenomenon and the damage happened again. Due to mechanical damage, the filter cartridge no longer performed its role and the contaminants that passed through clearances between the seals and the working piston went directly into the reservoir of the hydraulic system.

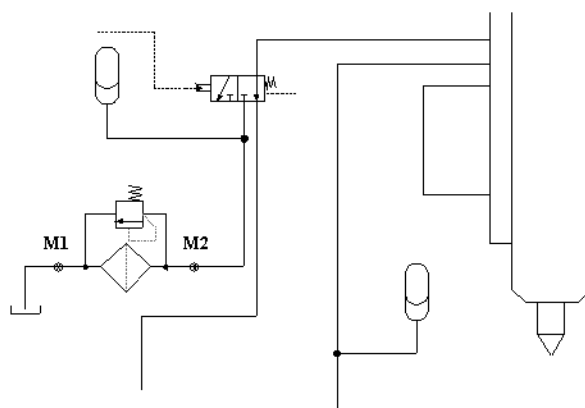


Figure 12 – Measuring points in the filter block of the hydraulic hammer system return line
Slika 12 – Merna mesta na filterskom bloku u povratnom cevovodu hidrauličnog sistema

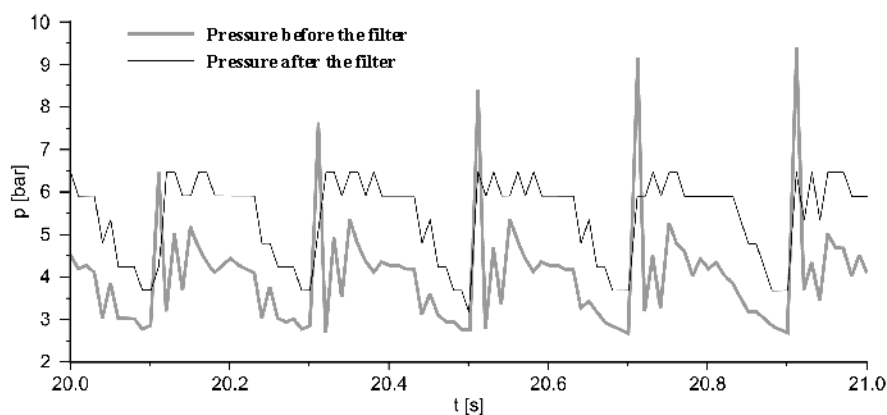


Figure 13 – Changes of pressure values in the filter block of the hammer return line
Slika 13 – Izmerene promene pritiska na filterskom bloku

After the monitoring process, the main cause of damage in the filter cartridge was determined and after that the source of contamination of the whole system was determined as well.

The solution to the problem was achieved in agreement with the excavator supplier who performed an adequate replacement of damaged components in the hydraulic system and fixed the defect in the hammer return line filter block by installing a filter with appropriate fineness of 4 $\mu\text{m(c)}$ and by setting the pressure relief valve in the filter block to the value of 1.5 bars. In addition, the hammer was replaced with another hammer with an appropriate structural design with an improved sealing system that prevented the excessive penetration of solid particles into the interior of the hammer. Also, a secondary filtering system was installed on the main reservoir of the hydraulic excavator system, with the capacity of 10% of the capacity of the main hydraulic pumps. A permanent solution was thus provided for additional filtering of the hydraulic working fluid and for keeping its pureness at the required level.

Techno-financial Analysis of the Breakdown

Due to the breakdown that occurred in the hydraulic system, the main cause of which was the excessive contamination with solid particles and improper filtration, the user of the excavator filed a claim for a replacement of components in the whole hydraulic excavator system. In negotiations with the manufacturer, after submitting adequate evidence, an agreement was reached to do so. Table 3 shows the costs of the new hydraulic hammer and the replaced hydraulic excavator system without executive elements (hydraulic cylinders were not replaced), as well as the costs of the secondary filtering system with a counter of solid particles and a sensor for measuring moisture in the oil mass that may timely signalize the operator when the level of contamination with solid particles in the system increases so that he/she may respond in time. Normally, the secondary system does not have to be connected to the hydraulic system all the time; it is used from time to time, for a certain number of operating hours, in order to separate the contaminants in the form of water and particularly solid particles.

Table 3 – The price of the equipment installed in the hydraulic excavator system
Tabela 3 – Cena opreme ugrađene u hidraulični sistem bagera

No.	Component type	Quantity	Costs (EUR)
1.	Hydraulic blocks with a set of regulating valves for controlling the power employed for movement, rotation and operation of the excavator arm	5 blocks	128,412.00
2.	Set of two axial piston pumps with the LS regulation	2 pieces	15,560.00
3.	Hydraulic drive motors for movement and rotation with the associated regulating valves in the block	3 pieces	24,954.00
4.	Hydraulic hammer	1 piece	29,530.00
		TOTAL:	198,456.00

No.	Component type	Quantity	Costs (EUR)
1.	Secondary filtering system with two filters of big capacity (pump capacity 25 liters/minute and filtration rating $\beta_x=200$ size 14 and 4 $\mu\text{m(c)}$).	1 piece	2,875.00
2.	Device for measuring solid particles and the moisture sensor	1 piece	4,870.00
3.	Price of the spare filter 14 or 4 $\mu\text{m(c)}$.	1 piece	200
		TOTAL:	7,945.00

Table 4 presents the financial analysis of all expenses relating to the breakdown, maintenance and repair of the excavator as well as the ratio of losses of the excavator owner and manufacturer.

Table 4 – The Cost analysis review
Tabela 4 – Analiza troškova

		Calculation element	Amount (EUR)	Note
Basic income parts of the excavator operation				
1.	Total cost of the excavator with a hammer		550.000,00	
2.	Annual income of the excavator with full operating hours	Number of operating hours: around 2000 Cost of excavator operating hour: 110 EU	210.000,00	Operating hour cost comprises the following expenses: amortization and loan, work force, energy substances, servicing, administration costs, insurance, company's profit
3.	Annual profit assessment	10% of profit	21.000,00	
Loss review				
1.	Lost income during the litigation (IP)	4 months	70.000,00	4 month long litigation
2.	Lost profit during the litigation (ID)	4 months	7.000,00	
3.	Work force costs during the litigation (TR)	4 months	6.000,00	
4.	Cost of replaced parts due to wear caused by oil contamination (TI)		198.456,00	Manufacturer covered the costs
5.	Cost of upgrading the filtering system (TF)		7.945,00	Manufacturer covered the costs
6.	Litigation expenses (oil change, examination, servicing the hammer and the excavator, expert's opinion) (OT)		30.000,00	Manufacturer and user shared the expenses fifty-fifty.
SUMMARY				
A	User's loss	TI + TF + 0,5 · OT	221.401,00	
B	Manufacturer's loss	ID + TR + 0,5 · OT	28.000,00	

In the table above, one may see that for the equipment which keeps the contamination level in the hydraulic system at the needed level, it was necessary to allocate only 4% of the total amount that was needed to bring the excavator to the proper operating condition. Since this is a negligible amount compared to the total value of the excavator, the general conclusion in this analysis would be that for the assets invested in the secondary filtering system that should maintain the level of oil cleanliness at a required level, far more is returned through reliability and efficiency of the excavator during the operation. The best indicator that the application of diagnostics and the system for keeping the level of contamination at a required level is done properly is the fact that during the exploitation of 4500 operating hours the excavator operated without any failures after the replacement of its hydraulic components.

Conclusion

A proper application of diagnostics and appropriate maintenance of the hydraulic system led to the conclusions as follows:

- By applying diagnostics to certain operating parameters of the hydraulic system (such as pressure, flow, fluid operating temperature, temperature of critical components, etc.) and by monitoring the contamination level, it is possible to determine the cause of failures or failures of certain parts in the hydraulic system or the whole system. In addition, with a proper use of certain diagnostic devices, and by knowing the critical points in the system, the system parts and components working under the largest loads can be identified, as well as the values of certain operating parameters that may lead to a failure of a component,

- By constantly monitoring the operating parameters in the hydraulic system and a level of contamination through automatic control, it is possible to forecast adequately and act preventively in order to remove the potential causes of system failure,

By an appropriate replacement and a proper choice of critical parts in the hydraulic system, the overall reliability of the hydraulic system is upgraded as well as the productivity and efficiency of the system,

- With minimum investments in corresponding equipment for keeping the contamination level in the hydraulic system, multiple expenses of hydraulic system maintenance are decreased, providing a proper and long-lasting operation of the hydraulic system.

In conclusion, it can be said that for maintaining a hydraulic system it is necessary to apply certain diagnostic measures during the operation of a modern hydraulic system, as well as appropriate systems for keeping the pureness of the working fluid at the level required for pro-

per operation of the system. The symbiosis between diagnostics and devices for controlling the working fluids, especially hydraulic oils, has been lately recognized as unavoidable and it requires the increasing application and installation of these devices as standard parts in modern machines.

Literatura

Biočanin, S., & Pavlović, M. 2011. Determining the optimal periodicity of the V46-6 engine preventive maintenance. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 59(3), pp. 106-130. doi:10.5937/vojtehg1103106

Chandrasekaran, S., Khemchandani, M.V., & Sharma, J.P. 1985. Effect of Abrasive Contaminants on Scuffing. *Tribology International*, 18(3), pp. 219-222.

Fitch, E.C. 1988. Fluid contamination control. Stillwater, OK, USA: FES Inc..

Fitch, E.C., & Hong, I.T. 2004. Hydraulic System Design for Service Assurance. Stillwater, Oklahoma, USA: Bar Dyne Inc.

Guberinić, R., & Milojević, I. 2009. Određivanje funkcije pouzdanosti motornih vozila kao složenog tehničkog sistema. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 57(2), pp. 31-45.

Hydac International GmbH. Fluid Control Unit FCU 2000 Series Catalogue 2010. Germany: Hydac International GmbH..

Hydrotechnik UK. 2012. Industrial test & measurement equipment - Product Catalogue. United Kingdom: Hydrotechnik UK.

Jocanovic, M. 2010. Approach to Research and Define the Model for the Calculation of Flow of Solid Particles with a Mass of Mineral Oil through the Gaps in a Function of the Constructive Operating Parameters of Hydraulic Components. University of Novi Sad.

Jocanović, M., Šević, D., Karanović, V., Beker, I., & Dudić, S. 2012. Increased Efficiency of Hydraulic Systems Through Reliability Theory and Monitoring of System Operating Parameters. *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 58(4), pp. 281-288. doi:10.5545/sv-jme.2011.084

Lehner, S., & Jacobs, G. 1995. Contamination Sensitivity of Hydraulic Pumps and Valves. . In: *Proceedings of Tribology of Hydraulic Pump Testing*, USA, December 4-5. , pp. 261-276

Liang, H., Mizuno, K., Totten, G.E., & Bishop, R.J. 1999. Fundamental Hydraulic Wear Processes. In: *Proceedings of Hydraulic Failure Analysis: Fluids, Components, and System Effects*, Reno, December 5-6. , pp. 278-298

Odi-Owei, S., & Roylance, B.J. 1986. The Effect of Solid Contamination on the Wear and Critical Failure Load in a Sliding Lubricated Contact. *Wear*, 112(3), pp. 239-255.

Totten, G.E., & de Negri, V.J. 2011. Handbook of hydraulic fluid technology. USA: CRC Press.

Williams, J.A., & Hyncica, A.M. 1992. Mechanisms of Abrasive Wear in Lubricated Contacts. *Wear*, 152(1), pp. 57-74.

OTKAZ HIDRAULIČNOG SISTEMA ČEKIĆA KAO POSLEDICA KONTAMINACIJE ČVRSTIM ČESTICAMA

OBLAST: mašinstvo

TIP ČLANKA: originalni naučni članak

Rezime:

Hidraulični sistemi mobilnih mašina su često kontaminirani čvrstim česticama. Čvrste čestice povećavaju intenzitet abrazivnog habanja hidrauličnih komponentata, i čine jednim od glavnih uzročnika otkaza sistema. U radu je dat prikaz reprezentativnog primera uticaja čvrstih čestica na povećano habanje delova hidrauličnog čekića bagera u eksploatacionim uslovima bagera u cementnoj industriji.

Uvod

Kontaminacija radnog fluida hidrauličnog sistema, jedan je od najvećih neprijatelja mobilnih mašina. Na mobilnim mašinama, koje se obično koriste u kontaminiranoj sredini, potrebno je pravilnim projektovanjem zaštititi hidraulični sistem posebno od eksterne kontaminacije. Uticaj kontaminanata na rad i pouzdanost hidrauličnih komponentata, a time i hidrauličnih sistema, može značajno da smanji planirani eksploatacioni vek.

U radu je dat prikaz uticaja kontaminacije radnog fluida hidrauličnog sistema bagera preko radnog dela, hidrauličnog čekića. Uočeno je da zbog loše konstrukcije čekića i nepravilnog izbora povratnog filtera u hidrauličnom sistemu bagera, u toku rada dolazi do prodora kontaminanata u vidu čvrstih čestica koje dovode do povećanja habanja radnih delova hidrauličnih komponentata (prvenstveno pogonske hidraulične pumpe) kao i radnih delova hidrauličnog čekića. Da bi se shvatio uticaj kontaminacije hidrauličnog ulja čvrstim česticama, u radu je priložena foto-dokumentacija kritičnih delova pojedinih komponenti koje su oštećene. Takođe, izvršena je ekonomska analiza koja ukazuje na potrebu da se na mobilnim mašinama izvrši adekvatno filtriranje hidrauličnog fluida.

Opis rada hidrauličnog sistema čekića

Dat je opis jednog radnog ciklusa hidrauličnog čekića. Radni proces izazivanja udaraca čekićem zahteva kontinualno ponavljanje prethodno opisanog ciklusa. Iz navedenog se vidi da je rad hidrauličnog čekića veoma dinamičan ciklus kretanja određenih delova čekića, koji da bi ispravno radili zahtevaju i određene uslove za dugotrajnu eksploataciju. Jedan od tih uslova je i održavanje radnog fluida čistim.

Uzročnici kontaminacije na hidrauličnom sistemu bagera

Priložena fotodokumentacija daje prikaz jednog od glavnih uzročnika povećane koncentracije kontaminanata u fluidu – neispravan filterski uložak, koji se usled cikličnih opterećenja habao i nije vršio zadatu funkciju.

Uticaj kontaminanata na oštećenje hidrauličnih komponenata bagera

Na priloženim slikama uočavaju se tragovi abrazivnog habanja kao glavne vrste trošenja radnih elemenat hidrauličnog čekića, koji su nastali kao posledica prodora ogromne količine kontaminanata u vidu čvrstih čestica cementne i betonske prašine u hidraulični sistem bagera.

Monitoring hidrauličnog sistema čekića

U hidrauličnom sistemu bagera i radnog sklopa – hidrauličnog čekića, uz pomoć uređaja za snimanje čvrstih čestica u radnom fluidu, otkriveni su glavni uzročnici kontaminacije koji su doveli do relativno brzog zastoja hidrauličnog sistema i čekića.

Tehno ekonomska analiza nastale havarije

Iz izvedene analize se vidi da je za opremu kojom se održava nivo kontaminacije u hidrauličnom sistemu na potrebnom nivou neophodno izdvojiti svega 4% od ukupne sume koja je bila potrebna da se bager dovede u ispravno stanje. Kako je ovo zanemariva cifra u odnosu na ukupnu vrednost bagera, opšti zaključak u ovoj analizi je da se za uložena sredstva u sekundarni sistem filtriranja kojim se postiže nivo održavanja uljnog punjenja na potrebnom nivou, daleko više vraća kroz pouzdanost i efikasnost bagera u toku rada.

Zaključak

Pravilna primena dijagnostike i odgovarajuće održavanje hidrauličnog sistema ukazuje na sledeće zaključke:

- *Određenim dijagnostičkim uređajima i njihovom pravilnom primenom i poznavanjem kritičnih tačaka u sistemu mogu se utvrditi delovi i komponente u sistemu koji podnose najveća opterećenja kao i vrednosti određenih radnih parametara koji mogu dovesti do zastoja ili otkaza komponente,*
- *stalnim praćenjem radnih parametara u hidrauličnom sistemu i nivoa kontaminacije putem automatske kontrole, moguće je na adekvatan način predvideti i preventivno delovati kako bi se otklonile potencijalni uzroci otkaza sistema,*
- *odgovarajućom zamenom i pravilnim izborom kritičnih delova u hidrauličkom sistemu, poviše se ukupna pouzdanost hidrauličnog sistema kao i produktivnost i efikasnost sistema,*
- *uz minimalna ulaganja u odgovarajuću opremu za održavanje nivoa kontaminacije u hidrauličnom sistemu, smanjuju se višestruki troškovi održavanja hidrauličnog sistema i obezbeđuje pravilan i dugotrajan rad hidrauličnog sistema.*

Ključne reči: *čvrste čestice, bageri, hidraulika, habanja.*

Datum prijema članka/Paper received on: 16. 10. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 02. 11. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 04. 11. 2013.

КРЫЛО ЗАМКНУТОГО ТИПА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА

Леонид Иванович Гречихин

Минский государственный высший авиационный колледж,
Минск, Республика Беларусь

DOI: 10.5937/vojtechg62-4739

ОБЛАСТЬ: машиностроение, авиация

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная работа

Краткое содержание:

Разработана аэродинамика замкнутого овального крыла эллипсоидальной формы с применением молекулярно-кинетической теории. Выявлены положительные и отрицательные качества летательного аппарата с овальным крылом. Осуществлена экспериментальная проверка теоретических расчетов.

Ключевые слова: овальное крыло, беспилотные летательные аппараты, аэродинамика.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (ЛА) нашли широкое применение в народном хозяйстве и в военных целях. Это регулирование движением автотранспорта в больших городах, картография, контроль разлива рек, контроль возгорания лесных массивов др., а в военных целях – для разведки, доразведки и нанесения военных ударов по противнику неуправляемыми и управляемыми авиабомбами, а также разведовательно-ударными комплексами. Развитие авиации вообще и легкомоторной в частности идет по пути увеличения соотношения между полезной нагрузкой и полным весом летательного аппарата, что является основным показателем его эффективности. Также важным является сочетание достаточной скорости полета, высокой маневренности летательного аппарата с небольшими скоростями взлета и посадки. Эти задачи решаются улучшением аэродинамических характеристик летательного аппарата, что достигается совершенствованием его аэродинамической формы. В этом плане возникает цель рассмотреть возможности крыла замкнутого типа для уменьшения габаритов ЛА, увеличения дли-

тельности его полета, а также увеличения его аэродинамического качества. Решение поставленной цели ставит следующие задачи:

- разработать аэродинамику обтекания крыла замкнутого типа;
- произвести расчет аэродинамического качества в разных условиях полета;
- изготовить крыло замкнутого типа и проверить его в полете;
- выяснить положительные и отрицательные качества крыла замкнутого типа.

Последовательно рассмотрим поставленные задачи.

Аэродинамика крыла замкнутого типа

Впервые самолет с замкнутым овальным крылом был изготовлен и испытан в Белоруссии в 2004 г. На эту модель получен патент (Анохин, Гречихин, Гуцин и др., 2010). В дальнейшем на беспилотный летательный аппарат с замкнутым овальным крылом был получен патент (Анохин, Гречихин, Гуцин и др., 2011). Расчет аэродинамического обтекания пилотируемого самолета с овальным крылом был выполнен автором и опубликован в (Гречихин, Лапцевич, Куць, 2012). В настоящей работе рассмотрим аэродинамику замкнутого овального крыла для беспилотного летательного аппарата, которое было изготовлено и испытано группой энтузиастов во главе с известным летчиком Анохиным А.М. Примерные размеры овального крыла: длина 1300 мм, высота 360 мм и ширина 300 мм.

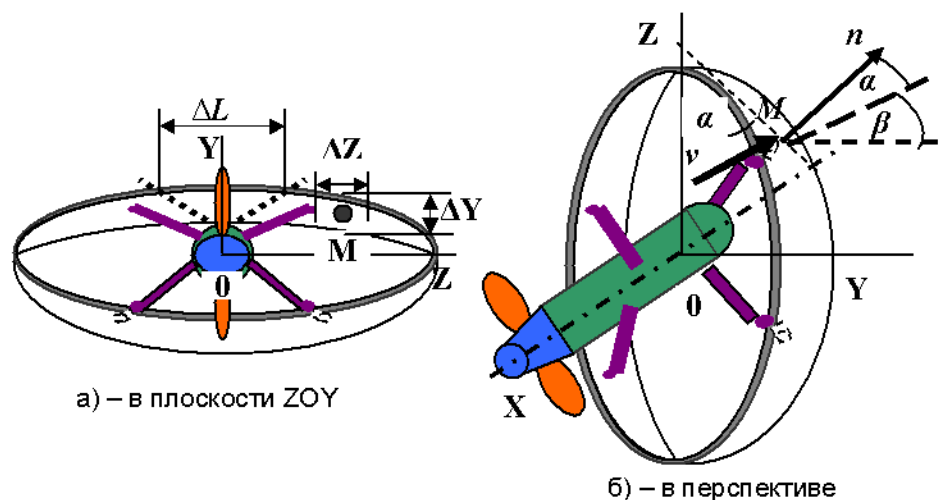


Рисунок 1 – Схема взаимодействия замкнутого овального крыла эллипсоидальной формы с воздушным потоком

Figure 1 – Scheme of the interaction of the closed oval elipsoidal wing with air flow

На рис. 1. показана схема взаимодействия замкнутого овального крыла эллипсоидальной формы с воздушным потоком. На удалении z от центра эллипса выделим элемент площади $\Delta S = \Delta z \Delta y$ (рис. 1а). Вдоль оси Z производится интегрирование, а вдоль оси Y величина Δy связана с шириной замкнутого крыла δ следующим образом

$$\Delta y = \delta \sin \beta \cos \alpha, \quad (1)$$

где угол α определяется путем нахождения производной dy/dz , а угол β – угол атаки.

$$\alpha = \arctg \left(\frac{bz}{a^2} \frac{1}{\sqrt{1 - z^2/a^2}} \right). \quad (2)$$

Здесь a и b большая и малая полуоси эллипса, формирующие контур эллипсоидального замкнутого крыла.

Величина взаимодействующей массы воздуха за время Δt с элементом поверхности ΔS

$$\Delta m = \rho \delta \Delta z \sin \beta \cos \alpha v \Delta t, \quad (3)$$

где ρ – плотность окружающего воздуха.

Скорость воздуха, падающего на площадку ΔS ,

$$v = \begin{cases} v_e + v_c & \text{за винтом;} \\ v_c & \text{вне винта.} \end{cases} \quad (4)$$

Усредненная скорость движения потока воздуха отбрасываемого винтом на основании закона сохранения энергии

$$v_e = \sqrt[3]{\frac{P_x}{\pi r_e^2 \rho}}, \quad (5)$$

а скорость движения ЛА v_c задается исходя из его общего веса и значения установочного угла атаки.

Изменение импульса вдоль нормали к поверхности за время Δt определяет силу действия на элемент поверхности ΔS , т.е.,

$$\Delta F_{n,yo} = \frac{\Delta m 2v}{\Delta t} = \left\{ \begin{array}{l} 2\rho \delta \Delta z \sin^2 \beta \cos \alpha (v_e + v_c)^2 \text{ за винтом} \\ \rho \delta \Delta z \sin^2 \beta \cos \alpha v_c^2 \text{ вне потока за винтом} \end{array} \right\} \quad (6)$$

Вдоль поверхности поток воздуха движется со скоростью

$$v_{\tau} = v \cos \beta. \quad (7)$$

Тангенциальная составляющая потока воздуха обуславливает возникновения силы, вследствие действия закона Бернулли.

$$\Delta F_{n,E} = 0,5 \rho v_{\tau}^2 \delta \sin \beta \Delta z. \quad (8)$$

Результирующее взаимодействие потока воздуха с элементом поверхности ΔS вдоль оси Y-в создает подъемную силу, а вдоль оси X-в лобовое сопротивление. Тогда подъемная сила и сила лобового сопротивления будут равны

$$\begin{aligned} P'_y &= \int_0^a \cos \beta (dF_{n,y\delta} - dF_{n,E}) \\ P'_x &= \int_0^a \sin \beta (dF_{n,y\delta} - dF_{n,E}) \end{aligned} \quad (9)$$

При вычислении интегралов (9) следует учитывать долю длины крыла, которая находится в потоке воздуха, отбрасываемого винтом, и изменение скорости вдоль радиуса винта. Чтобы поток воздуха за винтом существенно не изменялся вдоль радиуса винта, применяют разную крутку с изменением ширины винта. На малых беспилотных летательных аппаратах применяют в основном высокооборотные винты, для которых за винтом реализуется достаточно равномерный поток воздуха.

Если известен радиус винта r_0 , то расстояние вдоль оси Z, на котором следует учитывать поток воздуха, отбрасываемый винтом, находится по формуле:

$$z_k = a \sqrt{\frac{r_0^2 - b^2}{a^2 - b^2}}. \quad (10)$$

Зная скорость потока воздуха за винтом и результирующую скорость полета ЛА, находим его лобовое сопротивление и подъемную силу.

Аэродинамическое качество

Расчет аэродинамического качества был выполнен при мощности потребления электромотором $N_0 = 175$ Вт для веса ЛА ~ 3 кг с высокооборотным винтом Graupner 12x6, параметры которого указа-

ны в табл. 1 (Гречихин, Лапцевич, Куць, 2012). Коэффициент передачи этой мощности непосредственно на винт составляет 0,95. Полагаем, что вся мощность, потребляемая винтом, преобразуется в мощность отбрасываемого потока воздуха. Тогда реализуется следующее равенство

$$\pi r^2 \rho v_e^3 = 0,95 N_d. \quad (11)$$

Таблица 1 – Параметры отдельного элемента лопасти высокоскоростного винта Graupner 12х6 $r = 220$ мм

Table 1 – Parameters of the separated element of the high-speed fan blade of the Graupner type

Длина, мм	17	33,8	50,7	67,5	84,4	101	118	135	152
Ширина, мм	-	14,6	21	19	17,8	17,0	16,5	14	3
Толщина, м	-	6,5	2,4	2,0	2,0	1,75	1,5	1,3	0
Угол круч./ крит. угол, град	-	35 ⁰	26 ⁰ / 20,5	19 ⁰ / 17,6	18 ⁰ / 18,7	13 ⁰ / 17,4	9 ⁰ / 15,5	5 ⁰ / 15,8	3 ⁰
Эллипсоид. поверхность, a/b , мм	-	-	6,9/ 2,4	6,3/ 2,0	5,9/ 2,0	5,6/ 1,75	5,4/ 1,5	4,6/ 1,3	-
Внешний радиус, мм	-	-	42,6	41,3	36,4	38,0	41,8	34,6	-
Внутренний радиус, мм	-	-	31,5	27,3	29,8	33,9	∞	∞	-
Плоская поверх., мм	-	-	6,9	6,3	5,9	5,6	5,4	4,6	-

Из равенства (11) получаем следующее значение среднеэффективной скорости потока воздуха за винтом $\sim 9,46$ м/с (или ~ 34 км/ч).

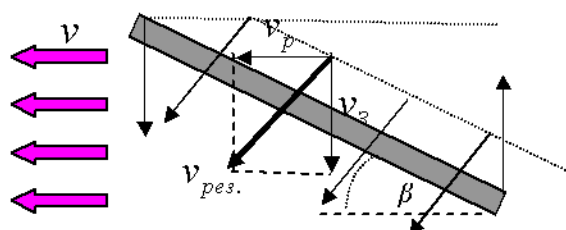


Рисунок 2 – Схематическое изображение заполнения зоны разрежения
Figure 2 – Scheme of the displacement flow

При угле атаки отличном от нуля за крылом возникает зона разрежения. Характер течения воздуха в теневой области винта показан на рис. 2. В зоне разрежения непосредственно за крылом образуется зона полного вакуума, которая заполняется молекулами окру-

жающего воздуха сверху и снизу со скоростью звука $v_{\text{зв}} = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m_a}}$, а

заполнение зоны разрежения вдоль направления движения крыла также со скоростью звука, но которая ослаблена скоростью движения крыла, т.е., $v_p - v_{\text{зв}} - v$. При этом давление в зоне разрежения равно (Гречихин, Куць, 2013)

$$P_e = P_\infty \exp\left(-\frac{m_a v^2}{2k_B T}\right) \quad (12)$$

где P_∞ – давление воздуха в окружающей среде и $v = v_e + v_c$, или $v = v_c$.

В заданном направлении движется только 1/6 часть всех молекул, а с учетом косинусного распределения составит несколько большее количество, т.е., 1/4. За время Δt масса воздуха на элемент поверхности $\Delta S = \Delta z \delta \cos \alpha \sin \beta$ на основании рис. 2 выразится так

$$\Delta m = \frac{1}{4} m_a \frac{P_e}{k_B T} \delta \cos \alpha \sin \beta v \Delta z \Delta t. \quad (13)$$

Заполнение зоны разрежения происходит со скоростью звука с верхней и нижней кромки крыла. При этом с нижней кромки крыла заполнение запаздывает. Поэтому при малых углах атаки β столкновение потоков воздуха возникающих с верхней и нижней кромок крыла с образованием вихрей происходит за нижней кромкой крыла и этот процесс не влияет на динамику заполнения зоны разрежения. Поэтому результирующий поток воздуха в зоне разрежения определяется «сверху вниз» т.е., с верхней кромки крыла со скоростью звука.

Нормальная и тангенциальная составляющие результирующей скорости заполнения зоны разрежения в срывном течении

$$v_n = v_{\text{зв}} \cos \alpha \cos \beta \text{ и } v_\tau = v_{\text{зв}} \sin \alpha \sin \beta. \quad (14)$$

Нормальная составляющая результирующей скорости ударно воздействует на внутреннюю поверхность овального крыла, а тангенциальная составляющая – газодинамическую силу давления, обусловленную законом Бернулли. Обе эти силы действуют взаимно противоположно и соответственно равны

$$\begin{aligned} \Delta F_{n,\text{уд}} &= 2m_a \frac{P_e}{k_B T} \delta \cos \alpha \sin \beta v v_n \Delta z; \\ \Delta F_{n,\text{Б}} &= \frac{1}{2} m_a \frac{P_e}{k_B T} \delta v_\tau^2 \Delta z. \end{aligned} \quad (15)$$

$v = v_e + v_c$ при $z = z_k$ и $v = v_c$ при $z > z_k$.

Результирующая подъемная сила и лобовое сопротивление с обратной стороны определяются интегралами вида

$$\begin{aligned} P'_Y &= A \int_0^{z_k} \cos \alpha \cos(\beta) (-dF_{n,yd} + dF_{n,E}) + 0,5A \int_{z_k}^a \cos \alpha \cos(\beta) (-dF_{n,yd} + dF_{n,E}); \\ P'_X &= A \int_0^{z_k} \sin \alpha \sin(\beta) (-dF_{n,yd} + dF_{n,E}) + 0,5A \int_{z_k}^a \sin \alpha \sin(\beta) (-dF_{n,yd} + dF_{n,E}). \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь $A = m_a P_e \delta L / k_B T$, где для первого интеграла $L = z_k$, а для второго интеграл $L = a - z_k$.

Конкретные результаты расчета лобового сопротивления, подъемной силы и аэродинамического качества для овального крыла в зависимости от скорости полета приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость лобового сопротивления, угла атаки и аэродинамического качества от скорости движения ЛА при установочном угле равно нулю и скорости отбрасывания воздуха винтом 9,46 м/с

Table 2 – Dependence of resistance, attack angle and aerodynamical characteristics on the aircraft speed for the installation angle equal to zero and the speed of air thrust by blades of 9.46 m/s

Параметры	Скорость движения ЛА, м/с							
	3,5	5	10,3	15	20	25	30	35
P_y , гГ	2,98	3,01	3,03	3,06	3,09	3,04	3,05	3,08
P_x , кГ	0,45	0,13	0,051	0,036	0,029	0,024	0,021	0,020
α , град	31	12	4,5	2,9	2,1	1,6	1,3	1,1
P_y/P_x	6,5	22,5	59,6	84,4	105,7	126,8	143,8	157,8
N_0 , Вт	3,2	6,56	5,14	5,33	5,73	5,88	6,23	6,70
t_n , час	0	2,6	3,3	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5

Оптимальная скорость 10,3 м/с выделена.

Из табл. 2 следует:

1. При начальной скорости полета менее 3,5 м/с ЛА с рассмотренным размером овального крыла в принципе совершать полет не сможет. Чтобы осуществить полет ЛА весом 3 кГ при скорости 2-3 м/с следует увеличить размеры овального крыла.

2. ЛА с овальным крылом может запускаться «с рук», придав начальную скорость несколько более 3,5 м/с, и при этом необходимо угол атаки обеспечить примерно 30° .

4. По мере увеличения скорости полета угол атаки уменьшается и при скорости полета 90 км/ч достигает $\sim 1,6^\circ$. Такой угол атаки является для данного крыла установочным.

5. При посадке скорость вращения винта уменьшается, тяга падает, хвостовое оперение опускается, и соприкосновение с земной поверхностью осуществляется хвостовым оперением, что существенно снижает вероятность поломки ЛА и не нуждается в использовании парашюта. Парашютирование осуществляется автоматически.

6. Подъемная сила и лобовое сопротивление овального крыла на всех скоростях полета обеспечиваются только работой тянущего винта. Поэтому при максимальном времени полета ЛА с замкнутым овальным крылом его скорость составит $v_c \approx N_o / P_x \approx 35 \div 40$ км/ч. Если используется аккумулятор (LIP 18650-45) емкостью $Q = 1,4$ А·ч с выходным напряжением $U = 12$ В, то электромотор при средней скорости полета ЛА 37 км/ч будет потреблять мощность 5,1 Вт, что обеспечит время нахождения ЛА в воздухе без учета лобового сопротивления фюзеляжа $t = QU / \bar{N}_o \approx 3,3$ часа. Для микро ЛА с электрическим приводом это вполне приемлемое время. При наличии фюзеляжа время полета резко уменьшится, т.к. существенно возрастет мощность потребления энергии от аккумулятора.



Рисунок 3 – Крыло замкнутого типа в момент запуска «с рук». Железный стержень имел вес 3 кг

Figure 3 – Closed-type wing at the moment of hand launch. The iron bar is 3kg heavy

Экспериментальные исследования

Крыло было изготовлено и испытано в полете. На рис. 3 показан ЛА весом 3 кг с замкнутым крылом в момент его запуска. В процессе проведения испытаний летательный аппарат совершал разные маневры и даже выполнял петлю Нестерова. Качественно теоретический расчет вполне удовлетворительно подтвердился экспериментально.

Положительные качества ЛА с овальным крылом замкнутого типа

Отметим наиболее существенные положительные качества ЛА с овальным крылом замкнутого типа:

- по сравнению со стандартной схемой ЛА (моноплан) обладает меньшими габаритами;
- не нуждается во взлетно-посадочной полосе;
- обладает парашютными свойствами;
- обладает высоким аэродинамическим качеством;
- крыло может быть выполнено в виде простой свернутой металлической ленты или в виде каркаса, обтянутого полотном;
- не нуждается в дополнительных элементах управления, размещенных непосредственно на крыле;
- по экономическим показателям превосходит наземный транспорт;
- может совершать полет в любых погодных условиях;
- управление полетом осуществляется только рулем высоты и рулем направления.

Отрицательные качества ЛА с овальным крылом замкнутого типа

Недостатки отмечены следующие:

- подъемная сила овального крыла замкнутого типа формируется в основном центральной частью крыла за работающим винтом, что составляет примерно 20% от всей длины крыла, а остальная конструкция крыла практически не участвует в создании подъемной силы;
- размещение фюзеляжа в центре овального крыла создает не только положительную интерференцию, но и отрицательную, которая не достаточно еще изучена;
- парашютные свойства обеспечиваются совместно с работой винта, и отключается винт в момент касания летательным аппаратом земной поверхности, а полное выключение винта вследствие какой либо аварии не обеспечит необходимого парашютирования.

Выводы

Летательный аппарат с овальным крылом замкнутого типа является новым направлением развития авиационной техники. Будущее за овальным крылом замкнутого типа, а с введением дополнительной механизации в крыло позволит резко снизить экономические затраты на авиационные перевозки. Применение вихревых тепловых насосов в областях, где овальное крыло не участвует в формировании подъемной силы, как это рассмотрено в (Гречихин, Лапцевич, Куць, 2012), (Гречихин, Куць, 2013) позволит полностью отказаться от углеводородного топлива и использовать только электрическую трансмиссию в гибридном исполнении.

Литература

Анохин, А.М., Гречихин, Л.И., Гущин, А.Л., & и др., 2010. *Крыло летательного аппарата. Патент РБ № 13863 с приоритетом, 30.12.2010 г.*

Анохин, А.М., Гречихин, Л.И., Гущин, А.Л., & и др., 2011. *Летательный аппарат. Патент РФ на полезную модель № 107766 с приоритетом 24.03. 2011.*

Гречихин, Л.И., Лапцевич, А.А., & Куць, Н.Г. 2012. *Аэродинамика летательных аппаратов*. Мн.: ИООО «Право и экономика», стр. 285.

Гречихин, Л.И., & Куць, Н.Г. 2013. *Энергетические комплексы на транспорте*. Мн.: ИООО «Право и экономика», стр. 259.

KRILLO ZATVORENOG TIPa ZA BESPILOTNE LETELICE: POZITIVNE I NEGATIVNE KARAKTERISTIKE

Leonid Ivanovič Grečihin
Državni viši koledž za vojno vazduhoplovstvo u Minsku,
Republika Belorusija

OBLAST: mašinstvo, vazduhoplovstvo
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U radu je razrađena aerodinamika zatvorenog krila ovalnog elipsastog oblika, sa upotrebom molekularno-kinetičke teorije. Opisane su pozitivne i negativne karakteristike letelica sa ovalnim krilima. Izvršena je eksperimentalna provera teorijskih proračuna.

Ključne reči: ovalno krilo, bespilotne letelice, aerodinamika.

CLOSED-TYPE WING FOR DRONES: POSITIVE AND NEGATIVE CHARACTERISTICS

Leonid Ivanovich Gretchihin

Minsk State Higher Aviation College, Department of Natural Science Disciplines, Minsk, Republic of Belarus

FIELD: Mechanics, Aviation

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

The paper presents the aerodynamics of a wing of a closed oval ellipsoidal shape, designed with the use of the molecular-kinetic theory. The positive and negative characteristics of aircraft – drones with an oval wing are described. The theoretical calculations have been experimentally checked.

Key words: oval wing; drones; aerodynamics.

Дата получения работы/Paper received on: 25. 10. 2013.

Дата получения исправленной версии работы/Manuscript corrections submitted on: 13. 11. 2013.

Дата окончательного согласования работы /Paper accepted for publishing on: 15. 11. 2013.

PREGLEDNI ČLANCI REVIEW PAPERS

ODREĐIVANJE TEŽINA KRITERIJUMA PRIMENOM RANGIRANJA

Milić R. Milićević, Marjan A. Milenković

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Centar za istraživanja u oblasti logistike odbrane, Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-3878

OBLAST: računarstvo i informatika:
teorija odlučivanja i kvantitativne metode

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

Summary:

U radu su prikazani mogući načini određivanja težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma. Prikazane su metode: linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera, inverznih težina, centroida rangova, sume rangova, raspodele verovatnoća rangova i geometrijskih težina. Kada u procesu rangiranja učestvuje više eksperata prikazana je mogućnost objedinjavanja rangova (težina) kriterijuma primenom izabranih matematičkih metoda, metoda teorije društvenog izbora i medijane Kemenija. Na jednom numeričkom primeru prikazana je primena izabranih metoda uz komentar dobijenih rezultata.

Osnovni cilj rada jeste prikaz mogućih načina određivanja težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma koji su odredili jedan ili više eksperata, korišćenjem više literaturnih izvora informacija.

Ključne reči: težine, rangiranje, medijana, kriterijum.

Uvod

U višekriterijumskoj optimizaciji često se javlja problem određivanja težina kriterijuma po kojima se vrši optimizacija. Pristupi rešavanju problema određivanja težina kriterijuma uobičajeno se dele na objektivne i subjektivne. Jedan od subjektivnih često korišćenih pristupa određivanja težina kriterijuma jeste pristup zasnovan na rangiranju kriterijuma. Rangiranje kriterijuma, a zatim pretvaranje rangova u težine kriterijuma ime određene prednosti. Osnovna prednost ovog načina određivanja težina kriterijuma jeste da je donosiocu odluke veoma često mnogo

Milićević, M. i dr., Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja, pp. 141–166

lakše da, umesto dodeljivanja numeričkih vrednosti težinama kriterijuma, izvrši njihovo rangiranje.

Pri određivanju pojedinačnih težina kriterijuma pretpostavlja se postojanje univerzalne međuzavisnosti između ranga kriterijuma i prosečne težine kriterijuma. Pored toga, podrazumeva se da se ta međuzavisnost može iskoristiti za kombinovanje pojedinačnih rangova u skup objedinjenih (agregiranih, grupnih) težina kriterijuma kada je rangiranje kriterijuma izvršilo više eksperata.

U (Roberts, Goodwin, 2002, pp.291-303) dat je pregled studija u kojima se razmatraju prednosti i nedostaci pojedinih metoda određivanja težina kriterijuma. Skoro svi autori (čija je literatura korišćena) slažu se da su vrednosti težina kriterijuma znatno uslovljene metodama njihovog određivanja. Takođe, ne postoji saglasnost o najboljoj metodi određivanja težina kriterijuma, a time i o načinu direktnog određivanja „pravog” skupa težina. Autori su, sa druge strane, saglasni da su težine proračunate određenim metodama preciznije od težina dobijenih metodama direktnog dodeljivanja težina na osnovu ekspertovog shvatanja značaja kriterijuma.

Pri proračunu težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma potrebno je ustanoviti tip funkcije rang-težine. Izabrane funkcije rang-težine, kao i rezultati njihovih primena, biće ukratko prikazani u nastavku rada.

U procesu određivanja težina kriterijuma može učestvovati više eksperata. Tada je potrebno izvršiti objedinjavanje individualnih rangova (ili težina) kriterijuma i formirati jedinstvene grupne težine kriterijuma primenom određenih metoda objedinjavanja rangova (težina) kriterijuma. U radu će biti prikazane izabrane metode objedinjavanja individualnih težina kriterijuma, kao i mogućnost primene metoda putem razrade jednog primera uz kratak komentar rezultata.

Prikaz izabranih metoda za određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja

U (Milićević, Župac, 2012, pp.48-70) prikazane su sledeće metode određivanja težina kriterijuma na osnovu njihovog ranga: metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera, metoda inverznih težina, metoda centroida rangova, metoda sume rangova, raspodela verovatnoća rangova i metoda geometrijskih težina. Navedene metode biće ukratko prikazane i u ovom radu radi formiranja potpune predstave o mogućnostima određivanja težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma.¹

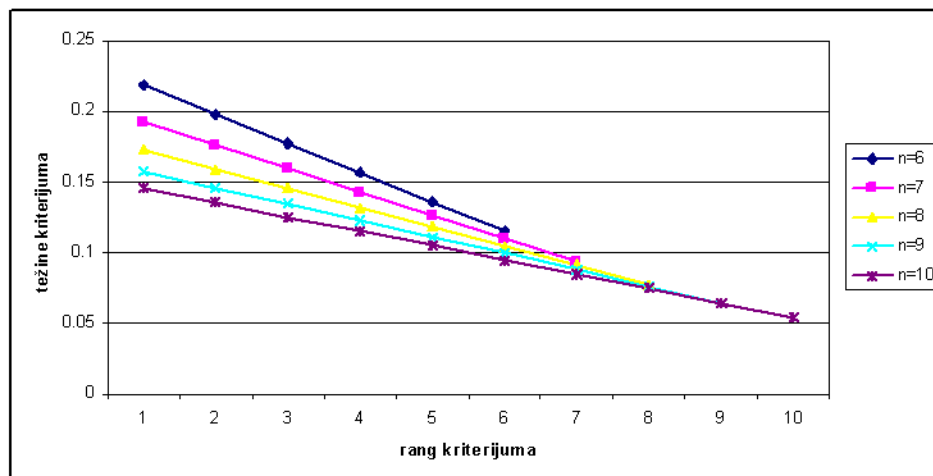
¹ Grafički prikazi odnosa težine i ranga kriterijuma za navedene metode, osim metode geometrijskih težina, urađeni su na osnovu tabelarnih vrednosti težina za n=6 do n=10 kriterijuma prikazanih u literaturi: Roberts, R., Goodwin, P., 2002, Weight approximations in multi-attribute decision models, *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, 11, pp.291-303.

Metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera (MLT) jeste empirijski razvijena linearna funkcija rang-težina, čiji nagib zavisi od broja kriterijuma (Alfares, Duffuaa, 2009, pp. 125-133):

$$w_r = 100 - s_n(r-1) \quad (1)$$

gde je: w_r – težina, r – rang, s_n – apsolutna vrednost koeficijenta smera dobijena pomoću metode najmanjih kvadrata, pri čemu je broj kriterijuma jednak n . Alfares i Duffuaa su empirijski odredili vrednost: $s_n = 3.19514 + 37.75756/n$.

Vrednosti težina kriterijuma dobijene ovom metodom nalaze se u intervalu od 0 do 100. Aditivnom normalizacijom te vrednosti se svode na interval 0–1. Na slici 1 prikazane su vrednosti težina za $n=\{6,7,8,9,10\}$ kriterijuma. Jasno se uočava linearna zavisnost težina i ranga kriterijuma.



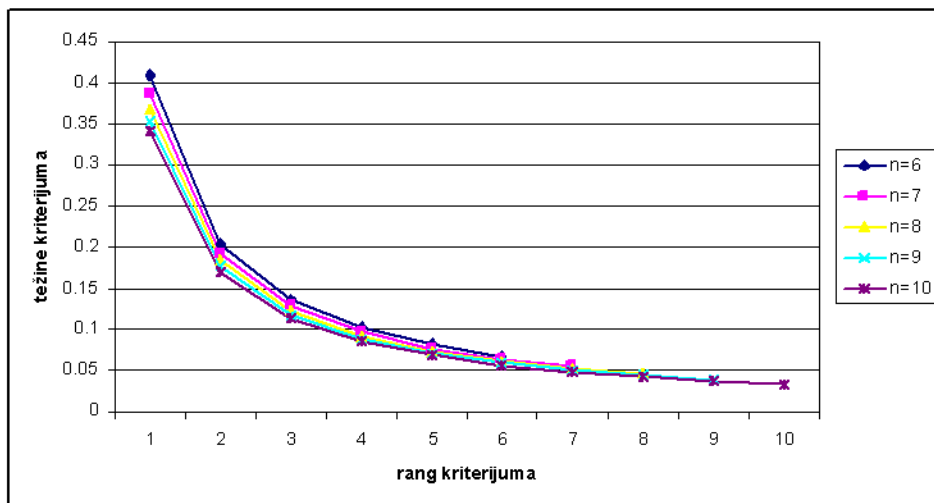
Slika 1 – Graf vrednosti težina za $n=\{6,7,8,9,10\}$ kriterijuma dobijenih MLT
Figure 1 – Graph of the weight values for $n=\{6,7,8,9,10\}$ of the criteria obtained by the LWT

Metoda inverznih težina (MIT) predložena je u (Stillwell, et al., 1981, pp. 62-77):

$$w_r = \frac{\frac{1}{r}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{j}} \quad (2)$$

gde je: r – rang, $j=1,2,\dots,n$ kriterijumi.

Graf navedene funkcije prikazan je na slici 2.

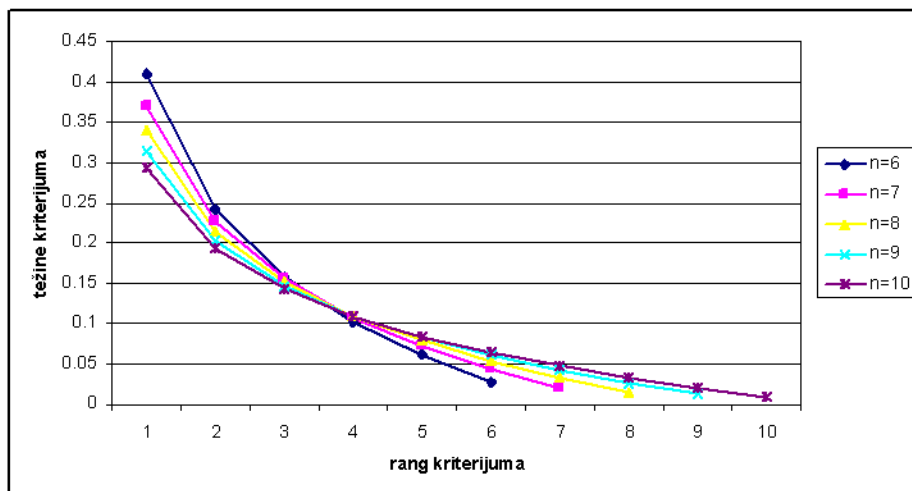


Slika 2 – Graf vrednosti težina za $n=\{6,7,8,9,10\}$ kriterijuma dobijenih MIT
 Figure 2 – Graph of the weight values for $n=\{6,7,8,9,10\}$ of the criteria obtained by the RRW

Metoda centroida rangova (MCR) (Solymosi, Dompi, 1985, pp.35-41):

$$w_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r}^n \frac{1}{j} \quad (3)$$

Grafički prikaz odnosa rangova i težina kriterijuma dobijenih metodom centroida rangova prikazan je na slici 3.

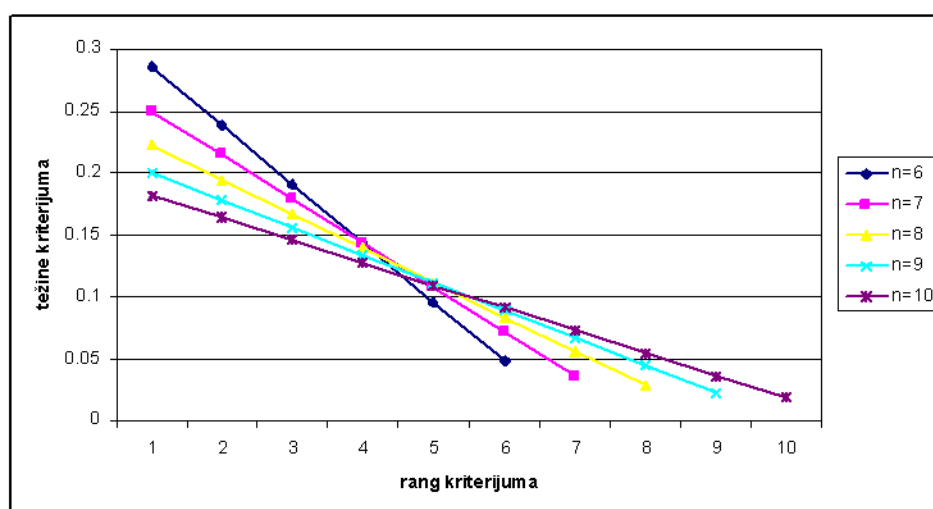


Slika 3 – Graf vrednosti težina za $n=\{6,7,8,9,10\}$ kriterijuma dobijenih MCR
 Figure 3 – Graph of the weight values for $n=\{6,7,8,9,10\}$ of the criteria obtained by the ROC

Metoda sume rangova (MSR) jeste linearna funkcija predložena u (Stillwell, et al., 1981, pp. 62-77):

$$w_r = \frac{2(n+1-r)}{n(n+1)} \quad (4)$$

Grafički prikaz odnosa rangova i težina kriterijuma dobijenih metodom sume rangova vidi se na slici 4.



Slika 4 – Graf vrednosti težina za $n=\{6,7,8,9,10\}$ kriterijuma dobijenih MSR
Figure 4 – Graph of the weight values for $n=\{6,7,8,9,10\}$ of the criteria obtained by the RSW

Raspodela verovatnoća rangova (RVR) - polazeći od pretpostavke da rangovi kriterijuma podležu ravnomernoj raspodeli verovatnoća za broj kriterijuma $n=2$ do $n=10$, Roberts i Goodwin (2002) razvili su gustine raspodele verovatnoća normalizovanih težina i, na osnovu njih, izvršili proračun vrednosti težina kriterijuma. Kao primer navode se gustine raspodele verovatnoća normalizovanih težina za broj kriterijuma $n=3$:

– rang 1:

$$f_{w_1}(x) = \begin{cases} \frac{1}{x^2}, & 1/2 \leq x \leq 1 \\ 0 & 0 \leq x < 1/2 \end{cases} \quad (5)$$

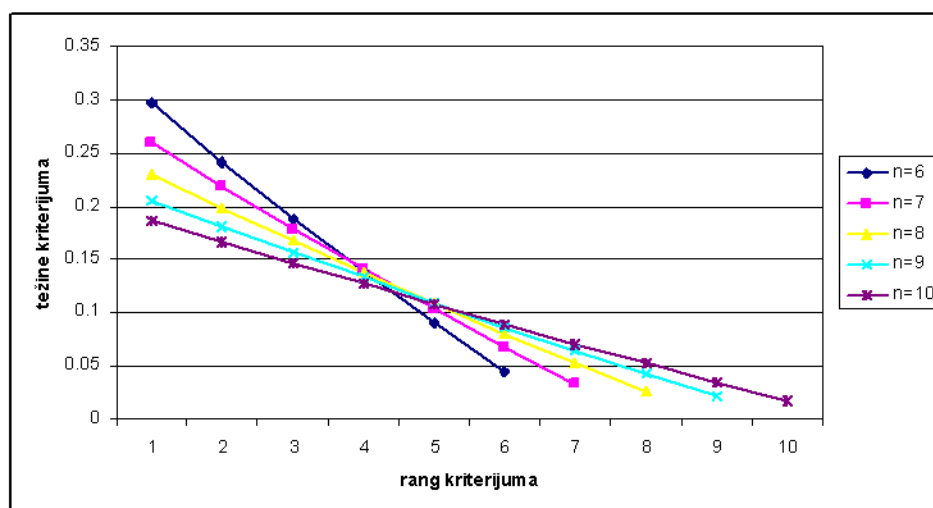
– rang 2:

$$f_{w_2}(x) = \begin{cases} \frac{1}{(x-1)^2}, & 0 \leq x \leq 1/2 \\ 0 & 1/2 < x \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

– rang 3:

$$f_{w_3}(x) = \begin{cases} \frac{4}{(x-1)^2} - \frac{1}{(2x-1)^2}, & 0 \leq x \leq 1/3 \\ 0 & 1/3 < x \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

Graf vrednosti težina kriterijuma dobijenih na osnovu raspodele verovatnoće rangova prikazan je na slici 5.



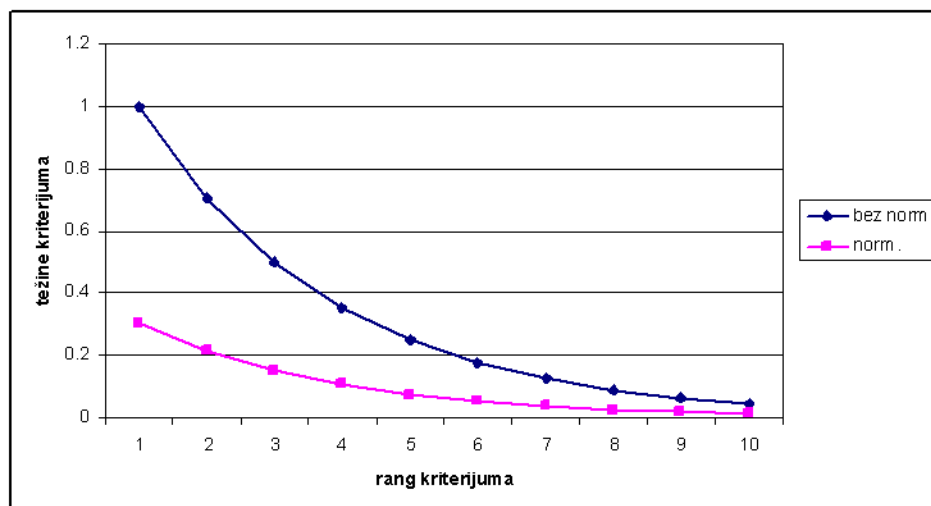
Slika 5 – Graf vrednosti težina za $n=\{6,7,8,9,10\}$ kriterijuma dobijenih RVR

Figure 5 – Graph of the weight values for $n=\{6,7,8,9,10\}$ of the criteria obtained by the ROD

Metoda geometrijskih težina (MGT) predložena je u (Lootsma, Bots, 1999):

$$w_r = \frac{1}{(\sqrt{2})^{r-1}} \quad (8)$$

Graf vrednosti težina kriterijuma dobijenih metodom inverznih težina prikazan je na slici 6.



Slika 6 – Graf vrednosti težina kriterijuma dobijenih MGT
Figure 6 – Graph of the weight values of the criteria obtained by the MGW

Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom geometrijskih težina ne zavise od broja kriterijuma i nalaze se u intervalu 0–1. Zbir aditivno normalizovanih vrednosti težina kriterijuma iznosi 1.

Roberts i Goodwin (Roberts, Goodwin, 2002, pp.291-303) ističu postojanje jasnih teorijskih dokaza da težine dobijene metodom centroida rangova predstavljaju najbolju aproksimaciju težina koje se mogu dobiti metodom direktnog dodeljivanja težina. Težine određene na osnovu raspodele verovatnoća rangova najbolje odgovaraju težinama koje se mogu dobiti proporcionalnom metodom određivanja težina kriterijuma.

Za rešavanje problema određivanja težina velikog broja kriterijuma preporučuje se primena metoda sume rangova, koja zahteva manje proračuna, a daje u potpunosti prihvatljive rezultate koji se skoro poklapaju sa vrednostima težina dobijenih metodom raspodele verovatnoće rangova (Roberts, Goodwin, 2002, pp.291-303).

Objedinjavanje individualnih poredaka kriterijuma

U praksi se, za određivanje težina kriterijuma, najčešće angažuje više eksperata koji, na osnovu svog ličnog sistema preferencija, vrše rangiranje kriterijuma. Na taj način javlja se problem formiranja grupnih vrednosti težina kriterijuma koje se mogu dobiti na dva načina: pretvaranjem individualnih rangova u težine, a zatim objedinjavanjem individualnih teži-

na ili objedinjavanjem individualnih rangova i pretvaranjem grupnog rang-a kriterijuma u grupne vrednosti težina kriterijuma. Formiranje grupnih vrednosti težina kriterijuma može biti izvršeno primenom matematičkih metoda objedinjavanja, primenom metoda teorije društvenog izbora i pomoću medijane Kemenija.²

Izabrane matematičke metode objedinjavanja

Milićević i Župac (Milićević, Župac, 2012, pp.48-70) na osnovu (Alfares, 2007) dali su prikaz sledećih matematičkih metoda objedinjavanja individualnih težina (rangova): metoda aritmetičkog osrednjavanja težina kriterijuma, metoda geometrijskog osrednjavanja težina kriterijuma i metoda geometrijskog osrednjavanja rangova kriterijuma. Autor ovog rada smatra da je za objedinjavanje rangova kriterijuma ispravnije koristiti medijanu rangova nego geometrijsko osrednjavanje rangova. Takav stav zasniiva se na činjenici da rangovi kriterijuma predstavljaju vrednosti dobijene po ordinalnoj skali, pa je za njihovo objedinjavanje ispravnije primeniti medijanu rangova.

Metodom aritmetičkog osrednjavanja (M1) prvo se vrši pretvaranje individualnih rangova u individualne težine, a zatim se proračunava srednja vrednost težina svakog kriterijuma. Alfares (Alfares, 2007) za pretvaranje individualnih rangova u težine preporučuje primenu metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera. U opštem slučaju, umesto metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera, moguće je primeniti metodu centroida rangova, metodu inverznih težina ili neku drugu metodu pretvaranja rangova u težine kriterijuma.

Agregirane težine kriterijuma dobijaju se aritmetičkim osrednjavanjem težina dobijenih od svih m eksperata:

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m w_{i,j}}{m} \quad j = 1, \dots, n \quad (9)$$

Metodom geometrijskog osrednjavanja težina (M2) u prvom koraku vrši se pretvaranje individualnih rangova u individualne težine primenom neke od funkcija transformacije rangova u težine. Agregirane težine dobijaju se u drugom koraku primenom geometrijskog osrednjavanja individualnih težina kriterijuma:

$$W_j = \sqrt[m]{w_{1,j} \times w_{2,j} \times \dots \times w_{m,j}} \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

² Medijana Kemenija posebno je izdvojena zbog svog značaja koji ima u formiranju grupnog rangiranja objekata na osnovu individualnih rangiranja koja su izvršili m eksperti.

Metodom medijane rangova (M3) u prvom koraku se objedinjavaju individualni rangovi na osnovu medijane rangova kriterijuma koje su odredili m eksperti. Zatim se, pomoću neke od metoda pretvaranja rangova u težine, grupni rang pretvara u agregiranu težinu kriterijuma W_j .

Ako su svi eksperti izvršili rangiranje istog skupa kriterijuma, preporučuje se primena metode aritmetičkog osrednjavanja. Ako su eksperti izvršili rangiranje različitih podskupova kriterijuma, preporučuje se primena metode geometrijskog osrednjavanja težina. Medijana ne daje uvek strogi grupni poredak kriterijuma, što može predstavljati ograničenje za primenu ove metode.

Primena metoda društvenog izbora za objedinjavanje individualnih poredaka kriterijuma

Objedinjavanje individualnih rangova kriterijuma i formiranje grupnog ranga kriterijuma može biti izvršeno pomoću određenih metoda teorije društvenog izbora.

Grupni rangovi kriterijuma, dobijeni metodama teorije društvenog izbora, zatim se primenom izabrane funkcije transformacije ranga u težine pretvaraju u težine kriterijuma.

Teorija društvenog izbora poistovećuje problem grupnog odlučivanja (u ovom slučaju radi se o ekspertskoj grupi) sa problemom iznalaženja metode kojom će skup različito rangiranih individualnih preferencija dati jedinstvenu grupnu rang-listu. Traženi metod treba da omogući uspešnu agregaciju individualnih poredaka objekata (varijanti, kriterijuma i sl.).

Osnovno pitanje koje se postavlja pri razmatranju metoda agregacije individualnih preferencija jeste pitanje mogućnosti postojanja funkcije kojom će se skup različito rangiranih individualnih preferencija preslikati u jedinstvenu grupnu rang-listu preferencija. Takvu jednu funkciju Kenet Erou (Kenneth Arrow) naziva funkcijom društvenog blagostanja (FDB).

Grupni izbor treba razviti iz preferencija svakog eksperta, pri čemu, po pretpostavci, svaki ekspert ima poredak preferencija uređen po ordinalnoj skali, koji zadovoljava uslove racionalnosti: asimetričnost, potpunost i tranzitivnost.³

Za razliku od individualnog, kod društvenog odlučivanja procedura odlučivanja treba bude prihvatljiva i sa etičkog stanovišta, tj. da zadovoljava neke demokratske principe, odnosno potrebno je pomiriti zahteve racionalnosti sa zahtevima pravde i demokratije.

³ Objašnjenje uslova racionalnosti može se naći npr. u: Jovanović R., 2012, Dva rezultata nemogućnosti u teoriji društvenog odlučivanja, *Theoria* 3, 55, pp.55–71.

Kenet Erou je definisao sledeće etičke uslove koje treba da zadovolji pravilo društvenog izbora u demokratskom sistemu:⁴

1. U (The unrestricted domain condition) – uslov univerzalnog domena.
2. D (Nondictatorship condition) – uslov nepostojanja diktatora.
3. CS (Citizen's sovereignty condition) – uslov građanskog suvereniteta.
4. PA (Positive association of social and individual values) – uslov pozitivnog povezivanja individualnih i kolektivnih preferencija.
5. I (The independence of irrelevant alternatives) – uslov nezavisnosti od irelevantnih alternativa.

Polazeći od ovih premisa, Erou je dokazao svoju čuvenu teoremu: za tri ili više date alternative i dva ili više članova grupe ne postoji nijedna FDB koja istovremeno ispunjava uslove racionalnosti i etičke uslove⁵. Ukratko, kada je reč o grupnom izboru, ne postoji univerzalna i savršena metoda izbora koja istovremeno vodi i do racionalne i etički prihvatljive odluke. To je tzv. Erouova teorema nemogućnosti društvenog izbora.

Ne ulazeći u dalja teorijska razmatranja teorije društvenog izbora, biće navedene metode grupnog odlučivanja koje, kao rezultat, daju grupni poredak varijanti, odnosno kompletnu rang-listu, za razliku od metoda koje u rezultatu imaju samo najbolju varijantu. Među najpoznatijim takvim metodama nalaze se Kondorseova i Bordina metoda.

Kondorse je 1785. predložio metodu baziranu na kolektivnom poređenju u parovima. On predlaže da se posmatra broj pojedinaca $v(x, y)$ koji preferiraju x u odnosu na y . Ako je $v(x, y) \geq v(y, x)$ onda je x društveno preferirana u odnosu na y . Kondorseov pobednik je varijanta koja, u poređenju sa svakom drugom varijantom, dobija većinu glasova. Najveća zamka ovoj metodi jeste što može biti narušen uslov tranzitivnosti, te dolazi do tzv. Kondorseovog efekta (ili paradoksa glasanja ili ciklične većine).

Primenom Bordine metode grupa bira varijantu koja u proseku zauzima najviše mesto na individualnim rang-listama, a to se određuje sabiranjem bodova koje pojedinci dodeljuju svakoj varijanti. Osnovni princip koji se koristi pri dodeli bodova jeste da varijanta koja zauzima poslednje mesto na individualnoj rang-listi dobija 0 bodova, preposlednja varijanta 1 bod, dok prva varijanta dobija $n-1$ bod (pod pretpostavkom da ima ukupno n varijanti). Grupni poredak varijanti formira se tako što se na prvo mesto postavlja varijanta sa najviše osvojenih bodova, a zatim se redom postavljaju varijante na osnovu opadajućih vrednosti dodeljenih bodova. Problem sa ovom metodom jeste u njenoj osetljivosti na irelevantne alternative, što je čini otvorenom za strateško ponašanje (manipulaciju) učesnika u procesu izbora.

⁴ Objašnjenje etičkih principa Keneta Eroua može se naći npr. u: Radovanović B., 2012, Individualno odlučivanje, grupno odlučivanje i deliberacija, *Filozofija i društvo*, 23(2) pp.147-167.

⁵ Dokaz teoreme može se naći u: Kenneth Arrow, 1963, *Social Choices and Individual Values* //ed, New York, Wiley.

Određivanje težina kriterijuma primenom medijane Kemenija

Rangiranja $P_1, \dots, P_m$ n objekata ($a_i, i=1, \dots, n$) mogu biti prikazana u obliku matrica $M(P_v)$, gde je $v=1, \dots, m$, sa elementima:

$$p_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{ako je } a_i \succ a_j \\ 0, & \text{ako je } a_i \approx a_j \\ -1, & \text{ako je } a_i \prec a_j \end{cases} \quad (11)$$

Prikazivanje rangiranja kao binarnih odnosa u matricnoj formi pruža mogućnost uvođenja mere udaljenosti između parova rangiranja. Jedna od najčešće korišćenih mera udaljenosti između dva proizvoljna rangiranja P_1 i P_2 računa se po formuli⁶:

$$d(P_1, P_2) = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n |p_{ij}^{(1)} - p_{ij}^{(2)}| \quad (12)$$

odnosno

$$d(P_1, P_2) = \sum_{i < j} |p_{ij}^{(1)} - p_{ij}^{(2)}| \quad (13)$$

Navedena mera udaljenosti dva proizvoljna rangiranja često se naziva rastojanje Kemenija⁷. Može se pretpostaviti da se rezultujuće rangiranje $F(P_1, \dots, P_m)$ mora nalaziti što je moguće bliže rangiranjima $P_1, \dots, P_m$. Takvo rangiranje $M^*(P_1, \dots, P_m)$ naziva se medijana Kemenija:

$$M^*(P_1, \dots, P_m) = \underset{P}{\operatorname{Arg\,min}} \sum_{v=1}^m d(P, P_v) \quad (14)$$

Medijana Kemenija je jedinstveno rezultujuće strogo rangiranje koje je neutralno, saglasno i Kondorsetovo.

Neutralnost – simetričnost u odnosu na izmenu varijanti.

Saglasnost – mišljenje ekspertske grupe se podudara sa opštim mišljenjem bilo koje dve njene podgrupe.

⁶ Pored navedene mere udaljenosti u literaturi: Cook W. D., 2006, Distance-based and ad hoc consensus models in ordinal preference ranking, *European Journal of Operational Research*, 172, pp.369–385. mogu se naći još neki načini merenja udaljenosti između individualnih poređaka objekata.

⁷ Detaljnije objašnjenje rastojanja Kemenija, kao i njegovo aksiomatsko određenje, nalazi se u literaturi: Литвак Б.Г., 1982, *Экспертная информация методы получения и анализа*, Москва, Радио и Связь.

Kondorsetovost – na osnovu toga da $s_j > s_{ji}$, gde je s_j – broj eksperata koji preferiraju a_i u odnosu na a_j , sledi da $(..., a_j, a_i, ...) \notin F(V)$, gde je V – rangiranje podgrupe eksperata, a $F(V)$ – opšte mišljenje podgrupe. Na taj način medijana zadovoljava principe izbora Kondorsea i ne dovodi do efekta Kondorse.

Od navedenih uslova Eroua ona ne zadovoljava jedino uslov nezavisnosti (uslov 5). Medijana Kemenija smatra se jednim od najkorektnijih rezultujućih odnosa. To je jedan od najopravdanijih načina određivanja rezultujućeg ranga na osnovu individualnih rangova.

Osnovni nedostatak medijane Kemenija sastoji se u komplikovanim procedurama njenog određivanja. Za određivanje medijane Kemenija razvijeni su heuristički i kombinatorni algoritmi. Takođe, u slučaju strogih rangiranja (nije dozvoljena indiferentnost objekata) problem određivanja medijane Kemenija može se prikazati i rešiti kao zadatak raspoređivanja.

U radu će biti ukratko prikazan jedan heuristički algoritam koji je razvijen u (Литвак, 1982). Heuristički algoritam je jednostavniji za primenu od kombinatornog algoritma i zadovoljava potrebe ovog rada.

Heuristički algoritam određivanja medijane Kemenija

Ukupna informacija o rangiranjima objekata koju su dali eksperti može biti data u vidu matrice gubitka koja se dalje koristi kao polazna osnova za proračun medijane Kemenija.

Rastojanje od proizvoljnog rangiranja P do svih rangiranja $P_1, \dots, P_m$ računa se na sledeći način:

$$\sum_{v=1}^m d(P, P_v) = \sum_{v=1}^m \sum_{i < j} |p_{ij}^{(v)} - p_{ij}| = \sum_{i < j} \sum_{v=1}^m |p_{ij}^{(v)} - p_{ij}| = \sum_{i < j} \sum_{v=1}^m d_{ij}(P, P_v) \quad (15)$$

gde je: $d_{ij}(P, P_v) = |p_{ij}^{(v)} - p_{ij}|$

Elementi matrice gubitka računaju se kao:

$$r_{ij} = \sum_{v=1}^m d_{ij}(P, P_v) \quad (16)$$

Zadatak proračuna medijane Kemenija svodi se na proračun, na osnovu matrice gubitka, minimalnog sumarnog rastojanja.

Heuristički algoritam proračuna medijane Kemenija provodi se u nekoliko iteracija, polazeći od matrica gubitka $\|r_{ij}^{(0)}\|$ skupa rangiranja $P_1, \dots, P_m$.

1. iteracija – odrediti:

$$s_1^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_{1,j}, \quad s_n^{(1)} = \sum_{j=1}^n r_{n,j} \quad (17)$$

$$s_{i_1} = \min s_i^{(1)} \quad (18)$$

Varijanta a_{i_1} postavlja se na prvo mesto. U prvom koraku je $S^{(1)} = s_{i_1}$. U matrici $\|r_{ij}^{(0)}\|$ precrtavaju se red i kolona sa brojem i_1 i dobija se matrica $\|r_{ij}^{(1)}\|$ sa skupom indeksa redova i kolona $I^{(1)} = J^{(1)} = \{1, \dots, n\} \setminus i_1$.

k-ta iteracija – u matrici gubitka $\|r_{ij}^{(k-1)}\|$ prvo odrediti $s_i^k = \sum_{j \in J^{(k-1)}} r_{ij}^{(k-1)}$, a zatim $s_{i_k} = \min_{i \in I^{(k-1)}} s_i^{(k)}$. Varijantu a_{i_k} postaviti na k -to mesto. Izračunati $S^{(k)} = S^{(k-1)} + s_{i_k}$. Precrtavši u matrici $\|r_{ij}^{(k-1)}\|$ red i kolonu sa oznakom i_k dobija se matrica $\|r_{ij}^{(k)}\|$ sa skupom indeksa $I^{(k)} = J^{(k)} = \{1, \dots, n\} \setminus \{i_1, \dots, i_k\}$.

Algoritam se završava posle n -te iteracije ($I^{(n)} = J^{(n)} = \emptyset$). Dobijeno je sledeće grupno rangiranje varijanti:

$$P_I = (a_{i_1}, \dots, a_{i_n})^T \quad (19)$$

pri čemu je: $\sum_{v=1}^m d(P_I, P_v) = S^{(n)}$.

Dobijeno rangiranje nije apriori i optimalno rangiranje. Naime, ispitivanjem uslova optimalnosti potrebno je dobiti rangiranje P_{II} koje ispunjava neophodne uslove optimalnosti. Postupno se proverava da li je zadovoljen odnos: $r_{i_k i_{k+1}} \leq r_{i_{k+1} i_k}$, $k = n-1, n-2, \dots, 1$.

Ako je za neki k traženi odnos narušen, varijante a_{i_k} i $a_{i_{k+1}}$ menjaju mesta u rangiranju, a odnos $r_{i_k i_{k+1}} \leq r_{i_{k+1} i_k}$ se proverava počevši od varijante koja neposredno prethodi varijanti koja je promenila mesto. Na taj način dobija se poredak P_{II} za koje je neophodan uslov optimalnosti ispunjen. Ako skup rangiranja $P_1, \dots, P_m$ poseduje svojstvo Kondorsea i ako je tranzitivan, onda je P_{II} medijana Kemenija rangiranja $P_1, \dots, P_m$.

Primer primene izabranih metoda

Ekspertska grupa sastavljena od osamnaest eksperata izvršila je rangiranje osam kriterijuma sa konačnim ciljem određivanja težina kriterijuma. Kako je cilj rada prikaz mogućnosti primene metoda određivanja

težina kriterijuma na osnovu njihovog ranga, a budući da konkretni nazivi kriterijuma nemaju uticaja na vrednosti težina kriterijuma, u radu se daju samo oznake kriterijuma bez navođenja njihovog naziva.⁸ Rezultati rangiranja prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1 – Rezultati rangiranja
Table 1 – Ranking results

Eksperti	Kriterijumi							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
E1	1	2	4	6	5	7	3	8
E2	1	2	4	6	5	7	3	8
E3	1	2	4	6	5	7	3	8
E4	5	1	7	8	6	4	3	2
E5	1	2	4	6	5	7	3	8
E6	1	2	4	6	5	7	3	8
E7	1	2	3	8	5	6	4	7
E8	1	2	4	6	4	7	2	7
E9	1	2	3	5	7	5	3	8
E10	1	2	6	7	4	8	3	5
E11	1	4	3	7	2	4	4	8
E12	1	2	4	7	6	8	3	5
E13	1	4	2	7	6	8	3	5
E14	1	4	2	7	6	8	3	5
E15	2	2	6	8	1	2	2	6
E16	1	2	4	8	6	5	3	7
E17	1	6	3	7	8	4	2	5
E18	4	5	1	8	2	6	7	3

Težine kriterijuma na osnovu individualnih rangova kriterijuma dobijene su primenom izabranih funkcija pretvaranja rangova u težine. Kao primer navode se težine kriterijuma dobijene metodom sume rangova (tabela 2). Vrednosti težina kriterijuma koje su dobijene ostalim metodama pretvaranja rangova u težine neće biti prikazivane zbog obima ovog rada.

⁸ Primer je deo projekta ekspertskog ocenjivanja koeficijenata elemenata, pitanja i parametara operativnih sposobnosti koji je realizovan u GŠ VS i koji neće biti detaljnije prikazan.

Tabela 2 – Vrednosti težina kriterijuma dobijene MSR
Table 2 – Weight values of the criteria obtained by the RSW

Eksperti	Kriterijumi							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
E1	0.222	0.194	0.139	0.083	0.111	0.056	0.167	0.028
E2	0.222	0.194	0.139	0.083	0.111	0.056	0.167	0.028
E3	0.222	0.194	0.139	0.083	0.111	0.056	0.167	0.028
E4	0.111	0.222	0.056	0.028	0.083	0.139	0.167	0.194
E5	0.222	0.194	0.139	0.083	0.111	0.056	0.167	0.028
E6	0.222	0.194	0.139	0.083	0.111	0.056	0.167	0.028
E7	0.222	0.194	0.167	0.028	0.111	0.083	0.139	0.056
E8	0.222	0.194	0.139	0.083	0.139	0.056	0.194	0.056
E9	0.222	0.194	0.167	0.111	0.056	0.111	0.167	0.028
E10	0.222	0.194	0.083	0.056	0.139	0.028	0.167	0.111
E11	0.222	0.139	0.167	0.056	0.194	0.139	0.139	0.028
E12	0.222	0.194	0.139	0.056	0.083	0.028	0.167	0.111
E13	0.222	0.139	0.194	0.056	0.083	0.028	0.167	0.111
E14	0.222	0.139	0.194	0.056	0.083	0.028	0.167	0.111
E15	0.194	0.194	0.083	0.028	0.222	0.194	0.194	0.083
E16	0.222	0.194	0.139	0.028	0.083	0.111	0.167	0.056
E17	0.222	0.083	0.167	0.056	0.028	0.139	0.194	0.111
E18	0.139	0.111	0.222	0.028	0.194	0.083	0.056	0.167

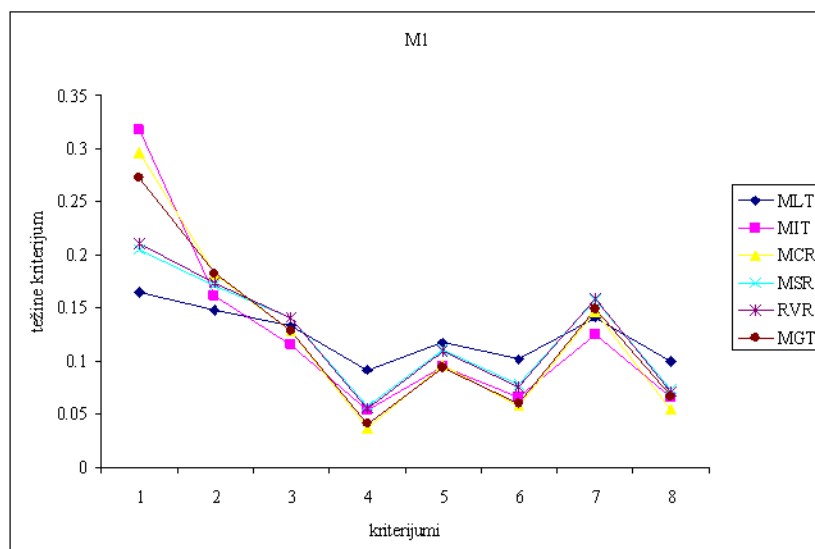
Primenom matematičkih metoda objedinjavanja M1, M2 i M3 izvršeno je objedinjavanje individualnih težina (rangova). Grupne težine kriterijuma prikazane su u tabeli 3.

Tabela 3 – Težine kriterijuma
Table 3 – Criteria weights

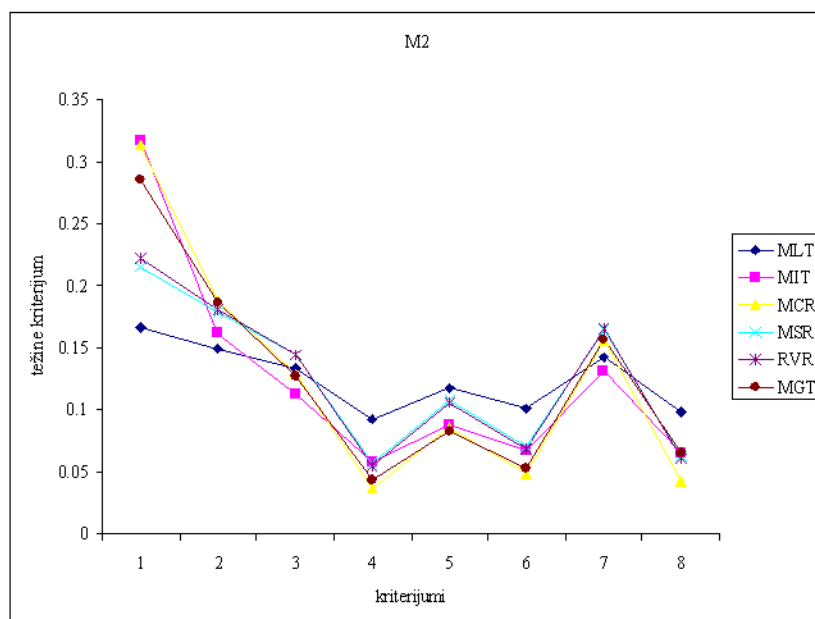
M1									
Metode pretvaranja ranga u težine	Kriterijumi	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
MLT	težine	0.165	0.148	0.133	0.092	0.118	0.102	0.142	0.1
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MIT	težine	0.317	0.161	0.115	0.053	0.095	0.066	0.125	0.066
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7

MCR	težine	0.296	0.182	0.129	0.037	0.096	0.058	0.147	0.055
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MSR	težine	0.205	0.172	0.142	0.059	0.112	0.078	0.158	0.074
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
RVR	težine	0.211	0.174	0.141	0.056	0.11	0.077	0.159	0.072
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MGT	težine	0.273	0.183	0.129	0.042	0.095	0.061	0.15	0.068
	rang	1	2	4	8	5	7	3	6
M2									
MLT	težine	0.166	0.149	0.134	0.092	0.118	0.101	0.143	0.098
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MIT	težine	0.317	0.161	0.112	0.057	0.088	0.067	0.131	0.066
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MCR	težine	0.313	0.189	0.128	0.036	0.085	0.048	0.156	0.043
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MSR	težine	0.216	0.178	0.144	0.057	0.108	0.07	0.164	0.063
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
RVR	težine	0.222	0.181	0.144	0.055	0.106	0.068	0.165	0.06
	rang	1	2	4	8	5	6	3	7
MGT	težine	0.285	0.187	0.127	0.043	0.083	0.053	0.157	0.065
	rang	1	2	4	8	5	7	3	6
M3									
MLT	rang	1	2	4	6	5	6	3	6
	težine	0.166	0.153	0.127	0.1	0.113	0.1	0.14	0.1
MIT	rang	1	2	4	6	5	6	3	6
	težine	0.359	0.18	0.09	0.06	0.072	0.06	0.12	0.06
MCR	rang	1	2	4	6	5	6	3	6
	težine	0.321	0.203	0.104	0.051	0.075	0.051	0.144	0.051
MSR	rang	1	2	4	6	5	6	3	6
	težine	0.205	0.179	0.128	0.077	0.103	0.077	0.154	0.077
RVR	rang	1	2	4	6	5	6	3	6
	težine	0.212	0.183	0.127	0.074	0.1	0.074	0.155	0.074
MGT	rang	1	2	4	6	5	6	3	6
	težine	0.299	0.212	0.106	0.053	0.075	0.053	0.15	0.053

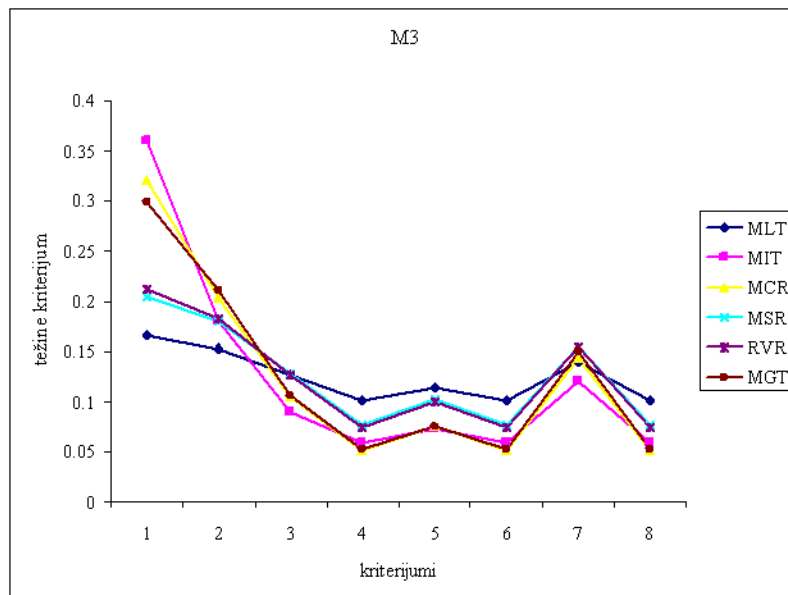
Težine kriterijuma dobijenih različitim načinima objedinjavanja individualnih težina ili rangova grafički su prikazane na slikama 7–9.



Slika 7 – Graf težina kriterijuma dobijenih aritmetičkim osrednjavanjem
Figure 7 – Graph of the arithmetical aggregating criteria weights



Slika 8 – Graf težina kriterijuma dobijenih geometrijskim osrednjavanjem
Figure 8 – Graph of the geometrical aggregating criteria weights



Slika 9 – Graf težina kriterijuma dobijenih medijanom rangova
Figure 9 – Graph of the median ranks criteria weights

Na slikama 7–9 može se uočiti da je relativni odnos vrednosti težina kriterijuma različitih metoda transformacije rangova u težine isti, nezavisno od izabrane metode objedinjavanja individualnih težina (rangova). Na primer, metoda inverznih težina daje najveću vrednost težine kriterijuma K1, bez obzira na izabranu metodu objedinjavanja M1-M3, dok je ta vrednost najmanja za metodu linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera.

Poredak vrednosti težina kriterijuma je potpuno isti kod svih metoda pretvaranja rangova u težine, osim kod metode geometrijskih težina kod koje dolazi do zamene ranga između kriterijuma K6 i K8 za metode objedinjavanja M1 i M2.

Metoda M3 – medijana rangova ne daje strogi grupni poredak kriterijuma, odnosno kriterijumi K4, K6 i K8 imaju isti rang, pa je poredak kriterijuma sledeći: $P=(K1, K2, K7, K3, K5, (K4, K6, K8))$.

Najveća razlika maksimalne i minimalne vrednosti težine kriterijuma uočava se kod metode centroida rangova (srednja vrednost za sve tri metode M1-M3 iznosi 0,268), dok je najmanja razlika kod metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera (0,073). Takođe, najveći procenatualni odnos najmanje i najveće vrednosti težine kriterijuma je kod metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera (srednja vrednost iznosi 55,56%), a najmanji je kod metode centroida rangova (13,34%).

Izabranim metodama društvenog izbora (metoda Kondorsea i Bordina metoda) objedinjeni su individualni rangovi kriterijuma i formiran je

grupni rang. U ovom slučaju obe metode daju isti grupni poredak kriterijuma, što se može videti u tabelama 4 i 5.

Tabela 4 – Težine kriterijuma dobijene primenom Kondorseove metode
Table 4 – Weights of the criteria obtained by the Condorcet's method

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Σ	rang
K1	-	16	17	18	16	16	16	16	115	1
K2	1	-	13	18	15	14	13	17	91	2
K3	1	5	-	18	13	16	5	15	73	4
K4	0	0	0	-	2	10	0	8	20	8
K5	2	3	4	16	-	14	3	13	55	5
K6	1	2	2	7	4	-	1	11	28	6
K7	1	3	12	18	15	15	-	17	81	3
K8	2	1	2	10	5	6	1	-	27	7

Tabela 5 – Težine kriterijuma dobijene primenom Bordine metode
Table 5 – Weights of the criteria obtained by the Borda count

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
E1	7	6	4	2	3	1	5	0
E2	7	6	4	2	3	1	5	0
E3	7	6	4	2	3	1	5	0
E4	3	7	1	0	2	4	5	6
E5	7	6	4	2	3	1	5	0
E6	7	6	4	2	3	1	5	0
E7	7	6	5	0	3	2	4	1
E8	7	6	4	2	4	1	6	1
E9	7	6	3	3	1	3	5	0
E10	7	6	2	1	4	0	5	3
E11	7	4	5	1	6	4	4	0
E12	7	6	4	1	2	0	5	3
E13	7	4	6	1	2	0	5	3
E14	7	4	6	1	2	0	5	3
E15	6	6	2	0	7	6	6	2
E16	7	6	4	0	2	3	5	1
E17	7	2	5	1	0	4	6	3
E18	4	3	7	0	6	2	1	5
Σ	118	96	74	21	56	34	87	31
rang	1	2	4	8	5	6	3	7

Pre proračuna medijane Kemenija ekspertska individualna rangiranja $P_1, \dots, P_{18}$ potrebno je prikazati u vidu matrica $M(P_1), \dots, M(P_{18})$ sa elementima $p_{ij}^{(v)}$, $v=1, \dots, m$, dobijenim pomoću formule (11). U (20) data je matrica binarnih odnosa za rangiranje kriterijuma koje je izvršio prvi ekspert. Matrice za ostale eksperte neće biti prikazane zbog obima rada.

$$\|p_{ij}^{(v)}\| = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 \end{vmatrix} \quad (20)$$

Pomoću izraza (16) dobijena je matrica gubitka:

$$\|r_{ij}^{(0)}\| = \begin{vmatrix} 0 & 3 & 2 & 0 & 4 & 3 & 3 & 4 \\ 33 & 0 & 10 & 0 & 6 & 4 & 9 & 4 \\ 34 & 26 & 0 & 0 & 9 & 4 & 25 & 5 \\ 36 & 36 & 36 & 0 & 32 & 15 & 36 & 20 \\ 32 & 30 & 27 & 4 & 0 & 8 & 30 & 12 \\ 33 & 32 & 32 & 21 & 28 & 0 & 32 & 11 \\ 33 & 27 & 11 & 0 & 6 & 4 & 0 & 4 \\ 32 & 32 & 31 & 16 & 24 & 25 & 32 & 0 \end{vmatrix} \quad (21)$$

Polazeći od matrice gubitka proveden je heuristički algoritam proračuna medijane Kemenija:

1. iteracija – U matrici gubitka $\|r_{ij}^{(0)}\|$ izračunate su vrednosti $s_i^{(1)}$ za $i=1, \dots, 8$. Minimalnu vrednost $s_i^{(1)}$ ima kriterijum K1 ($s_7^{(1)}=19$). Kriterijum K1 se postavlja na prvo mesto, a iz daljeg proračuna se izostavljaju prvi red i prva kolona.

2. iteracija – Nakon izostavljanja iz proračuna prvog reda i prve kolone računa se $s_i^{(2)}$. Minimalna vrednost $s_2^{(2)}=33$ odgovara kriterijumu K2 i iz daljeg proračuna se isključuju drugi red i druga kolona. Kriterijum K2 se stavlja na drugo mesto u grupnom poretku kriterijuma.

Postupak se ponavlja sve dok se na osnovu vrednosti $s_i^{(k)}$ ne rasporede svi kriterijumi. S obzirom na to da je broj kriterijuma $k=n=8$, celokupan postupak ima sedam iteracija (tabela 6).

Tabela 6 – Primena heurističkog algoritma za proračun medijane Kemenija
Table 6 – Application of the heuristic algorithm for calculating the Kemeni median

$\ r_{ij}^{(0)}\ =$									$s_i^{(1)}$	$s_i^{(2)}$	$s_i^{(3)}$	$s_i^{(4)}$	$s_i^{(5)}$	$s_i^{(6)}$	$s_i^{(7)}$
	0	3	2	0	4	3	3	4	19						
33	0	10	0	6	4	9	4	4	66	33					
34	26	0	0	9	4	25	5	5	103	69	43	18			
36	36	36	0	32	15	36	20	20	211	175	139	103	67	35	20
32	30	27	4	0	8	30	12	12	143	111	81	51	24		
33	32	32	21	28	0	32	11	11	189	156	124	92	60	32	
33	27	11	0	6	4	0	4	4	85	52	25				
32	32	31	16	24	25	32	0	0	192	160	128	96	65	41	16

Primenom heurističkog algoritma dobijen je grupni poredak kriterijuma:

$$P_I = (K1 K2 K7 K3 K5 K6 K8 K4)^T.$$

Lako se može utvrditi da je za sve $k = n-1, n-2, \dots, 1$ ispunjen uslov

$$r_{i_{k+1}j_{k+1}} \leq r_{i_{k+1}j_k}, \text{ pa je } P_I = P_{II}.$$

U ovom primeru medijana Kemenija, Bordina i metoda Kondorsea daju isti poredak rangova. Ovakav rezultat se pre može smatrati izuzetkom nego pravilom.

Primenom izabranih funkcija transformacije rangova u težine dobijene su težine kriterijuma na osnovu grupnog ranga kriterijuma. Rezultat je prikazan u tabeli 7.

Tabela 7 – Težine kriterijuma na osnovu grupnog ranga
Table 7 – Criteria weights based on the group ranking

Grupni poredak kriterijuma (Kondorese, Borda, medijana Kemenija)	Težine kriterijuma					
	MLT	MIT	MCR	MSR	RVR	MGT
K1	0,1729	0,3679	0,3397	0,2222	0,2292	0,3023
K2	0,1592	0,184	0,2147	0,1944	0,1977	0,2138
K7	0,1455	0,1226	0,1522	0,1667	0,1672	0,1512
K3	0,1318	0,092	0,1106	0,1389	0,1375	0,1069
K5	0,1182	0,0736	0,0793	0,1111	0,1084	0,0756
K6	0,1045	0,0613	0,0543	0,0833	0,0805	0,0534
K8	0,0908	0,0525	0,0334	0,0556	0,0531	0,0378
K4	0,0771	0,046	0,0156	0,0278	0,0263	0,0267

Zaključak

Metode određivanje težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma pripadaju subjektivnom pristupu određivanja težina kriterijuma. Moguće ih je primeniti u situacijama odlučivanja, kada je potrebno odrediti težine kriterijuma, a da nisu poznate varijante niti kriterijumske vrednosti varijanti.

Iako metode određivanja težina kriterijuma mnogo utiču na vrednosti dobijenih težina kriterijuma, ne postoji saglasnost o najboljoj metodi određivanja, niti o uslovima njene primene. Na osnovu primera obrađenog u ovom radu može se zaključiti da je metode inverznih težina i centroida rangova pogodno primeniti kada je potrebno naglasiti intenzitet razlike vrednosti težina kriterijuma. Ako su kriterijumi približno jednaki po svojoj važnosti poželjno je primeniti metodu linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smjera. Metoda sume rangova pogodna je za primenu kada se određuju težine velikog broja kriterijuma.

Objedinjavanje individualnih rangova kriterijuma moguće je izvršiti korišćenjem matematičkih metoda i metoda društvenog izbora. Matematičke metode zasnivaju se na pretvaranju individualnih rangova u težine, a zatim se individualni rangovi aritmetički ili geometrijski objedinjavaju. Druga mogućnost sastoji se u objedinjavanju individualnih rangova primenom medijane, pri čemu postoji mogućnost dobijanja nepotpunog poretka rangova.

Metode društvenog izbora su u osnovi glasačke tehnike, ali je moguća primena pojedinih metoda, kao što su Bordina i metoda Kondorsea za dobijanje grupnog poretka kriterijuma.

Medijana Kemenija je jedan od najopravdanijih načina određivanja rezultujućeg ranga na osnovu individualnih rangova. Predstavlja jedinstveno rezultujuće strogo rangiranje koje je neutralno, saglasno i Kondorsetovo, a jedino ne zadovoljava uslov nezavisnosti od navedenih uslova Eroua.

Međutim, postupak određivanja medijane Kemenija dosta je komplikovan i za njeno određivanje razvijeno je više algoritama. Heuristički algoritam je znatno jednostavniji za primenu od kombinatornog i daje sasvim prihvatljiv rezultat.

S obzirom na pozitivne osobine koje poseduje, autor preporučuje primenu medijane Kemenija za određivanje grupnog poretka kriterijuma.

Literatura

Alfares, H.K. 2007. *Combining criteria ranks for calculating their weights in group MCDM*. Dhahran, Saudi Arabia: Systems Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals.

Alfares, H.K., & Duffuaa, S.O. 2009. Assigning cardinal weights in multi-criteria decision making based on ordinal ranking. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15, str. 125-133.

- Cook, W.D. 2006. Distance-based and ad hoc consensus models in ordinal preference ranking. *European Journal of Operational Research*, 172(2), pp. 369-385. doi:10.1016/j.ejor.2005.03.048
- Jovanović, R. 2012. Dva rezultata nemogućnosti u teoriji društvenog odlučivanja. *Theoria*, Beograd, 55(3), str. 55-71. doi:10.2298/THEO1203055J
- Litvak, B.G. (Литвак, Б.Г.), 1982. *Экспертная информация методы получения и анализа*. Москва: Радио и Связь.
- Lootsma, F.A., & Bots, P.W.G. 1999. The assignment of scores for output-based research funding. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8(1), pp. 44-50. doi:10.1002/(SICI)1099-1360(199901)8:1<44::AID-MCDA227>3.0.CO;2-H
- Milićević, M., & Župac, G. 2012. Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma/Subjective approach to the determination of criteria weights. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(2), pp. 48-70. doi:10.5937/vojtehg1202048M
- Radovanović, B. 2012. Individualno odlučivanje, grupno odlučivanje i deliberacija. *Filozofija i društvo*, 23(2), str. 147-167. doi:10.2298/FID1202147R
- Roberts, R., & Goodwin, P. 2002. Weight approximations in multi-attribute decision models. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(6), pp. 291-303. doi:10.1002/mcda.320
- Solymosi, T., & Dombi, J. 1986. A method for determining the weights of criteria: The centralized weights. *European Journal of Operational Research*, 26(1), pp. 35-41. doi:10.1016/0377-2217(86)90157-8
- Stillwell, W.G., Seaver, D.A., & Edwards, W. 1981. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 28(1), pp. 62-77. doi:10.1016/0030-5073(81)90015-5

DETERMINATION OF CRITERIA WEIGHTS USING RANKING

FIELD: Computer Sciences:
Decision Theory & Quantitative Methods
ARTICLE TYPE: Review Paper

Summary:

This paper presents possible ways for determining criteria weights based on the criteria ranks. The linear weights with a variable slope, reciprocal weights, rank order centroid weights, rank sum weights, geometric weights and rank order distribution weights are shown in this paper.

When the ranking process involves several experts, there is a possibility for aggregating criteria ranks (weights) using selected mathematical methods, social choice theory methods and the Kemeni median. The application of the selected methods is illustrated with one numerical example and the obtained results are analysed.

The main aim of this paper is a systematic review of possible ways for determining the criteria weights based on criteria ranks given by one or more experts.

Introduction

One of the most commonly used subjective approaches to determining criteria weights is the approach based on the criteria ranking. The main advantage of this method of determining the criteria weight is the fact that a decision maker finds it often much easier to make criteria ranking than to assign numerical values to criteria weights.

In calculating criteria weights based on criteria ranking, it is necessary to determine the type of the function rank – weight.

When the process of determining the criteria weights involves many experts, then the aggregation individual criteria ranks (or weights) must be done as well as the formation of a unique group criteria weight using various aggregation methods.

The selected methods for determining the criteria weights using ranking

The linear weights with a variable slope, reciprocal weights, rank order centroid weights, rank sum weights, geometric weights and rank order distribution weights are shown in this paper.

This paper presents a brief review of the selected methods for determining the criteria weights on the basis of their rank: linear weights with a variable slope, reciprocal weights, rank order centroid weights, rank sum weights, geometric weights and rank order distribution, in order to form a complete notion of the possibilities of determining the criteria weights based on criteria ranks.

Roberts and Goodwin (2002) suggest the existence of clear theoretical evidence that weights obtained using the rank order centroid method represent the best approximation of the weights that can be obtained using the direct allocation of weights. Weights determined by the rank order distribution method best fit weights that can be obtained using the proportional method of determining the criteria weights.

To solve the problem of determining the weight of a large number of criteria, the application of the rank sum weights method is recommended.

Aggregation of individual criteria orders

Group values of criteria weights can be obtained in two ways: by transforming the individual ranks into weights, and then aggregating the individual weights or aggregating individual ranks and transforming group criteria ranks into group criteria weights. The formation of group values criteria weights can be performed by applying mathematical aggregation methods, by the implementation of the social choice theory and using the Kemeni median.

Selected mathematical aggregation methods

Based on the literature (Alfares, 2007.), the following mathematical methods for aggregating individual weights (ranks) are shown: a method

of arithmetic averaging of criteria weights, method of geometric averaging of criteria weights and the median ranks method.

The use of the methods of social choice for the aggregation of individual criteria orders

The social choice theory identifies the group decision making problem (in this case it is an expert group) with the problem of finding a method for obtaining a unique group rank list from a set of differently ranked individual preferences. The requested method should enable the successful aggregation of individual orders of objects (variants, criteria, etc.).

Without going into a further theoretical consideration of the social choice theory, there are listed group decision making methods which as a result give a complete rank list. The best known methods are the Condorcet method and the Borda method.

Determination of criteria weights by applying the Kemeni median

Displaying ranking as binary relations in a matrix form creates a possibility of introducing the measure of distance between pairs of rankings, such as the Kemeni distance.

The resulting ranking closest to all individual rankings, and with a minimum total distance of all the individual rankings, is the Kemeni median.

The Kemeni median is a unique resultant ranking that is neutral, concordant, Condorcet's and, from the all Arrow's conditions, it does not meet only the requirement of independence.

This paper briefly shows a heuristic algorithm (Lumeak, 1982.) which is simpler to implement than a combinatorial algorithm but meets the needs of this paper.

Heuristic algorithm to determine the Kemeni median

The starting point for the calculation of the Kemeni median is the lost matrix. The elements of the lost matrix are the sum of distances of all the individual rankings to the selected ranking.

The task of calculating the Kemeni median is identical to calculating, based on the lost matrix, the minimum summary distance.

The heuristic algorithm calculation of the Kemeni median is conducted in several iterations and it finishes by checking the optimality of the obtained resultant ranking.

An example of the application of selected methods

The expert group consisting of eighteen experts performed a ranking of eight criteria with the goal of determining the criteria weights.

Criteria weights based on individual ranks were obtained by applying the selected conversion functions ranks in weights.

The aggregation of individual weights (ranks) was done by using mathematical methods.

The relative weight ratio of the value of different methods of transformation criteria ranks into weights is the same regardless of the chosen aggregation method.

The order of values of criteria weights is the same for all methods of transformation ranks into weights, except for the geometric weight method in which there is a substitution between two criteria ranks.

The median rank method does not always give a strict group criteria orders.

In the given example, the Kemeni median, the Borda and the Condorcet method give the same rank orders. This result can be regarded as an exception rather than a rule.

Conclusion

Methods for determining the criteria weights based on criteria ranks belong to the subjective approach to determining criteria weights.

Although the methods of determining the criteria weights have a great effect on the value of the obtained criteria weights, there is no consensus on the best method of determining the criteria weights, or the conditions of its application. If it is necessary to emphasize the intensity of the weight differences, the reciprocal weights method can be applied or the rank order centroid method. The linear weights method with a variable slope can be applied if the criteria are approximately equal in their importance.

The aggregation of individual criteria ranks can be performed in several ways. The author recommends the use of the Kemeni median.

Key words: weights; ranking; median; criteria.

Datum prijema članka/Paper received on: 10. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 20. 06. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 22. 06. 2013.

EVALUATIONS OF THE APPARENT ACTIVATION ENERGY DISTRIBUTION FUNCTION FOR THE NON-ISOTHERMAL REDUCTION OF NICKEL OXIDE NANO-POWDERS

Bojan Ž. Janković^a, Marija M. Janković^b

^a University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry,
Department of the Dynamics and Structure of Matter,
Belgrade, Serbia,

^b University of Belgrade, Institute Vinča, Radiation and
Environmental Protection Department, Belgrade, Serbia

DOI: 10.5937/vojtehg62-4585

FIELD: Materials, Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Review Paper

Summary:

The differential conversion curves of the non-isothermal NiO reduction process by hydrogen are fitted by the Weibull (non-isothermal) probability density function (Wpdf), in a wide range of the degree of conversion ($\alpha = 0.06 - 0.96$). It was established that the Weibull distribution parameters (β and η) show the different dependences on the heating rate of the system (v_h) (shape parameter (β) – linear form and scale parameter (η) – exponential form). Model independent values of the apparent activation energy were calculated using the Friedman's isoconversional method. It was found that the calculated apparent activation energy depends on the degree of conversion, α , and it shows a constant value in the range of the degree of conversion $0.20 \leq \alpha \leq 0.60$ ($E_a = 90.8 \text{ kJ mol}^{-1}$). Knowing the Weibull distribution function of reaction times, it is possible to determine the density distribution function of apparent activation energies at different heating rates. It was established that the changes of the symmetry of density distribution functions may be an indication for deviations from the simple crystallization kinetics as expressed by the Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model, and this behaviour is probably due to a more complex transformation process such as a process described by the two-parameter autocatalytic Šesták-Berggren model.

Ključne reči: nickel oxide; non-isothermal reduction; apparent activation energy; density distribution functions; true compensation effect.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors would like to thank the Ministry of Science and Environmental Protection of the Republic of Serbia for the financial support of this research under Projects 172015 (Bojan Ž. Janković) and III43009 (Marija M. Janković). The authors also wish to thank Prof. Dr Slavko Mentus (corresponding member of the Serbian Academy of Sciences (SANU)) for supplying the experimental samples and for performing thermo-analytical measurements.

Introduction

Metal oxides are widely used as catalysts in environmental chemistry and commercial processes that deal with the conversion of hydrocarbons (Kung, 1989). Thus, oxide catalysts are useful in the destruction of SO_2 and NO_x species produced during the combustion of fuels in automobiles, factories and power plants. By preventing the emission of SO_2 and NO_x into the atmosphere, they help to minimize the negative effects of acid rain on the entire environment (Kung, 1989), (Stem, et al, 1984). The selective oxidation, ammoxidation and dehydrogenation probably constitute the most important industrial applications of oxide catalysts active for the conversion of hydrocarbons (Kung, 1989). Over the years, there has been a considerable interest in obtaining a fundamental understanding of phenomena responsible for a good performance of oxide catalysts (Kung, 1989), (Henrich, Cox, 1994), (Freund, 1999, pp.1-31).

In most cases, pure stoichiometric oxides do not exhibit a high catalytic activity (Kung, 1989). For the preparation of active oxide catalysts, the partial reduction of nickel oxide under hydrogen at elevated temperatures is the effective method for this preparation (Delmon, 1997), (Furstenau, et al, 1985, p.55), (Lescop, et al, 2004, p.83). In previous studies, two different kinetic models have been proposed for the reduction of metal oxides: 1) nucleation model (Furstenau, et al, 1985, p.55), Langel, 1985, p.543) and 2) interface-controlled model (Delmon, 1969).

The first reported systematic measurement of bulk NiO reduction was by Benton and Emmett (Benton, Emmett, 1964, p.2728). These authors measured water formation as an indication of the extent of reaction for a sample of NiO made by heating nickel nitrate at 400°C . They came up with some very important conclusions such as: a) reduction occurs at the interface between NiO and previously reduced Ni; b) there is an "autocatalytic" effect; c) there is an induction (i.e. nucleation) period that depends on the nature of the sample and temperature, and d) added water reduces the reduction rate and increases the induction period. Koga and Harrison reviewed general reactions between solids and hydrogen and represented the induction process as a generation of nickel atoms on the outer surface of NiO grains (Koga, Harrison, 1984). Following nucleation, Ni clusters grow two-dimensionally across the surface until they overlap, at which point hydrogen rapidly dissociates into Ni and the interface proceeds quickly into the grain (Koga, Harrison, 1984). Bandrowski et al. (Bandrowski, Bickling, Yang, Hougen, 1962, p.379) used water produced during the reduction to generate sigmoidal conversion curves which they explained with a two-step kinetic model. The first step, the reaction between NiO and hydrogen atoms adsorbed on NiO, predominates in the early part of the reduction and is proportional to the square root

of the hydrogen pressure. The second step is the reaction at the metal-oxide interface between NiO and hydrogen atoms adsorbed on the previously reduced NiO. The above models emphasized the chemical mechanism and kinetics of the reduction process, but there was little uniformity in the physical properties of NiO grains and pellets used. Nevertheless, it was suspected that morphological factors were just as important as topological properties in determining the course of the reduction. These factors were demonstrated by (Moriyama, Yamaguchi, 1964, p.831) who found that reduction rate constants were inversely proportional to a grain size above a diameter of about 10 μm . Such dependence is predicted by the shrinking core model (Yagi, Kunii, 1955). (Richardson, et al, 1994, p.217) conducted a series of experiments using isothermal H_2 consumption and magnetization measurements to determine the Ni-O bond rupture (NiO conversion) and the growth of nucleated Ni atoms, respectively. They found the growth process lagged NiO conversion by a time interval that increased with decreasing temperature, lower gas flow rates and the presence of H_2O added to the reducing gas. (Rodriguez, et al, 2002, pp.346-54) showed that in the experiments with a NiO (100) crystal and NiO powders, oxide reduction is observed at atmospheric pressures and elevated temperatures (250-350 $^{\circ}\text{C}$), but only after an induction period. These authors showed that the presence of O vacancies leads to an increase in the adsorption energy of H_2 and substantially lowers the energy barrier associated with the cleavage of the H-H bond. (Richardson, et al, 2003, pp.137-150) studied the hydrogen reduction of porous bulk NiO particles with in situ hot-stage X-ray diffraction (XRD) in the temperature range from 175 to 300 $^{\circ}\text{C}$. The results obtained by these authors indicated that the reduction in the absence of water added to the reducing gas occurred in several steps: 1) an induction period associated with the initial reduction of NiO and the appearance of Ni metal clusters; 2) acceleration of the reduction rate as the size of the clusters increase, and 3) a pseudo-first-order process in which NiO disappeared and Ni appeared in concert until the reduction slowed at a fractional conversion of about 0.8. When 2.2×10^{-2} atm of H_2O was added to the reducing gas, induction times increased by approximately a factor of two and reduction rates decreased, with an apparent activation energy of $126 \pm 27 \text{ kJmol}^{-1}$ compared to $85 \pm 6 \text{ kJmol}^{-1}$ without added water (Richardson, et al, 2003, pp.137-150). (Utigard, et al, 2005, p.2061) investigated the reduction kinetics of NiO granules formed by vapour deposition from a chloride solution, using thermal gravimetry. They reported that, in the temperature range from 400 to 600 $^{\circ}\text{C}$, the rate of reduction increased with increasing temperature and increasing hydrogen pressure. The microscopic analysis showed that in this temperature range the reaction followed the shrinking core model (Utigard, et al, 2005, p.2061). The same authors

found that the activation energy for the reduction process has a value of 90 kJmol^{-1} , in the above temperature range.

In our previous studies of the temperature-programmed reduction (TPR) of nickel oxide under hydrogen atmosphere, the kinetic scheme of this process was established (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Janković, et al, 2008, p.567). It was concluded that the reduction of NiO using hydrogen is a multi-step mechanism and can be described by the two-parameter autocatalytic Šesták-Berggren (SB) reaction model (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Janković, et al, 2008, p.567). The differential and integral isoconversional methods were used to yield dependency of the apparent activation energy (E_a) for the considered reduction process on the degree of conversion (α) (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Janković, et al, 2008, p.567). It was established that the values of E_a for a range of $0.20 \leq \alpha \leq 0.60$ were constant and independent on α values. For the temperature-programmed reduction of nickel oxide in hydrogen atmosphere, the following kinetic triplet was obtained: $E_a = 96.4 \text{ kJmol}^{-1}$, $A = 1.04 \times 10^9 \text{ min}^{-1}$ and $f(\alpha) = \alpha^{0.63}(1 - \alpha)^{1.39}$ (SB - reaction model).

(Burnham, Braun, 1999, p.1) have discussed the problems of characterizing the range of reactivity inherent in complex materials such as polymers, minerals, fossil fuels, and biochemical materials. For such systems, the distributed reactivity caused by the complexity of the reaction can be modeled by a set of concurrent reactions, each with its characteristic pre-exponential factor and apparent activation energy. One extreme of the model would be where there is no relationship at all between the values of A and of E_a . Simplifying assumptions includes the following: a) a compensation type of the relationship with $\ln A$ being a linear function of E_a , b) a single common value of A and a continuous distribution of E_a 's, and c) a single common value of E_a and a continuous distribution of pre-exponential factors. Burnham and Braun (Burnham, Braun, 1999, p.1) discuss, with examples, the types of distribution which may be continuous or discrete. They report that the most versatile model for distributed reactivity has a discrete distribution of E_a 's, and they suggest that, for the greatest accuracy over the initial and final stages of the reaction, the assumption of a uniform pre-exponential factor be replaced by $\ln A$ being a linear function of E_a .

In this paper, the new procedure for determining the density distribution functions of the apparent activation energies ($\text{ddf}E_a$'s) (which can correspond to active sites reactivity distributions at different temperature-programmed rates) for a non-isothermal reduction process of nickel oxide under hydrogen atmosphere was established. The Weibull probability function (Weibull, 1951, pp.293-297) was used in the evaluation of $\text{ddf}E_a$'s at different heating rates of the system. The established $\text{ddf}E_a$'s at all heating rates are the consequence of the complex behavior of E_a on α , which follows from the sigmoidal autocatalytic Šesták-Berggren reaction model (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Janković, et al, 2008,

p.567). The aim of this work is to confirm the kinetic model and the reaction scheme for a reduction process of nickel oxide under non-isothermal conditions and calculate the $ddfE_a$'s which occurs as a consequence of the presence of active nucleation sites with different activation energies.

Materials and experimental details

The NiO samples were obtained by the gel-combustion method described elsewhere ((Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Janković, et al, 2008, p.567), (Mentuš, et al, 2005, pp.345-350)). A green-colored transparent gel was obtained by drying an aqueous solution of nickel nitrate hexahydrate (Sigma Aldrich, 99.5 %) and citric acid (Sigma Aldrich, 99.5%), dissolved in a mole ratio 1.8 : 1. This gel further underwent to a self-ignition by heating in air up to 300 °C, and by an additional heating up to 500 °C which produce very fine nickel oxide powders. The mean size of nickel oxide particles, determined from XRD data is $d_m = 30$ nm, and this value overlaps very well with the data published by (Wu, et al, 2007, p.3174).

The thermo-analytical experiments were carried out in a TA SDT 2960 device, capable of a simultaneous TGA-DTA analysis in the temperature range from 25 °C to 1500 °C. The nickel oxide samples were reduced directly within the thermo-balance, in a korund pans, under (99.9995 vol %) hydrogen flowing at a rate of 100 mLmin⁻¹, and using various heating rates: 2.5, 5, 10 and 20 °Cmin⁻¹, in the temperature range from an ambient one up to 500 °C. The sample mass used for thermogravimetric investigations was about 25 ± 0.5 mg (Janković, et al, 2007, pp.48-55). The degree of conversion (α) of the reduction process is expressed as:

$$\alpha = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_f} \quad (1)$$

where m_0 , m_t and m_f refer to the initial, actual and final mass of the investigated sample.

Methods used in the determination of the kinetic parameters of the reduction process

Kissinger method

The basic assumption for this method is that the maximum conversion rate of a single step reaction is independent of the heating rate (v_h) (Kissinger, 1956, p.217), (Kissinger, 1957, pp.1702-6). When plotting the logarithm of (v_h/T_{max}^2) versus the reciprocal absolute temperature of the

maximum rate, a line is obtained and its slope is proportional to the apparent activation energy (E_a) (Kissinger, 1957, pp.1702-6):

$$\ln\left(\frac{v_h}{T_{\max}^2}\right) - \ln\left(\frac{AR}{E_a}\right) - \frac{E_a}{RT_{\max}} \quad (2)$$

This method gives a single E_a value and cannot detect reaction complexities (Vyazovkin, Wight, 1999, p.53). Eq. (2) is exact for both first order (Kissinger, 1956, p.217) and n th-order reactions (Kissinger, 1957, pp.1702-6) and is an excellent approximation for the nucleation (Chen, et al, 1993, p.109) and distributed reactivity models (Braun, Burnham, 1987, p.153).

Stationary point (SP) method

In the heterogeneous chemical reaction kinetics, the function $d\alpha/dt = f(T)$ (where $d\alpha/dt$ is the rate of the process and T is the absolute temperature), which has the zero-initial rate, can be observed as a function with a local maximum. This maximum appears in the so-called stationary point: $S[(d\alpha/dt)_{\max}, T_{\max}]$ ($T_{\max}$ is the temperature at the maximum rate of the process $(d\alpha/dt)_{\max}$), where $(d^2\alpha/dt^2) = 0$ (Klarić, et al, 1995, pp.1373-1380). Consequently, the stationary point is defined as a point in which the reaction system, under given conditions, has the maximum reaction velocity. In that case, the following equation is valid:

$$\left(\frac{d\alpha}{dt}\right)_{\max} = k(T, p_j) f(\alpha_{\max}) \quad (3)$$

where $(d\alpha/dt)_{\max}$ is the maximum velocity of the considered reaction or process, $k(T, p_j)$ is the temperature and partial pressure dependent rate constant, $f(\alpha_{\max})$ is a function of the reaction mechanism, $\alpha_{\max}$ is the degree of conversion at $T = T_{\max}$, and p_j denotes the partial pressure of the gaseous products. For the non-isothermal conditions, when the temperature varies with time with a constant heating rate (v_h), $v_h = dT/dt$, Eq. (3) can be written in the form:

$$\left[v_h \left(\frac{d\alpha}{dT}\right)\right]_{\max} = k(T, p_j) f(\alpha_{\max}) \quad (4)$$

If Arrhenius dependence of $(k(T, p_i))$ on temperature is supposed, than Eq. (4) can be transformed into the following form:

$$\left[v_h \left(\frac{d\alpha}{dT} \right)_{\max} \right] = A \exp \left(- \frac{E_a}{RT_{\max}} \right) f(\alpha_{\max}) \quad (5)$$

where E_a is the apparent activation energy of the overall process, whereas A and R are the pre-exponential factor and the gas constant, respectively. Since the logarithmic form of Eq. (5) is:

$$\ln \left[v_h \left(\frac{d\alpha}{dT} \right)_{\max} \right] = \ln [A f(\alpha_{\max})] - \frac{E_a}{RT_{\max}} \quad (6)$$

and from the slope of the dependence between $\ln[v_h(d\alpha/dT)_{\max}]$ and $1/T_{\max}$, it is a possible to determine the single value of the apparent activation energy E_a of the investigated process. The method of the stationary point does not enable direct calculation of the pre-exponential factor (A). The value of the pre-exponential factor (A) can be determined only in the case when the exact mathematical form of the function $f(\alpha_{\max})$ is known (Klarić, et al, 1995, pp.1373-1380).

Friedman method

The Friedman method (Friedman, 1963, p.183) represent the differential isoconversional (model-free) method, based on the following equation:

$$\ln \left[v_{h,i} \left(\frac{d\alpha}{dT} \right)_{\alpha,i} \right] = \ln [A_{\alpha} f(\alpha)_i] - \frac{E_{a,\alpha}}{RT_{\alpha,i}} \quad (7)$$

where the subscripts i and α designate the given values of the heating rate and the degree of conversion, respectively. For a considered $\alpha = \text{const.}$, the plot $\ln[v_{h,i}(d\alpha/dT)_{\alpha,i}]$ versus $(1/T_{\alpha,i})$ should be a straight line whose slope can be used to evaluate the apparent activation energy.

Results and discussion

The experimentally obtained conversion (α - T) curves at different heating rates for the non-isothermal reduction process of nickel oxide under the hydrogen atmosphere are given in Fig. 1.

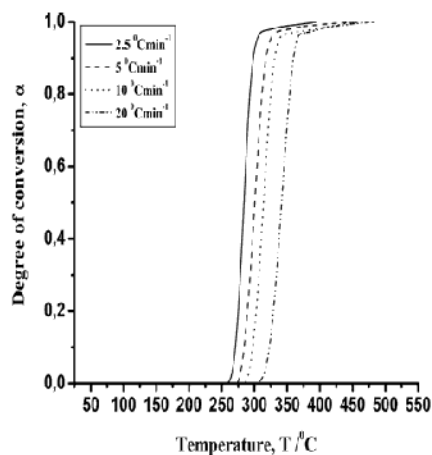


Figure 1 – Non-isothermal conversion (α vs. T) curves for the reduction process of nickel oxide samples prepared by the gel-combustion method under linearly rising temperature, in hydrogen atmosphere, at the following heating rates (v_h): 2.5, 5, 10 and 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$

Slika 1 – Neizotermne konverzije (α nasuprot T) krive za redukcionu proces uzoraka nikel-oksida, pripremljenih metodom gel-sogorevanja pod linearnim porastom temperature, u atmosferi vodonika, na sledećim brzinama zagrevanja (v_h): 2,5, 5, 10 i 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$

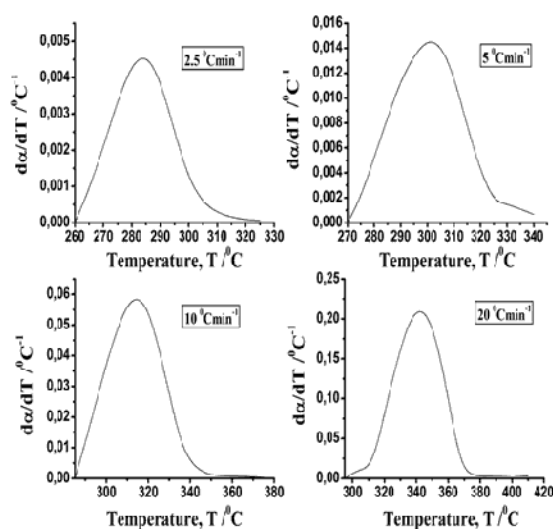


Figure 2 – Experimental differential conversion ($d\alpha/dT$ vs. T) curves for the reduction process of nickel oxide samples prepared by the gel-combustion method under hydrogen atmosphere, at different heating rates ($v_h = 2.5, 5, 10$ and 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$)

Slika 2 – Eksperimentalne diferencijalne konverzije ($d\alpha/dT$ nasuprot T) krive za redukcionu proces uzoraka nikel-oksida, pripremljenih metodom gel-sogorevanja pod atmosferom vodonika, na različitim brzinama zagrevanja ($v_h = 2,5, 5, 10$ i 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$)

The total mass-change of NiO samples at all considered heating rates is about 21.4 %. It can be observed that the temperature at the beginning of the process (T_0) increases with increasing the heating rate of the system.

The differential conversion curves of NiO reduction, obtained from the experimental α - T curves at different heating rates are shown in Fig. 2.

Increasing the heating rate leads to the increase of the reduction rate (the minimum rate is observed at $2.5\text{ }^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$ and the maximum rate is observed at $20\text{ }^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$ – Fig. 2).

The values of temperatures T_0 and $T_{\max}$ ($T_{\max}$ - at which the rate of reduction process has the maximum value $((d\alpha/dT)_{\max})$ and the values of kinetic parameters, E_a and $\ln A$, obtained by the Kissinger's and Stationary point (SP) methods, are shown in Table 1.

Table 1 – Values of T_0 , $T_{\max}$ and corresponding kinetic parameters obtained by Kissinger's (Eq. (2)) and stationary point (SP) (Eq. (6)) methods, at different heating rates for the non-isothermal reduction process of NiO under hydrogen atmosphere

Tabela 1 – Vrednosti T_0 , $T_{\max}$ i odgovarajući kinetički parametri dobijeni Kisindžerovom metodom (jednačina (2)) i metodom stacionarne tačke (jednačina (6)), na različitim brzinama zagrevanja za proces neizotermne redukcije NiO pod atmosferom vodonika

v_h $^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$	T_0 $^{\circ}\text{C}$	$T_{\max}$ $^{\circ}\text{C}$	$\ln A$, A/min^{-1a}	E_a $/\text{kJmol}^{-1a}$	$\ln[Af(\alpha_{max})]$, A/min^{-1b}	E_a $/\text{kJmol}^{-1b}$
2.5	260	285				
5	270	300	18.11	94.7	17.81	93.7
10	285	315	± 1.99	± 1.2	± 2.11	± 1.6
20	295	342				

^a Kissinger method (Kisindžerova metoda).

^b Stationary point (SP) method (Metoda Stacionarne tačke (SP)).

It can be seen from Table 1, that both temperatures (T_0 and $T_{\max}$) increase with an increase of the heating rate, while the values of the kinetic parameters calculated by the stationary point (SP) method are lower than the values of the kinetic parameters calculated by the Kissinger's method. The difference between the values of E_a calculated by both kinetic methods is 1 kJ mol^{-1} , and this result shows very good agreement in the estimation of the activation parameters for the investigated non-isothermal reduction.

The value of E_a obtained by both peak methods for the considered reduction process is in good agreement with a value of E_a established in the previous paper using the invariant kinetic parameters (IKP) ($E_a = 96.4\text{ kJ mol}^{-1}$) method (Janković, et al, 2007, pp.48-55).

Assuming that the reaction times (t) of the reduction process are randomly distributed by the laws of the Weibull distribution function (Kolar-Anić, et al, 1975, p.663), (Kolar-Anić, Veljković, 1975, p.669), (Cantú, et al, 2011, p.1), and assuming that the value of the Weibull distribution

function of reaction times is proportional to the degree of conversion (α), it can be written:

$$\alpha(t) = F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right], \beta \geq 0, \eta \geq 0, \gamma \geq 0, \quad (8)$$

where F is the cumulative Weibull distribution function, t is the time of reaction, β is the shape parameter (because it determines the shape of the distribution), η is the scale parameter (because it scales the t variable) and γ is a third parameter, used to define a suitable zero point. The constant γ is called the location parameter. By changing the shape parameter, the Weibull distribution can be made to have many different shapes, from highly skewed like an exponential distribution to nearly bell-shaped like a normal distribution. Eq. (8) represents the three-parameter cumulative Weibull distribution function. In most cases, the location parameter γ is equal to zero and in these cases the three-parameter Weibull distribution function is reduced to the two-parameter cumulative Weibull distribution function. The fact that in such cases, the time evolution of the process follows any probability function is ascribed to the non-uniform distribution of the free energies of active centers at the interface where the considered reaction takes place (Kolar-Anić, et al, 1975, p.663), (Kolar-Anić, Veljković, 1975, p.669), (Cantú, et al, 2011, p.1), (Staszczuk, et al, 2002, pp.23-36).

Moreover, in the thermogravimetric analysis, there is a functional relationship between the time (t) and the temperature (T) defined by the selected form of the heating rate. If this relation is linear, as it is in the case considered here,

$$t = \frac{T - T_0}{v_h} \quad (9)$$

where v_h is the heating rate, the time dependent degree of conversion, $\alpha(t)$, can be written as a function of temperature such that

$$\alpha(T) \equiv F(T) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{T - T_0 - v_h \gamma}{v_h \eta} \right)^\beta \right]. \quad (10)$$

The last equation is applied for the analysis of the considered results, where $\alpha(T)$ is the degree of conversion of the investigated reduction process at a given heating rate and the relation between time and temperature is the linear. The location parameter (γ) is equal to zero in all four cases. Using a linear form of Eq. (10) (the Weibull plot method) (Lin, Berndt, 1995, pp.111-117), given by the following relation:

$$\ln[-\ln(1-F(T))]-\beta\ln\left(\frac{1}{\eta}\right)+\beta\ln\left(\frac{T-T_0}{v_h}\right) \quad (11)$$

we obtained the results presented in Fig. 3 and in Table 2. The linear relationship is satisfied in a wide domain of the degree of conversion ($\Delta\alpha = 0.06 - 0.96$) (in all four cases r is higher than 0.9990) (Table 2).

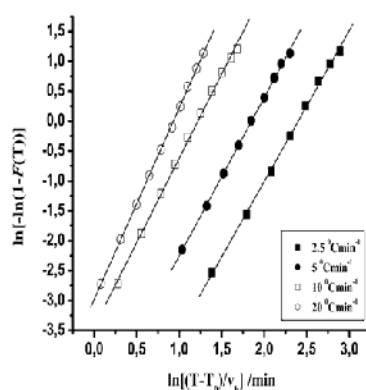


Figure 3 – The Weibull plots for the reduction process of nickel oxide (NiO) under the hydrogen atmosphere at different heating rates (v_h): 2.5 °Cmin⁻¹ (■), 5 °Cmin⁻¹ (●), 10 °Cmin⁻¹ (□), 20 °Cmin⁻¹ (○)

Slika 3 – Vejbulovi grafici za proces redukcije niki-oksida (NiO) pod atmosferom vodonika na različitim brzinama zagrevanja (v_h): 2,5 °C min⁻¹ (■), 5 °C min⁻¹ (●), 10 °C min⁻¹ (□), 20 °C min⁻¹ (○)

Table 2 – The linear domains of α ($\Delta\alpha$), the rate constants ($1/\eta$) and the Weibull distribution parameters (β and η) with γ equal to zero, obtained for the reduction process of NiO using hydrogen at different heating rates, with the corresponding values of r and SD

Tabela 2 – Linearni domeni α ($\Delta\alpha$), konstante brzina ($1/\eta$) i parametri Vejbulove raspodele (β and η) sa γ jednako nuli, dobijeni za proces redukcije NiO korišćenjem vodonika na različitim brzinama zagrevanja, sa odgovarajućim vrednostima r i SD

v_h / °Cmin ⁻¹	$\Delta\alpha$	$1/\eta$ /min ⁻¹ ^a	η /min	β	r ^b	SD ^c
2.5	0.08-0.96	0.0907	11.03 ± 0.08	2.52 ± 0.03	0.9995	0.0467
5	0.11-0.96	0.1576	6.34 ± 0.05	2.65 ± 0.03	0.9997	0.0317
10	0.06-0.96	0.2954	3.38 ± 0.05	2.82 ± 0.04	0.9992	0.0545
20	0.06-0.96	0.3940	2.54 ± 0.01	3.20 ± 0.02	0.9998	0.0263

^a The rate constant (Konstanta brzine).

^b Linear correlation coefficient (Koeficijent linearne korelacije).

^c Standard deviation (Standardna devijacija).

The obtained values of the shape parameter (β) increases with the increase of the heating rate, until the scale parameter (η) decreases with the heating rate (Table 2). Also, from the same table, we can see that the shape parameter (β), with $\beta > 1$ indicates continuous increasing of the reduction rate in respect of increasing the heating rate behaviour. Obviously, the Weibull distribution function can be applied for the analysis of the considered conversion curves (Fig. 1) of the investigated reduction process. The functional relationships between the Weibull distribution parameters (β and η) and the heating rate (v_h), can be expressed by the following mathematical equations:

$$\beta = a + bv_h \quad (12)$$

$$\eta = c + d \exp\left(-\frac{v_h}{\varphi}\right) \quad (13)$$

where the constant a is dimensionless, while the constant b has a dimension [$\text{min } ^\circ\text{C}^{-1}$]. The constants c and d have dimensions of the parameter η , while the constant φ has a dimension of the heating rate, v_h [$^\circ\text{C min}^{-1}$]. In the considered case, the values of the corresponding constants are: $a = 2.440$, $b = 0.038 \text{ min } ^\circ\text{C}^{-1}$, $c = 2.541 \text{ min}$, $d = 18.764 \text{ min}$ and $\varphi = 3.147 \text{ } ^\circ\text{C min}^{-1}$. The graphical representations of the above functional relationships between the Weibull distribution parameters and the heating rate as the controlling parameter are presented in Figs. 4 and 5.

If the temperature dependence of the degree of conversion $\alpha(T)$ is well described by Eq. (10), with the location parameter $\gamma = 0$, then the corresponding rate of the reduction process can be given by the first derivative of this function with respect to the temperature. Thus, we can write the following equation:

$$\frac{d\alpha}{dT} = \frac{\beta}{v_h \eta} \left(\frac{T - T_0}{v_h \eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{T - T_0}{v_h \eta} \right)^\beta \right]. \quad (14)$$

Since the time and the temperature are directly correlated by Eq. (9), the rate law equation, expressed through the Weibull (non-isothermal) probability density function (Wpdf) (Eq. (14)), is used for the description of the nickel oxide reduction process by hydrogen under dynamic conditions.

The maximum temperature value ($T_{\max}$) which corresponds to the maximum rate can be obtained when the first derivative of Eq. (14) is equal to zero, and this value is given by the following relation:

$$T_{\max} = v_h \eta \left(\frac{\beta-1}{\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}} + T_0. \quad (15)$$

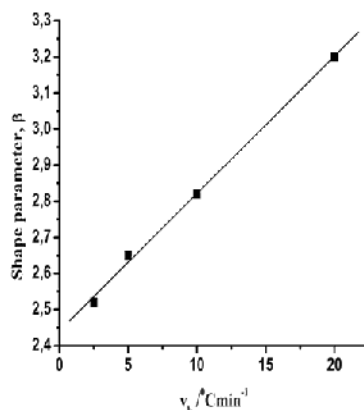


Figure 4 – The linear functional relationship between the Weibull shape parameter (β) and the heating rate (v_h) (Eq. (12)) for the reduction process of NiO under hydrogen atmosphere

Slika 4 – Linearna funkcionalna veza između Weibulovog parametra oblika (β) i brzine zagrevanja (v_h) (jednačina (12)) za proces redukcije NiO pod atmosferom vodonika

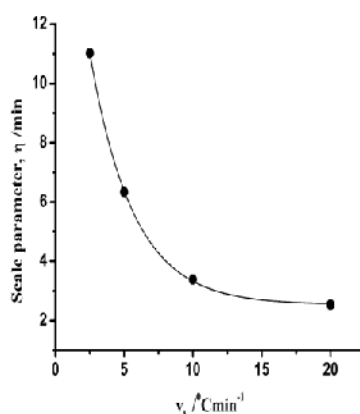


Figure 5 – The exponential relationship between the Weibull scale parameter (η) and the heating rate (v_h) (Eq. (13)) for the reduction process of NiO under hydrogen atmosphere

Slika 5 – Eksponencijalna veza između Weibulovog skalarnog parametra (η) i brzine zagrevanja (v_h) (jednačina (13)) za proces redukcije NiO pod atmosferom vodonika

Fig. 6 shows the comparison between the experimental non-isothermal differential conversion curves and the Weibull probability density functions ($Wpdf$ s) at every considered heating rate, for the reduction process of NiO under hydrogen atmosphere. For the construction of the Weibull probability density functions ($Wpdf$ s), the values of β and η parameters from Table 2 were used.

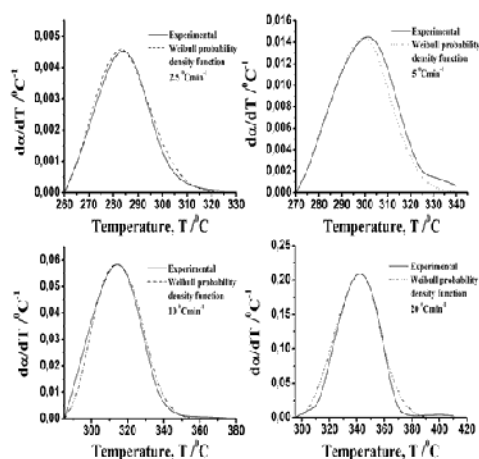


Figure 6 – The comparison of the experimental non-isothermal differential conversion curves and the Weibull probability density functions (Wpdfs) at different heating rates, for the reduction process of NiO using hydrogen

Slika 6 – Poređenje eksperimentalnih neizotermnih diferencijalnih konverzionih krivih i Vejbulovih funkcija gustina verovatnoće (Wpdfs) na različitim brzinama zagrevanja, za proces redukcije NiO korišćenjem vodonika

It can be seen (Fig. 6) that there is excellent agreement between the experimental differential curves ($d\alpha/dT$ vs T) and the Weibull probability density functions calculated by Eq. (14) at different heating rates.

It can be observed that the Weibull probability density functions (Wpdfs) (and also the experimental differential rate curves) show the right-skewed behaviour, but the skewness of the Weibull density distribution decreases with the increase of both the heating rate and the Weibull shape parameter (β) (see Fig. 6 and Table 2).

Table 3 shows the experimental $T_{\max, \exp}$ and $(d\alpha/dT)_{\max, \exp}$ values and also the values of $T_{\max, W}$ and $(d\alpha/dT)_{\max, W}$ determined from Eq. (15) and Fig. 6, respectively.

Table 3 – The comparison of the experimental (exp) and the calculated (W) (Eq. (15) and Fig. 6) values of $T_{\max}$ and $(d\alpha/dT)_{\max}$ for the reduction process of NiO under hydrogen atmosphere at different heating rates

Tabela 3 – Poređenje eksperimentalnih (exp) i izračunatih (W) (jednačina (15) i slika 6) vrednosti $T_{\max}$ i $(d\alpha/dT)_{\max}$ za proces redukcije NiO pod atmosferom vodonika na različitim brzinama zagrevanja

v_h $^{\circ}\text{Cmin}^{-1}$	$T_{\max, \exp}$ / $^{\circ}\text{C}$	$(d\alpha/dT)_{\max, \exp}$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$T_{\max, W}$ $^{\circ}\text{C}$	$(d\alpha/dT)_{\max, W}$ / $^{\circ}\text{C}^{-1}$
2.5	285	0.00453	282.6	0.00457
5	300	0.01444	296.5	0.01439
10	315	0.05821	314.0	0.05825
20	342	0.20901	340.2	0.20932

As it can be seen in Table 3, the values of $T_{\max,W}$ and $(da/dT)_{\max,W}$ based on the Weibull distribution are very similar to the experimental values of $T_{\max,exp}$ and $(da/dT)_{\max,exp}$. Also, from the results given above, we can see that the experimental differential rate curve at 20°Cmin^{-1} can be very successfully approximated with the Weibull probability density functions with $\beta = 3.20$, which corresponds with a highly symmetrical function, as the normal distribution function (Plait, 1962, p.17), (Anthony, Howard, 1976, pp.625-656), (Campbell, et al, 1980, p.727).

If we introduce the values of $T_{\max,W}$ (Table 3) in Kissinger's equation (Eq. (2)), we can obtain the kinetic parameters ($\ln A_W$ and $E_{a,W}$), which are calculated on the basis of Eq. (15). In this case, the positions of $T_{\max,W}$ are governed by the values of the Weibull distribution parameters (β and η) and the temperature T_0 . The values of $\ln A_W$ and $E_{a,W}$ obtained from Eq. (2) for $T_{\max,W}$, at different heating rates are: $\ln A_W = 17.58 \pm 1.77$ (A_W expressed in min^{-1}) and $E_{a,W} = 92.0 \pm 1.0 \text{ kJ mol}^{-1}$. The calculated values of $\ln A_W$ and $E_{a,W}$ are in very good agreement with the values of $\ln A$ and E_a evaluated for the experimental temperatures $T_{\max}$.

Since we have shown above that the experimentally obtained differential rate curves are well fitted by the Weibull distribution function, we can also calculate the apparent activation energies at different values of α . For this purpose, the differential isoconversional method was applied.

The values of the apparent activation energies (E_a) at different constant values of α , which was determined by the Friedman's method, are shown in Fig. 7.

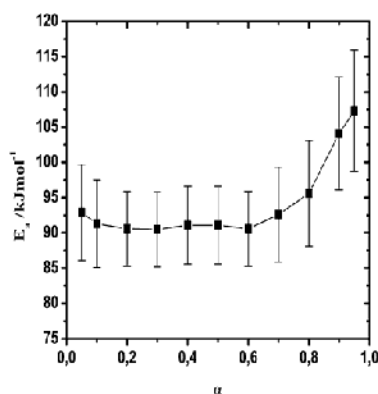


Figure 7 – The dependence of the apparent activation energy (E_a) of the degree of conversion (α) determined using the differential isoconversional method for the reduction process of nickel oxide (NiO) under hydrogen atmosphere

Slika 7 – Zavisnost prividne energije aktivacije (E_a) od stepena konverzije (α) određena korišćenjem diferencijalne izokonverzione metode za proces redukcije nikl-oksida (NiO) pod atmosferom vodonika

Within the limits of the experimental errors in the determination of E_a 's by the Friedman's method, the apparent activation energy of the NiO reduction process in the range of $0.20 \leq \alpha \leq 0.60$ is practically a constant value, independent of α values ($E_a = 90.8 \text{ kJ mol}^{-1}$).

For $0.05 \leq \alpha \leq 0.20$ the values of E_a decrease, while for $\alpha \geq 0.60$ the values of E_a increase with the increase of α values. The existence of the "plateau" in Fig. 7, in the wide range of the degree of conversion (α), confirms the occurrence of the single-step reaction (Janković, et al, 2007, pp.48-55).

The increase of E_a values when increasing α , for $\alpha \geq 0.60$, pointed to the existence of a parallel independent reaction (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Vyazovkin, et al, 1992, p.41), which possessed a higher value of the apparent activation energy and whose part in the overall process increased in the considered range of α .

It was shown (Koga, 1994, p.1), (Budrugeac, Segal, 1995, p.33), (Vyazovkin, Linert, 1995, p.355), (Vyazovkin, Linert, 1995, p.109) that if E_a and A depend on α , the kinetic parameters are correlated through the relation of the compensation effect (Agrawal, 1986, pp.73-86), (Galwey, 1977, p.247):

$$\ln A_\xi = a + bE_{a,\xi} \quad (16)$$

where a and b are the compensation constants and the subscript ξ refers to a factor that produces a change in kinetic parameters. Thus, if E_a depends on α , the Friedman's method (Friedman, 1963, p.183), which uses directly the equation of the reaction rate, is recommended.

Analyzing the mutual interdependence of kinetic parameters (for the differential isoconversional method (Friedman, 1963, p.183), this is $A_\alpha f(\alpha)$ and $E_{a,\alpha}$) at the same degree of conversion, it was found that the following linear relationship is satisfied for every considered α :

$$\ln[A_\alpha f(\alpha)] = -1.3625 + 0.2085E_{a,\alpha}, \quad (17)$$

where the obtained values of compensation constants for the reduction process of NiO under hydrogen atmosphere are: $a = -1.3625$ and $b = 0.2085 \text{ mol kJ}^{-1}$. According to the literature (Agrawal, 1986, pp.73-86) this is a confirmation of a true compensation effect in the cases when the dependence of $\ln A$ versus E_a is linear. A necessary condition for a compensation effect to be true (or real) is the ability of the ξ factor to affect the temperature dependence of the reduction rate (Vyazovkin, Wight, 1997, pp.125-49). Obviously, for the investigated non-isothermal reduction process of NiO under hydrogen atmosphere, the role of ξ factor has a conversion (α) (Fig. 7) and the heating rate (v_h).

If we choose, for the differential conversion function ($f(\alpha)$), the two-parameter Šesták-Berggren (SB) kinetic model, with average values of

kinetic exponents ($m = 0.63$, $n = 1.39$) calculated in our previous papers (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Janković, et al, 2008, p.567), the linear dependence of $\ln A$ versus E_a for nickel oxide reduction can be obtained (introducing the SB function, $f(\alpha) = \alpha^m(1 - \alpha)^n$ in Eq. (17)) (Fig. 8).

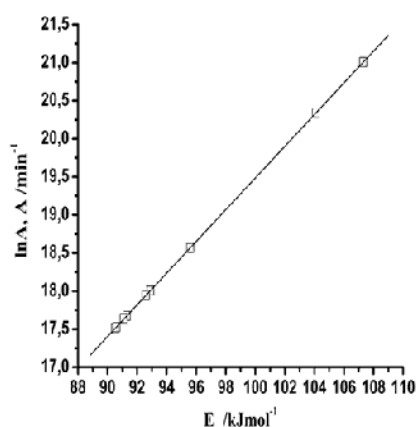


Figure 8 – The true compensation effect ($\ln A$ vs. E_a) evaluated from the isoconversional Friedman's method, for the reduction process of NiO under hydrogen atmosphere

Slika 8. – Istiniti kompenzacioni efekat ($\ln A$ naspram E_a) izveden iz izokonverzione Friedmanove metode za proces redukcije NiO pod atmosferom vodonika

Furthermore, using Eq. (9), we can now obtain the time dependent relation for the apparent activation energies, evaluated for every constant value of α . The numerically fitted relation between the reaction time and the apparent activation energy is given by the expression:

$$t = t_0 + t_1 \ln \frac{(E_a - E_0)}{\varepsilon} \quad (18)$$

where t_0 , t_1 , E_0 and ε are the fitting coefficients. The coefficients E_0 and ε must have the dimensions of energy, whereas t_0 and t_1 have the dimensions of time. The fitting coefficient E_0 corresponds to the *threshold activation energy* value for the investigated reduction process (Table 4), while the coefficients t_0 , t_1 and ε represent the "solid" constants and they do not have any physical meaning. For finding the mathematical relationship between the reaction time and the apparent activation energy, the values of E_a calculated by the Friedman's method at different α 's were used.

The influence of the heating rate (v_h) on the values of the fitting coefficients t_0 , t_1 and ε is shown in Table 4. The values of E_0 at every particular heating rate of the considered system are also presented in Table 4.

Table 4 – The influence of the heating rate (v_h) on the values of the fitting coefficients (t_0 , t_1 and ε) and the threshold activation energy (E_0), for the non-isothermal reduction process of nickel oxide samples prepared by the gel-combustion method, under hydrogen atmosphere

Tabela 4 – Uticaj brzine zagrevanja (v_h) na vrednosti koeficijenata fitovanja (t_0 , t_1 i ε) i početne energije aktivacije (E_0), za neizotermni proces redukcije uzoraka niki-oksida pripremljenih putem metode sol-sagorevanja, pod atmosferom vodonika

v_h / $^{\circ}\text{C min}^{-1}$	t_0 /min	t_1 /min	ε /kJ mol $^{-1}$	E_0^a /kJ mol $^{-1}$
2.5	0.16 ± 0.02	3.40 ± 1.01	0.12 ± 0.08	90.2 ± 1.4
5	0.21 ± 0.01	1.95 ± 0.02	0.15 ± 0.07	90.2 ± 0.7
10	0.13 ± 0.04	1.01 ± 0.03	0.12 ± 0.08	90.2 ± 1.3
20	0.17 ± 0.01	0.46 ± 0.01	0.02 ± 0.00	90.2 ± 1.1

^a The same characteristic value for E_0 (Ista karakteristična vrednost za E_0).

The value of the fitting coefficient t_0 increases with an increase of the heating rate from 2.5 to 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ and then decreases with an increase of the heating rate from 5 to 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$. With an increase of the heating rate from 10 to 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$, the coefficient t_0 increase again. On the other hand, the value of the fitting coefficient t_1 decreases with an increase of the heating rate. The value of the fitting coefficient ε increases with an increase of the heating rate from 2.5 to 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ and then decreases from 5 to 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$. The value of the *threshold* activation energy is the same at all considered heating rates (the characteristic value of 90.2 kJmol $^{-1}$) (see Table 4).

The time dependence of the apparent activation energies can appear in very complex reaction systems or in a simple system where there is an energy distribution of active centers. In the last case, we have the sum of parallel reactions that differ only in the values of apparent activation energies and consequently in corresponding rate constants (Lakshmanan, et al, 1991, p.110), (Lakshmanan, White, 1994, p.1158), (Miura, Maki, 1998, p.864), (Mcguinness, et al, 1999, p. 27), (Burnham, et al, 2004, p.19432), (Burnham, 2005, p.47). Their effective value of α must depend on the time or temperature (Eq. (9)) in a complex manner. Such dependence between α and temperature is already given by Eq. (14).

Our next aim is to obtain the density distribution functions of the apparent activation energies ($ddfE_a$'s) at different heating rates (v_h) for the investigated reduction process.

It should be pointed out that in the earlier studies, (Shih, Sohn, 1980, p.420) and (Braun, Burnham, 1987, p.153) clarified that the conversion-dependent E_a values obtained by the Friedman's method result from the distribution of the apparent activation energy. In accordance with the above-mentioned discussion, in order to determine the $ddfE_a$'s (designates by $p(E_a)$), we need to write Eq. (14) in a function of the reaction time as:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \right], \quad (19)$$

and find $p(E_a) = d\alpha / dE_a$, using the following relation as:

$$p(E_a) = \frac{d\alpha}{dE_a} = \left(\frac{d\alpha}{dt} \right) \times \frac{dt}{dE_a}. \quad (20)$$

From Eq. (18), we can find the term dt/dE_a :

$$\frac{dt}{dE_a} = \frac{t_1}{(E_a - E_0)}. \quad (21)$$

The density distribution functions of the apparent activation energies, $p(E_a) = d\alpha/dE_a$ are now given in the following form:

$$p(E_a) = \frac{\beta}{\eta} \frac{t_1}{(E_a - E_0)} \left[\frac{t_0 + t_1 \ln \frac{(E_a - E_0)}{\varepsilon}}{\eta} \right]^{\beta-1} \times \exp \left\{ - \left[\frac{t_0 + t_1 \ln \frac{(E_a - E_0)}{\varepsilon}}{\eta} \right]^{\beta} \right\}. \quad (22)$$

The influence of the heating rate (v_h) on the shape of the density distribution function of the apparent activation energy is shown in Fig. 9.

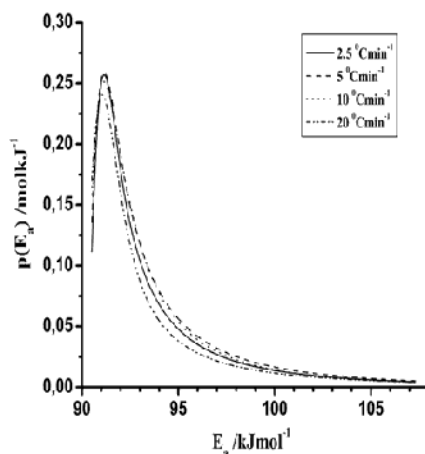


Figure 9 – The influence of the heating rate on the shape and the basic characteristics of the density distribution function of the apparent activation energies ($p(E_a)$) was calculated from Eq. (22)), for the non-isothermal reduction process of nickel oxide under hydrogen atmosphere

Slika 9 – Uticaj brzine zagrevanja na oblik i osnovne karakteristike funkcije gustine raspodele prividnih energija aktivacije $p(E_a)$ izračunat je iz jednačine (22), za proces neizotermne redukcije nikl-oksida pod atmosferom vodonika

The basic characteristics of the density distribution functions of the apparent activation energies: $E_{a,max}$ – the value of the apparent activation energy at the maximum value of the distribution function, $p(E_{a,max})$ – the maximum value of the density distribution function, $p(E_{a,HW})$ – the value of the density distribution function on the half-wide, SF – shape factor or the factor of asymmetry and HW – half-wide of the density distribution function, at different heating rates, are presented in Table 5.

From the results in Table 5 and Fig. 9, it follows: a) the density distribution function of apparent activation energies is dependent on the heating rate of the system. This dependence is less declared at lower values of E_a i.e. to the value of $E_{a,max}$, and increases at the higher values of E_a (after the value of $E_{a,max}$) (Fig. 9); b) The value of $p(E_{a,HW})$ increases with an increase of the heating rate, c) Shape factor (SF) increases with an increase of the heating rate (Table 5). The maximum value of SF (1.25) was observed at a higher value of the heating rate (for $20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$); d) The value of half-wide (HW) decreases with an increase of the heating rate (Table 5) and overtakes its own minimum value at $20\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ ($HW < 1$). It can be observed that the value of $E_{a,max}$ (at all heating rates) is very similar to the value of E_a calculated using the differential isoconversional method (90.8 kJ mol^{-1}).

Table 5 – The influence of the heating rate (v_h) on the basic characteristics of the density distribution function of the apparent activation energies ($ddfE_a$'s), $p(E_a)$, for the reduction process of nickel oxide under hydrogen atmosphere

Tabela 5 – Uticaj brzine zagrevanja (v_h) na osnovne karakteristike funkcije gustine raspodele prividnih energija aktivacije ($ddfE_a$'s), $p(E_a)$, za proces redukcije nikel-oksida pod atmosferom vodonika

v_h / $^{\circ}\text{C min}^{-1}$	$E_{a,\max}$ /kJ mol $^{-1}$	$p(E_a)_{\max}$ /mol kJ $^{-1}$	$p(E_a)_{\text{HW}}$ /mol kJ $^{-1}$	Shape fac- tor, SF	Half-wide, HW /kJ mol $^{-1}$
2.5	91.2	0.2565	0.1843	0.6250	1.3
5	91.2	0.2587	0.1972	0.7143	1.2
10	91.2	0.2508	0.2047	0.8333	1.1
20	91.2	0.2402	0.2051	1.2500	0.9

For complex processes, global apparent activation energy is often determined, which is a complicated average of the individual reaction steps. The value of $E_{a,\max}$ (Table 5 and Fig. 9) can be correlated with a constant value of E_a (observed in Fig. 7) in a wide range of conversions ($0.20 \leq \alpha \leq 0.60$), which is a consequence of the constant *activation energy for crystal growth* of NiO crystallites induced in the nucleation stage of the process whose duration period depends on the heating rate of the system (Janković, et al, 2007, p.48-55). The increasing of E_a values (Fig. 7), which corresponds to the right “wing” of the density distributions after the point of $E_{a,\max}$ (Fig. 9) was probably caused by the mutual overlapping of Ni growth crystals, which led to the decreasing of the area size of the boundary phase and the process rate. This reaction step also leads to a continuous decrease of intensity of the density distribution functions at all heating rates (Fig. 9). On the other hand, the heating rate has a considerable influence on some important characteristics of the density distribution function of the apparent activation energy ($ddfE_a$) as a shape factor or a factor of asymmetry (as a shape factor - SF). It can be observed from Table 5, that only for $v_h = 20$ $^{\circ}\text{C min}^{-1}$, the density distribution function of the apparent activation energy exhibits the asymmetry factor which is greater than unity ($\text{SF} > 1$), while for other values of v_h , the $ddfE_a$'s exhibits the asymmetry factor lower than unity ($\text{SF} < 1$). This behaviour is confirmed from the shapes of experimental $d\alpha/dT$ vs. T curves which are very well described by the Weibull probability density functions (Wpdf's). The experimental $d\alpha/dT$ vs. T curve at 20 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ can be best described by the Wpdf with $\beta = 3.20$ which correspond to the symmetrical normal distribution function. It can be pointed out that this change of the symmetry of density functions may be an indication for a deviation from the simple crystallization kinetics as expressed by the Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model (Johnson, Mehl, 1939, p.416),

(Avrami, 1939, p.1103), (Avrami, 1940, p. 212), (Avrami, 1941, p.177), and probably due to a more complex transformation process such as a process described by the two parameter *autocatalytic* Šesták-Berggren reaction model. Accordingly, the JMA model is valid in the non-isothermal conditions provided that a new crystalline phase grows from a constant number of nuclei and all nucleation is completed before the macroscopic crystal growth started. This so-called site saturation is an important condition for the isokinetic crystallization process (Henderson, 1979, p.301). From the above facts, it seems that the nucleation and growth processes are probably overlapped for a fine NiO powder sample and therefore, the overall crystallization cannot be described by the JMA model. The autocatalytic Šesták-Berggren reaction model can be used for a quantitative description of the investigated complex reduction process of NiO under non-isothermal conditions which involved both nucleation and growth (Janković, et al, 2007, pp.48-55), (Sestak, Berggren, 1971, p.1). Such behaviour of the investigated system is confirmed from the complex dependence of the apparent activation energy (E_a) on the degree of conversion (α), and this dependence is a natural consequence of the existence of the distribution of apparent activation energies, which leads to the accidental distribution of the reaction times. In other words, the evaluated ddE_a 's represents the corresponding active sites reactivity distributions at different temperature-programmed rates. From the changes of the basic characteristics of ddE_a 's with the heating rate (v_h), the complex nature of the investigated reduction process can be established.

Conclusion

The differential conversion curves of the non-isothermal NiO reduction process by hydrogen are fitted by the Weibull (non-isothermal) probability density function (Wpdf), in a wide range of the degree of conversion ($\alpha = 0.06 - 0.96$). It was established that the considered process at 2.5, 5 and 10 °C min⁻¹ can be very well described by asymmetrical density distribution functions with shape parameters for $2 \leq \beta \leq 3$. On the other hand, the experimental differential conversion curve at 20 °C min⁻¹ can be very well fitted with a highly symmetrical density distribution function for $\beta > 3$ ($\beta = 3.20$) which corresponds to the normal distribution function. It was established that the Weibull distribution parameters (β and η) show different dependencies on the heating rate of the system (v_h) (the shape parameter (β) – linear form and the scale parameter (η) – exponential form).

The model independent values of the apparent activation energy were calculated using the Friedman's isoconversional method. It was found that

the calculated apparent activation energy depends on the degree of conversion, α , and it shows a constant value in the range of the degree of conversion $0.20 \leq \alpha \leq 0.60$ ($E_a = 90.8 \text{ kJmol}^{-1}$), for the temperature limited range of $250 - 400^\circ\text{C}$. An interesting fact from a practical point of view should be noted -for example, a sample of nickel oxide doped with nano-sized palladium (Pd) particles might reduce the value of the apparent activation energy. Namely, the well-known additional catalytic effect of Pd nano-particles can mainly promote the adsorption and diffusion processes (processes that occur even with a lower E_a value than the above mentioned) of hydrogen on NiO surface, making possible the "*inversion redox system*" of type Pd/PdO_x. This can undoubtedly lead to *spillover hydrogen* (SH) and is capable of entering into almost all reactions typical of hydrogen activated on the surface of a platinum group metal.

It was established that if E_a and A depend on α , the kinetic parameters are correlated through the relation of the compensation effect. The *true compensation effect* relation evaluated from the Friedman's isoconversional method, for the investigated reduction process of NiO, was established. By knowing the Weibull distribution function of reaction times, it is possible to determine the density distribution function of the apparent activation energies ($\text{ddf}E_a$) at different heating rates. The obtained values of $E_{a,\text{max}}$ calculated from $\text{ddf}E_a$'s at all heating rates are in good agreement with the value of E_a calculated using the Friedman's method in a conversion range of $0.20 \leq \alpha \leq 0.60$. It was established that the heating rate has a considerable influence on some important characteristics of the density distribution function of the apparent activation energy, especially on the shape factor (SF). It was concluded that only for $v_h = 20^\circ\text{C min}^{-1}$, the density distribution function of the apparent activation energy exhibits the asymmetry factor which is greater than unity ($\text{SF} > 1$), while for the other values of the heating rates, the $\text{ddf}E_a$'s exhibits the asymmetry factor lower than unity ($\text{SF} < 1$). It was established that the changes of the symmetry of density distribution functions may be an indication for deviations from the simple crystallization kinetics as expressed by the Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model, and this behaviour is probably due to a more complex transformation process such as a process described by the two-parameter autocatalytic Šesták-Berggren reaction model. Accordingly, for nano-sized NiO samples, the nucleation and growth processes are probably overlapped and in that case, the overall crystallization cannot be described by the JMA model. Based on the obtained results, the non-isothermal reduction process of NiO under hydrogen atmosphere follows the two-parameter autocatalytic Šesták-Berggren reaction model which gives a quantitative description of a com-

plex process. It was also concluded that such behaviour leads to a complex dependence of the apparent activation energy (E_a) on the degree of conversion (α).

It should be noted that the observed auto-catalytic effect in industrial applications is of great importance since it is used for the production of metals and for drastic reductions of their separation time as well as for the preparation and conduct of hydrotreating and hydrogenolysis catalysts.

Literature

- Agrawal, R.K. 1986. On the compensation effect. *Journal of Thermal Analysis*, 31(1), p.73-86. doi:10.1007/BF01913888
- Anthony, D.B., & Howard, J.B. 1976. Coal devolatilization and hydrogastification. *AIChE Journal*, 22(4), p.625-656. doi:10.1002/aic.690220403
- Avrami, M. 1939. . *J. Chem. Phys.*, 7, p.1103.
- Avrami, M. 1940. . *J. Chem. Phys.*, 8, p.212.
- Avrami, M. 1941. Granulation, phase change, and microstructure: Kinetics of phase change. III. *Journal of Chemical Physics*, 9(2), p.177. doi:10.1063/1.1750872
- Bandrowski, J., Bickling, C.R., Yang, K.H., & Hougen, O.A. 1962. . *Chemical Engineering Science*, 17, p.379.
- Benton, A.F., & Emmett, P.H. 1924. . *Journal of the American Chemical Society*, 46(12), p.2728. doi:10.1021/ja01677a018
- Braun, R.L., & Burnham, A.K. 1987. . *Energy Fuels*, 1, p.153.
- Budrugaec, P., & Segal, E. 1995. . *ICTAC News*, 28, p.33.
- Burnham, A.K. 2005. . *Chem. Eng. J.*, 108, sp.47.
- Burnham, A.K., & Braun, R.L. 1999. . *Energy Fuels*, 13, p.1.
- Burnham, A.K., Weese, R.K., & Weeks, B.L. 2004. . *J. Phys. Chem. B*, 108, p.19432.
- Campbell, J.H., Gallegos, G., & Gregg, M.L. 1980. . *Fuel*, 59, p.727.
- Cantú, R.G.A., McEwen, J.S., & Gaspard, P. 2011. . *Phys. Rev. E*, 83, p.1.
- Chen, D., Gao, X., & Dollimore, D. 1993. . *Thermochim. Acta*, 215, p.109.
- Delmon, B. 1997. *Handbook of Heterogeneous Catalysis*. New York: Wiley-VCH.
- Delmon, B. 1969. *Introduction à la cinétique hétérogène*. Paris: Technip. ch. 11.
- Freund, H. 1999. . *Faraday Discussions*, 144, pp.1-31. doi:10.1039/a907182b
- Friedman, H.L. 1963. . *J. Polym. Sci. Part C*, 6, p.183.
- Furstenau, R.P., McDougall, G., & Langel, M.A. 1985. . *Surf. Sci.*, 150, p.55.
- Galwey, A.K. 1977. . *Adv. Catal*, 26, p.247.
- Henderson, D.W. 1979. . *J. Non-Cryst. Solids*, 30, p.301.
- Henrich, V., & Cox, P. 1994. *Surface science of metal oxides*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Janković, B., Adnađević, B., & Mentus, S. 2008. . *Chem. Eng. Sci.*, 63, p.567.
- Janković, B., Adnađević, B., & Mentus, S. 2007. The kinetic analysis of non-isothermal nickel oxide reduction in hydrogen atmosphere using the invariant kinetic parameters method. *Thermochim. Acta* , 456(1), p.48-55. doi:10.1016/j.tca.2007.01.033
- Johnson, W.A., & Mehl, R.F. 1939. . *Trans. Amer. Inst. Min. Metal. Petro. Eng.*, 135, p.416.
- Kissinger, H.E. 1956. . *J Res. Nat. Bur. Standards*, 57, p.217.
- Kissinger, H.E. 1957. Reaction kinetics in differential thermal analysis. *Anal. Chem.* , 29, p.1702-6. doi:10.1021/ac60131a045
- Klarić, I., Roje, U., & Kovačić, T. 1995. Kinetics of isothermal thermogravimetric degradation of PVC/ABS blends. *Journal of Thermal Analysis*, 45(6), p.1373-1380. doi:10.1007/BF02547431
- Koga, N. 1994. . *Thermochim. Acta*, 244, p.1.
- Koga, Y., & Harrison, L.G. 1984. *Comprehensive Chemical Kinetics*. Amsterdam: Elsevier.
- Kolar-Anić, Lj., Veljković, S., Kapor, S., & Dubljević, B. 1975. . *J. Chem. Phys.*, 63, p.663.
- Kolar-Anić, Lj., & Veljković, S. 1975. . *J. Chem. Phys.*, 63, p.669.
- Kung, H.H. 1989. *Transition Metal Oxides: The surface Chemistry and Catalysis*. New York: Elsevier.
- Lakshmanan, C.C., Bennett, M.L., & White, N. 1991. . *Energy Fuels*, 5, p.110.
- Lakshmanan, C.C., & White, N. 1994. . *Energy Fuels*, 8, p.1158.
- Langel, M.A. 1985. . *Surf. Sci.*, 164, p.543.
- Lescop, J.P., Jay, B., & Fanjoux, G. 2004. . *Surf. Sci.*, 548, p.83.
- Lin, C.K., & Berndt, C.C. 1995. Statistical analysis of microhardness variations in thermal spray coatings. *Journal of Materials Science*, 30(1), pp.111-117. doi:10.1007/BF00352139
- McGuinness, M.J., Donskoi, E., & McElwain, D.L.S. 1999. . *Appl. Math. Lett.*, 12, p.27.
- Mentuš, S., Majstorović, D.M., Tomić, B.S., & Dimitrijević, R.Z. 2005. Reduction of NiO-WO₃ oxide mixtures synthesized by gel-combustion technique: A route to Ni-W alloys. *Mater. Sci. Forum* , 494, pp.345-350. doi:10.4028/0-87849-971-7.345
- Miura, K., & Maki, T. 1998. . *Energy Fuels*, 12, p.864.
- Moriyama, J., & Yamaguchi, A. 1964. . *Nippon Kinzoku Gakkaishi*, 28, p.831.
- Plait, A. 1962. . *Ind. Qual. Contro*, 19, p.17.
- Richardson, J.T., Lei, M., Turk, B., Forster, K., & Twigg, M.V. 1994. . *Appl. Catal. A*, 110, p.217.
- Richardson, J.T., Scates, R., & Twigg, M.V. 2003. X-ray diffraction study of nickel oxide reduction by hydrogen. *Applied Catalysis A: General*, 246(1), pp.137-150. doi:10.1016/S0926-860X(02)00669-5
- Rodriguez, J.A., Hanson, J.C., Frenkel, A.I., Kim, J.Y., & Pérez, M. 2002. Experimental and theoretical studies on the reaction of H₂ with NiO: Role of O

- vacancies and mechanism for oxide reduction. *J Am Chem Soc*, 124(2), pp.346-54. pmid:11782187. doi:10.1021/ja0121080
- Sestak, J., & Berggren, G. 1971. Kinetics of the mechanism of solid-state reactions at increasing temperatures. *Thermochim. Acta*, 3, p.1. doi:10.1016/0040-6031(71)85051-7
- Shih, S.M., & Sohn, H.Y. 1980. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 19, p.420.
- Staszczuk, P., Sternik, D., & Kutarov, V.V. 2002. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 69(1), pp.23-36. doi:10.1023/A:1019973303894
- Stern, A.C., Boubel, R.W., Turner, D.B., & Fox, D.L. 1984. *Fundamentals of Air Pollution*, 2nd ed. Orlando, FL: Academic Press.
- Utigard, T.A., Wu, M., Plascencia, G., & Marin, T. 2005. *Chem. Eng. Sci.*, 60, p.2061.
- Vyazovkin, S.V., Goryachko, V., & Lesnikovich, A.I. 1992. *Thermochim. Acta*, 197, p.41.
- Vyazovkin, S., & Linert, W. 1995. *Int. Rev. Phys. Chem.*, 14, p.355.
- Vyazovkin, S., & Linert, W. 1995. *Chem. Phys.*, 193, p.109.
- Vyazovkin, S., & Wight, C.A. 1999. *Thermochim. Acta*, 340-341, p.53.
- Vyazovkin, S., & Wight, C.A. 1997. Kinetics in solids. *Annual review of physical chemistry*, 48, pp.125-49. pmid:15012442. doi:10.1146/annurev.physchem.48.1.125
- Weibull, W. 1951. A statistical distribution function of wide applicability. *ASME Journal of Applied Mechanics*, 18, pp.293-297.
- Wu, Y., He, Y., Wu, T., Chen, T., Weng, W., & Wan, H. 2007. *Mater. Lett.*, 61, p.3174.
- Yagi, S., & Kunii, D. 1955. *U: Proceedings of the 5th International Symposium on Combustion*. New York: Reinhold.

PROCENA FUNKCIJE RASPODELE PRIVIDNE ENERGIJE AKTIVACIJE ZA NEIZOTERMNU REDUKCIJU NANOPRAHOVA OKSIDA NIKLA

OBLAST: materijali, hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: pregledni članak

Sažetak:

Diferencijalne konverzije krive neizoternog redukcionog procesa NiO sa vodonikom nadomeštene su Vejbulovom (neizoternom) funkcijom gustine verovatnoće (W_{pdf}), u širokom opsegu stepena konverzije ($\alpha = 0,06 - 0,96$). Utvrđeno je da Vejbulovi parametri raspodele (β i η) pokazuju različite zavisnosti od brzine zagrevanja sistema (v_h) (parametar oblika (β) – linearni oblik i parametar skale (η) – eksponencijalni oblik). Modelno nezavisne vrednosti prividne energije aktivacije izračunate su korišćenjem Fridmanove izokonverzije metode. Utvr-

đeno je da izračunata prividna energija aktivacije zavisi od stepena konverzije, α , i pri tome pokazuje konstantnu vrednost u opsegu stepena konverzije $0,20 \leq \alpha \leq 0,60$ ($E_a = 90,8 \text{ kJ mol}^{-1}$). Znajući Vejbulovu funkciju raspodele reakcionih vremena, moguće je odrediti funkciju gustine raspodele prividne energije aktivacije na različitim brzinama zagrevanja. Utvrđeno je da su promene u simetriji funkcija gustine raspodele indikacija za odstupanja od jednostavne kinetike kristalizacije, kao što je izraženo putem Johnson-Mehl-Avrami (JMA) modela, što verovatno pripada mnogo složenijem procesu transformacije, kao što je proces opisan dvoparametarskim autokatalitičkim Šesták-Berggrenovim modelom.

Ključne reči: nikel-oksidi, neizotermna redukcija, prividna energija aktivacije, funkcija gustine raspodele, stvarni kompenzacioni efekat.

Datum prijema članka/Paper received on: 04. 10. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 05. 11. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 07. 11. 2013.

KRATKA SAOPŠTENJA SHORT REPORTS

НОВЫЙ ВИД ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ ОГРОМНОЙ ФУГАСНОЙ МОЩНОСТИ

Александр Иванович Голодяев
Соискатель на звание кандидат наук в ВГТУ,
г. Воронеж, Россия

DOI: 10.5937/vojtehg62-4703

ОБЛАСТЬ: Химические технологии.
Физический взрыв гидридов металлов и гидридов
ВИД СТАТЬИ: краткое сообщение

Краткое содержание:

В этой статье реферат о новейшем взрывном устройстве. Тема не секретная. Патенты общедоступны. Известны гидриды разных металлов и сплавов. Они способны накапливать и отдавать водород. При определенных условиях процесс выделения идет лавинообразно, в форме «физического» взрыва. Методы получения условий лавинообразного выделения. Метод получения нужных параметров гидридов. Перспективы взрывных устройств.

Ключевые слова: взрывные устройства, металлов и сплавов, гидриды.

В этой статье рассказано о новейшем изобретении в области взрывных военных устройств.

Мною придумано устройство, обеспечивающее силу взрыва в фугасной составляющей, мощностью от 30 до 300 крат в тротиловом эквиваленте. Не удивляйтесь. Как говорят все новое, - это хорошо забытое старое. Основой этого устройства является использование гидридов металлов или гидридов сплавов металлов и эффекта сферической имплозии в разных вариантах:

- 1.-Простая сферическая имплозия взрыва.
- 2.-Цилиндрическая имплозия взрыва.
- 3.- Частный вариант,- встречное соударение ударных ядер кумулятивного взрыва. Аналог - ... «Реально применяемый дизайн Swan

(англ. swan — лебедь), основан на использовании эллипсоидальной делящейся сборки, которая в процессе двухточечной, то есть инициированной в двух точках имплозии сжимается в продольном направлении и превращается в надкритическую сферу. Проблема одновременной детонации в разных точках сферы, цилиндра, в 2 противоположных точках, мною решена, без «ядерных» взрывателей.

При сферической имплозии взрыва температура в центре возникает значительно выше 4000 градусов Цельсия. Эта температура взята условно, для расчетов, с учетом максимальной температуры кипения элементов в соединении гидрида $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$. Оптимальная температура для выделения водорода из гидрида $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$ около 160 град. Цельсия.

Температура кипения Алюминия = 2519°C.

Температура кипения Бора = 3 927°C.

Водород начинает распадаться на атомы при температуре выше 3000 град. Цельсия.

В гидридах металлов Водород находится в атомарном состоянии. Все дальнейшие расчеты идут из условия, что водород атомарный, т.к. на соединение в молекулу необходим достаточно большой (относительно времени взрыва) промежуток времени, и атомарный водород уже нагрет до температуры выше 3000 градусов Цельсия.

1 моль Al = 26.98 грамма

1 моль B = 10.8 грамма

1 моль H = 1.0 грамм

1 моль вещества в газовом состоянии находится в 22,4 литрах.

1 моль $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$ = 71,38 грамма.

$\text{Al}(\text{BH}_4)_3 \Rightarrow \text{Al} + 3\text{B} + 12\text{H}$.

22,4 л. $22,4 + 67,2 + 268,8 = 358,4$ литра.

В 1 кг $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$ в газовом состоянии содержится 14 моль, что составляет 5017,6 литр при температуре в 20 градусов Цельсия.

С учетом закона Гей-Люссака, объем при температуре в 4000 град. Цельсия составит:

$4000 \text{ град.} \times 0,00366 \times 5017,6 \text{ литр} = 73457,6 \text{ литр.}$

1 кг тротила (ТНТ) дает до 700 литр газа при взрыве.

Прямой пересчет дает увеличение мощности фугасного взрыва в 104,93 раза мощнее ТНТ. Учитывая, что при испытаниях реального прототипа алюминий - магний сплав (без водорода) реальная мощность взрыва не превышала 8 крат от ТНТ, а теоретическая мощность равна 14 раз от 1 кг. ТНТ, то КПД взрыва составляет 57%. Значит, взрыв с гидридом сплава Бор – Алюминий $\text{Al}(\text{BH}_4)_3$ можно рассчитывать как реальную мощность взрыва, не превышающую

59,8 раз от 1 кг ТНТ. Как понятно из выше написанного используется эффект Сферической(цилиндрической) имплозии взрыва. Этот эффект обеспечивает резкое сжатие гидрида. При этом идет быстрый разогрев выше температуры кипения металлов составляющих основу гидрида. Получается (условно говоря) плазма с низкой температурой. Внутри взрыва при сферической (цилиндрической) имплозии обычного тротила находятся атомы металла и атомы водорода. Все атомы разогреты до высоких температур. И находятся в объеме первоначального состояния гидрида. Создается огромное давление. Происходит очень сильный «физический» взрыв. После расширения газов происходит вторичный взрыв из окисления кислородом воздуха атомов металла и водорода. Его эффект незначителен по сравнению первичного «физического» взрыва.

Практическим примером для восприятия моей идеи является другой «физический» взрыв с водой H₂O.

Если воду нагреть в прочной герметичной емкости до температуры выше 400 градусов Цельсия, то вода при любом давлении превратится в пар и разрушит емкость. При этом водяной пар имеет большую теплоемкость, что обеспечивает за счет нагреваемого воздуха в районе взрыва увеличение мощности поражения ударной волной и увеличение фугасного эффекта.

Вторым показательным примером служит бутылка с «ШАМПАНСКИМ». Энергии маленького стального шарика хватает разбить стекло. И это вызывает взрыв бутылки под воздействием сжатого углекислого газа и разлагающейся угольной кислоты,

Энергетическая мощность «физического» взрыва объясняется тем, что при насыщении металла водородом электролитическим способом в это химическое соединение закладывается энергия. Потенциальная энергия. Кроме того,-

«....Так, 1 кг атомарного водорода аккумулирует в себе 51500 ккал тепла. (1 кг. ТНТ - 1007 ккал)»... (Федосьев, Синярев, 1956, стр. 377), (Кутузов).

Потенциальная энергия превосходит накопленную энергию в тротиле(ТНТ) многократно. И для ТНТ температура в 4000 градусов предельная, а при сферической или цилиндрической имплозии или кинетическом столкновении потолок температуры практически не ограничивается. При разрушении взрывом структуры гидрида эта энергия передается атомам водорода и атомам металла, при этом, прибавляется энергия от сжатия образца от воздействия взрывчатого вещества и тепловая энергия самого внешнего взрывчатого вещества.

Особо стоит сказать о структуре гидрида металла. Примером служит ГИДРИД АЛЮМИНИЯ, получаемый электролитическим способом.

....."Образцы алюминия (99,999%) диаметром 0,8 мм и рабочей длиной 55 мм были получены волочением с последующим рекристаллизационным отжигом в вакууме при 250°C в течение 20 мин. В процессе исследования образцы деформировали кручением или ниже макроскопического предела текучести для изучения прямого механического последствия (ползучесть), или предварительно, перед наводороживанием, их деформировали пластически для исследования эффектов обратного механического последствия (ОМП). Насыщение образцов алюминия водородом проводили электролитически в 0,1 N NaOH. Плотность катодного тока $i_c = 1000 \text{ A/m}^2$. Обычно длительность наводороживания не превышала 8 часов.

Образец служил катодом, а анодом — две расположенные симметрично и параллельные оси образца платиновые проволоки диаметром 0,5 мм. Изучение деформационного отклика при нагреве алюминии проводили с помощью специальной съемной головки, в которую встроена термopара. Нагрев производили до 310°C со скоростью 10°C/мин. Для каждого режима использовали не менее трех образцов. Максимальное расхождение в величинах микропластической деформации для идентично обработанных образцов не превышало 12%.

Рентгеноструктурный анализ алюминия после многочасового насыщения водородом не зафиксировал появление новых структурных образований.

В системах металлводород это снижение модуля сдвига, в пределе, ведет к возникновению особого «квазжидкого» состояния с относительно высоким сопротивлением металла нормальным напряжениям и весьма низким сопротивлением деформации сдвига...» - (Спивак, Лунарска, 2005), (Башмаков, и др., 2008).

Предлагаемые мною гидриды защищены пассивирующей пленкой. Способ получения гидридов электролитическим способом снижает стоимость изготовления гидридов многократно. Обеспечивает оригинальные физические свойства металла или сплав. Гидриды с пассивирующей пленкой не боятся воды.

Подобные взрывные устройства могут заменить тактические ядерные боеприпасы. Т.к. При применении боеприпаса весом больше 10 тонн тротилловый эквивалент может достигать от 300 до 3000 тонн. Это может быть авиабомба, боевая часть тактической ракеты, боевая часть крылатой ракеты, фугас, морская мина.

Данный вид взрывного устройства очень эффективен при расстреле астероидов и комет. Он не нарушает экологию. Нет радиоактивного заражения. И в случае встречного столкновения с астероидом возможен простой кинетический взрыв, т.к. энергии столкновения хватит на получение огромной температуры (выше 10000 градусов Цельсия). Это значит, что не нужно вести в космос корпус, взрывчатку для сферической имплозии взрыва, и устройства управления взрывом. Он сам про-

изойдет тогда, когда боевая часть достигнет астероида. И продукты распада гидрида смогут изменить направление полета астероида.

По теме взрывные устройства на основе гидридов получено больше 10 патентов на изобретения. Автор статьи является автором более 140 патентов.

Литература

Федосьев, В.И., & Синярев, Г.Б. 1956. *Введение в ракетную технику – Оборонная промышленность*, стр. 377.

Спивак, З.Л., & Лунарская, Е. 2005. . *Вестник Новгородского Государственного Университета*, 34. УДК 539.389.

Башмаков, В.И., Симанова, С.А., Пахомова, Т.Б., & Александрова, Е.А. 2008. *Химия элементов. Часть, I.. S-элементы, Учебное пособие, Федеральное агентство по образованию Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), Кафедра неорганической химии.*

Кутузов, Б.Н.. *Методы ведения взрывных работ. Часть 1. Разрушение горных пород взрывом.*

A NEW KIND OF HIGH-EXPLOSIVE BOMBS OF HUGE POWER

Alexander Ivanovich Golodyaev,
Competitor for the title of Candidate of Sciences in Vilnius Gediminas
Technical University, Voronez, Russia

FIELD: Chemical Technology, Physical explosion of metal hydrides
and hydride alloys

ARTICLE TYPE: Short Report

Summary:

This article is about the latest explosive devices, not secret ones, since patents are public. Nowadays there are hydrides of various metal and alloys, capable of bonding and releasing hydrogen. Under certain conditions, the release process is of an avalanche type and occurs in a form of a „physical“ explosion. The paper deals with the method of providing conditions for the avalanche-type release. The method of obtaining necessary parameters of hydrides is described as well as the tendencies in the development of explosive devices.

Key words: explosive devices, metals and alloys, hydrides

Дата получения работы/Paper received on: 21. 10. 2013.

Дата получения исправленной версии работы/Manuscript corrections submitted on: 05. 11. 2013.

Дата окончательного согласования работы /Paper accepted for publishing on: 07. 11. 2013.

MODERNIZACIJA POSTROJENJA – REGULACIJA BRZINE MOTORA KOMPRESORA

Muhamed H. Pašić, Dragana R. Ružić
Cimos d.o.o, Srebrenica, Bosna i Hercegovina

DOI: 10.5937/vojtehg62-3416

OBLAST: elektrotehnika
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

U radu je prikazan način izvršenja modernizacije postojećeg stanja industrijskih postrojenja ugradnjom frekventnog regulatora, te su opisane njegove karakteristike i prednosti. Biće navedeni nedostaci postojećeg rješenja, kao i prednosti modernizovanog stanja. Staro stanje je bilo takvo da su se motori uključivali preko sklopnika i uvijek su radili punom snagom. U novom rješenju jedan motor će se uključivati preko frekventnog regulatora. Tako će, zavisno od potrebe, raditi određenom snagom. Time će se izvršiti ušteda u potrošnji električne energije, kao i na samom održavanju.

Ključne reči: pogon, modernizacija, frekventni regulator, konvertor, kompresor.

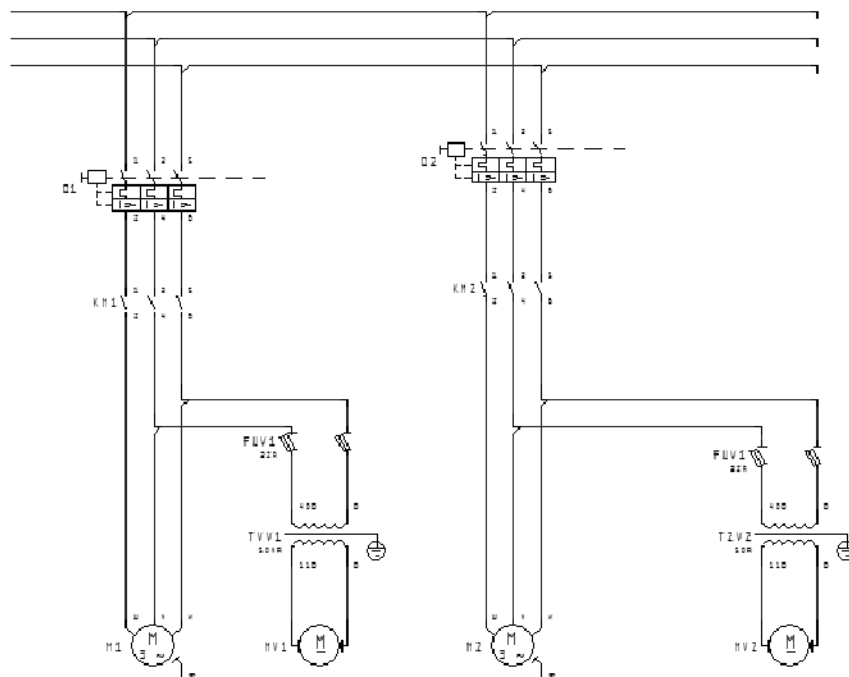
Uvod

Razlog za rekonstrukciju starijih elektromotornih pogona često je njihova nemogućnost da zadovolje veće zahtjeve u proizvodnji, prestanak proizvodnje rezervnih dijelova, nepravilan rad, velika potrošnja električne energije i dr. No, to nije razlog da industrijska postrojenja koja su već ugrađena u fabrikama, starosti desetak, dvadeset i više godina, treba nužno zamijeniti novima i modernijima. Ona se mogu modernizovati uz odgovarajuće statistike isplativosti. Pri modernizaciji starijih

postrojenja potrebno je razmotriti koji način upravljanja je optimalan da bi se dobile potrebne funkcije, uz što manje izmjena. To je posebno važno ako je riječ o postrojenju koje treba modernizovati u što kraćem roku. Konkretni slučaj na kojem će biti analizirana modernizacija postrojenja zamjenom direktnog pokretanja sa pokretanjem i upravljanjem pomoću frekventnog pretvarača je elektromotorni pogon (EMP) za proizvodnju zraka za profesionalnu upotrebu u industriji.

Opis postojećeg sistema i predviđenog zahvata modernizacije

Sistem za proizvodnju zraka sastoji se od dva trofazna asinhrona motora od 7,5 kW koji pogone turbine za proizvodnju zraka, spojenih prema šemi kao na slici 1 (Uputstvo za upotrebu i montažu opreme za proizvodnju zraka). Otvaranjem jedne od priključnica uključuje se motor 1 koji zadovoljava proizvodnju zraka za tri trošila, dok se priključenjem četvrtog uključuje drugi motor i oni u paralelnom radu zadovoljavaju proizvodnju zraka za šest priključenih trošila.



Slika 1 – Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zraka i pripadajućih ventilatora – postojeće stanje

Figure 1 – Scheme of the motor and the motor control of the air compressor and the relevant fans – current situation

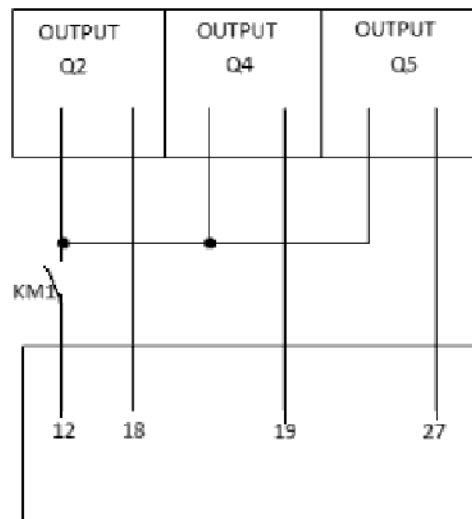
Nalog za uključenje ili isključenje drugog motora proizlazi iz mjerenja pritiska u sistemu. S obzirom na to da su motori pokretani direktno (jednim sklopnikom), moguće je uključenje samo 50% ili 100% kapaciteta proizvodnje zraka. Za finiju regulaciju zraka koriste se rasteretni ventili. Nakon ugradnje frekventnih regulatora mogla bi se promjenom frekvencije regulisati količina proizvedenog zraka i ne bi bilo gubitaka na rasteretnom ventilu. Ugradnja dva frekventna regulatora s kontinuiranim promjenama frekvencije bila bi veća investicija. Sva potrebna oprema bila bi nova, pa bi trebalo uzeti i vrijeme za povrat sredstava kroz uštede (u održavanju, električnoj energiji itd.). Ugradnjom jednog frekventnog pretvarača sa skokovitom promjenom frekvencije (šema na slici 2), što se može ostvariti s manje zahvata u postojeći sistem upravljanja, mogu se postići značajne uštede. Sklopnici motora kompresora uključuju se direktno nakon naredbe iz PLC-a, jedan ili oba, ovisno o mjerenju pritiska u cjevovodu (ovisno o broju mjesta na kojima su priključeni potrošači).

Prema prijedlogu novog rješenja upravljanja motorima kompresora, jedan motor bi i dalje ostao spojen za direktni start, dok bi se drugim upravljalo preko frekventnog pretvarača. Time bi uz pomoć tri izlaza iz PLC-a bilo ostvarivo 8 različitih stupnjeva ukupne snage, s tim da bi se kombinacijom programabilnih digitalnih ulaza frekventnog pretvarača realizovala četiri različita stupnja snage. Uz uključen ili isključen drugi motor ostvarila bi se još četiri stupnja snage (tabela 1).

Tabela 1 – Kombinacije vrijednosti izlaza iz PLC-a za dobivanje tražene snage motora
Table 1 – Combinations of the value of the output from the PLC to obtain the required engine power

Q1	Q2	Q4	Q5	Q3	SNAGA
1	1	0	0	0	m1 = 40 %
1	1	0	1	0	m1 = 60 %
1	1	1	0	0	m1 = 80 %
1	1	1	1	0	m1 = 100 %
1	1	0	0	1	m1 40 % + m2 = 140 %
1	1	0	1	1	m1 60 % + m2 = 160 %
1	1	1	0	1	m1 80 % + m2 = 180 %
1	1	1	1	1	m1 100 % + m2 = 200 %

Prednost predloženog rješenja je u tome što su zahvati u automatici minimalni, a mogu se izvesti uz zastoje od dan-dva. Izmjene u programu programabilnog logičkog upravljača (PLC-a) mogu se pripremiti unaprijed. Nakon izmjena u ožičenju stavio bi se i testirao novi program, čime bi se modernizovano postrojenje pustilo u pogon u vrlo kratkom vremenu (SIEMENS S7-200 i LOGO materijali za učenje), (Siemens LOGO! Manual).



Slika 2 – Shema spoja motora i upravljanja motorima kompresora zraka i ventilatora – novo stanje

Figure 2 – Scheme of the motor and the motor controls of the air compressor and the fans – new condition

Karakteristike frekventnih pretvarača

Svrha frekventnih pretvarača

Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinhroni motor uzima iz mreže struju 5–7 puta veću od nazivne. Velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog uticaja na mrežu prilikom uklopa, potezna struja asinhronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora, a naročito kaveza rotora. To je i razlog zbog kojeg je broj zaleta (ili reverziranja) asinhronog motora direktno spojenog na mrežu ograničen u nekom intervalu, jer u protivnom može doći do oštećenja motora (www.fer.hr, 2010).

Potezna struja može se smanjiti na nekoliko načina: korištenjem preklapke zvijezda-trokut, korištenjem soft-start uređaja ili pretvarača napona i frekvencije (www.hep.hr, 2010).

Osim potrebe za smanjenjem struje kod pokretanja, u elektromotornim pogonima često treba i mijenjati brzinu obrtanja elektromotora. Način promjene brzine obrtanja motora određen je zahtjevima tehnološkog procesa. Za promjenu brzine vrtnje asinhronih elektromotora koriste se posebni uređaji energetske elektronike, tzv. frekvencijski regulatori koji se

spajaju između elektromotora i električne mreže. Frekvencijski regulatori pretvaraju napon konstantnog iznosa i frekvencije električne mreže u napon promjenjivog iznosa i frekvencije. On mijenja brzinu okretanja asinhronog elektromotora na način koji zahtijeva tehnološki proces.

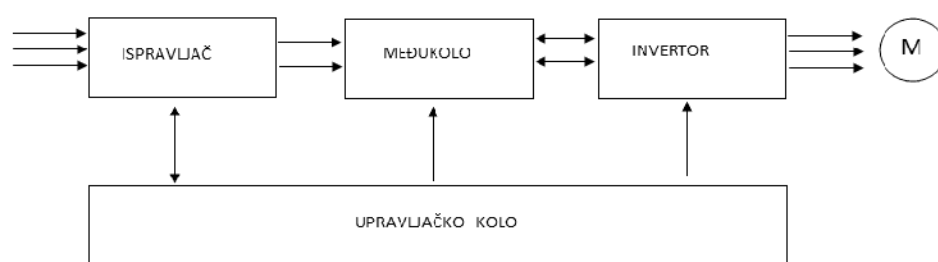
Vrste i sastavni dijelovi frekvencijskih regulatora

Frekvencijski regulator za usklađivanje brzine obrtanja asinhronih motora istodobnom promjenom frekvencije i napona mogu biti:

a) izravni pretvarači (npr. ciklopretvarači, uglavnom za sporohodne EMP velikih snaga),

b) neizravni pretvarači (sa strujnim ili naponskim ulazom u izmjenjivač).

Neizravni frekventni pretvarač sastavljen je od sklopova, kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3 – Sklopovi frekventnog pretvarača
Figure 3 – Frequency converter circuits

Ispravljač (upravljivi ili neupravljivi) spaja izmjeničnu napojnu mrežu s istosmjernim međukrugom. Ulaz ispravljača priključuje se na jednofaznu ili trofaznu napojnu mrežu. Na izlazu ispravljača je pulzirajući valoviti istosmjerni napon. Ispravljači koji se ugrađuju u frekvencijske pretvarače sastavljeni su najčešće od dioda, tiristora ili od kombinacije dioda i tiristora. Neupravljivi ispravljači sastavljeni su isključivo od dioda, upravljivi od tiristora, a tzv. poluupravljivi ispravljači od kombinacije tiristora i dioda.

Istosmjerno međukolo služi za pohranu električne energije. Iz njega motor uzima električnu energiju preko izmjenjivača. Ovisno o rješenju ispravljača, može biti ili strujni ili naponski. Strujni je samo s promjenjivom strujom, a naponski ili s promjenjivim naponom (pretvara približno konstantan izlazni napon ispravljača u promjenjivi ulazni napon izmjenjivača) ili s konstantnim naponom (izlazni napon ispravljača filtrira i stabilizira, te dovodi izmjenjivaču).

Invertor spaja istosmjerni međukrug s izmjeničnim trošilom – motorom. Na izlazu izmjenjivača pojavljuje se jednofazni ili trofazni izmjenični napon. Svaka poluperioda izlaznoga izmjeničnog napona sastoji se od niza pravougljih

impulsa različite širine trajanja i različitih širina pauzi (ima tzv. češljasti valni oblik). Većina izmjenjivača pretvara konstantan ulazni napon u izmjenični napon, čiji je osnovni harmonik promjenjive amplitude i frekvencije. Izmjenjivač određuje frekvenciju izlaznog napona, a amplitude izlaznog napona može se usklađivati izmjenjivačem ili istosmjernim međukrugom. Frekvenciju izlaznog napona treba mijenjati tako da je omjer amplitude i frekvencije konstantan.

Upravljačko kolo šalje i prima signale iz ispravljača, međukola i invertora. Dijelovi regulatora koji se kontrolišu zavise od dizajna samog regulatora.

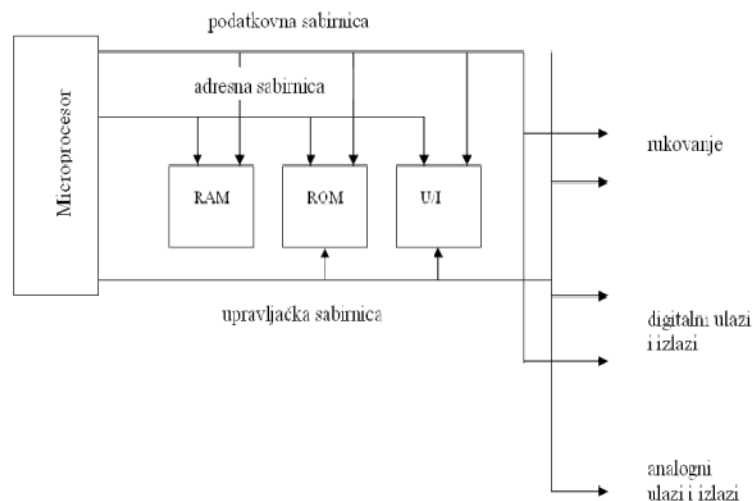
Upravljački elektronički sklop upravlja sklopovima frekventijskog pretvarača, tj. dobija informacije iz ispravljača, istosmjernog međukruga i izmjenjivača, te u skladu sa unaprijed utvrđenom zakonitošću mijenjanja omjera napona i frekvencije šalje upravljačke impulse za uklapanje i isklapanje poluprovodničkih ventila. Upotreba mikroprocesora znatno je proširila područje primjene izmjeničnih elektromotornih pogona. Upravljački sklopovi sa mikroprocesorima su brži, jer se pohranjivanjem sklopnog rasporeda smanjio broj nužnih proračuna. Omogućili su ugradnju procesorske jedinice u frekventni pretvarač i određivanje optimalnog sklopnog rasporeda za svako radno stanje pogona, tj. omogućili su obradu puno veće količine podataka od analognih sklopova.

Računar frekventijskog pretvarača

Osim mikroprocesora, računar se sastoji od tri osnovne jedinice. To su:

- RAM (radna memorija),
- ROM (memorija za čitanje),
- I / O (ulazno-izlazna jedinica).

Svaka od tih triju jedinica ima posebnu zadaću (slika 4) (Benčić, 2009).



Slika 4 – Računar frekventnog pretvarača (Benčić, Z., 2009)

Figure 4 – Frequency converter computer

Mikroprocesor je središnji dio računara koji u skladu sa programom upravlja i drugim sklopovima. U memoriji računara (EPROM-u) pohranjeni su program i podaci. RAM je memorija iz koje mikroprocesor očitava podatke i u koju upisuje podatke uz vrlo kratko vrijeme pristupa. RAM gubi podatke nakon nestanka napajanja. Nakon povratka napajanja informacijski sadržaj je nedefinisan. Ulazno-izlazna jedinica koja se označava kao I/O sadrži ulaze i izlaze koji su potrebni računaru za komunikaciju. To mogu biti priključci na upravljačku ploču, pisače ili koje druge električne uređaje.

Sabirnice su paralelni vodiči koji spajaju jedinice u računaru. Podatkovna sabirnica prenosi podatke između jedinica. Adresna sabirnica adresom označuje odakle treba uzeti podatke i gdje ih spremi. Upravljačka sabirnica nadzire redoslijed prijenosa podataka. Postoji nekoliko vrsta komunikacija kod frekventnih pretvarača, i to:

- standardna upravljačka priključna letvica s digitalnim i analognim ulazima i izlazima,
- upravljačka ploča s pokazivačem i tipkama,
- serijski interfejs za uslužne, dijagnostičke i upravljačke funkcije.

Način zadavanja brzine vrtnje frekventnih pretvarača

Upravljačka ploča s pokazivačem i tipkama ugrađena je u gotovo svaki digitalizovani frekventni pretvarač. Kod upravljačkih stezaljki za n veza s upravljačkom letvicom potrebno je najmanje $n+1$ podatkovnih vodiča. To znači da minimalni broj vodiča ovisi o željenom broju funkcija, a maksimalni o broju stezaljki. Pojedine stezaljke mogu se programirati za različite funkcije ili se mogu čak isključiti. Upravljačka ploča omogućuje nadzor nad frekventnim pretvaračem, npr. za dijagnozu kvarova, kao što je prekid žice ili nestanak upravljačkog signala.

Trenutak uključjenja i željena (potrebna) vrijednost može se zadati na više načina:

- preko upravljačke ploče pokretanje start i stop tipkom; frekvencija (brzina) zadana tipkama,
- preko upravljačkih stezaljki (letvica s prograbilnim ulazima/izlazima) start i stop zadani su zatvaranjem kontakta spojenog na odgovarajuće stezaljke; frekvencija (brzina) zadana analognim signalom; potenciometrom ili analognim signalom iz procesa, PLC-a ili direktno mjerača analogne vrijednosti,
- preko komunikacionog interfejsa.

Odabir i programiranje frekventnog pretvarača

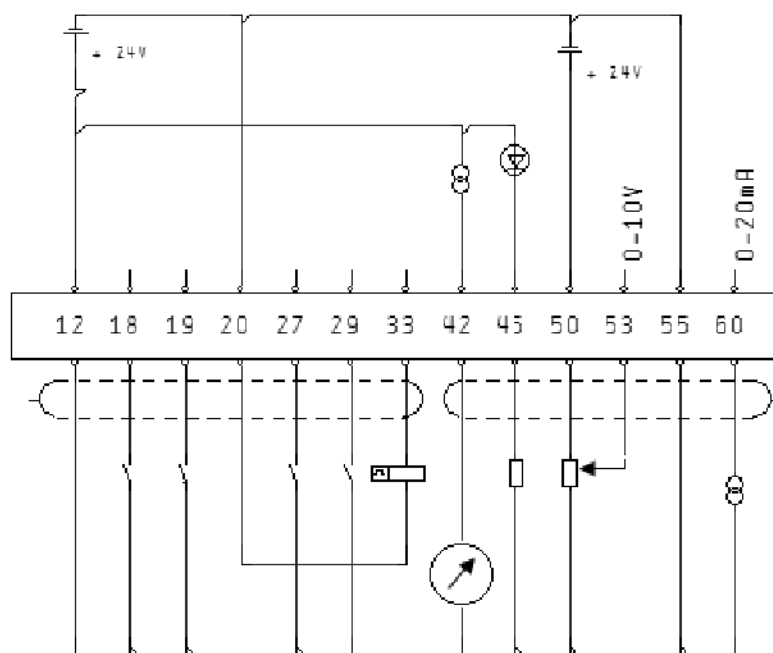
Frekventni pretvarač za elektromotorni pogon za proizvodnju zraka bira se na temelju natpisne pločice asinhronog motora.

Nazivna snaga motora: 7,5 kW, nazivna struja pri 3 x 400 V : 15.1 A, stupanj zaštite: IP 20 / IP 54.

Regulacija: po brzini.

Odabran je frekventni pretvarač proizvođača Danfoss, fabričke oznake VLT 2875 ST.

Korišteni parametri kod programiranja frekventnog pretvarača su digitalni ulazi 18 i 27, kao što je prikazano na slici 5 (Upute za rukovanje frekventnim pretvaračima, 2003), a digitalni izlazi, odnosno kontakti releja 01-02 (normalno otvoreni kontakti) iskorišteni su za prikaz alarma u slučaju greške na frekventnom pretvaraču.



Slika 5 – Priključnice za spajanje digitalnih i analognih ulaza
Figure 5 – Jacks for connecting digital and analog inputs

Postepeno puštanje motora 1 u rad programirano je korištenjem kombinacije digitalnih ulaza 18 i 27, tako da je digitalni ulaz 18 parametar 302 namješten na vrijednost 23, fiksna referenca "msb", dok je digitalni ulaz 27, parametar 304 namješten na vrijednost 22, fiksna referenca "lsb"

(prema literaturi 7), koje omogućuju odabir jedne od unaprijed prikladnih referenci. Kombinacija njihovih stanja 0 i 1 omogućuju rad motora na 40%, 60%, 80% i 100% radne snage. Takođe je potrebno podesiti parametra 215 na 40%, 216 na 60%, 217 na 80% i 218 na 100%, jer su oni čvrste reference 1, 2, 3 i 4 (m, 2010).

Prednosti upravljanja postrojenjem preko frekventnog pretvarača

Nadzor

Frekventni pretvarači mogu nadzirati proces kojim upravljaju i mogu intervenirati u slučaju poremećaja. Nadzor se može podijeliti na tri kategorije:

- nadzor nad elektromotornim pogonom,
- nadzor nad motorom,
- nadzor nad frekventnim pretvaračem.

Nadzor nad elektromotornim pogonom zasniva se na izlaznoj frekvenciji, izlaznoj struji i momentu tereta. Polazeći od tih veličina, može se postaviti niz ograničenja na upravljanje. Ta su ograničenja npr. najmanja dopuštena brzina vrtnje motora (ograničenje najmanje izlazne frekvencije), najveća dopuštena struja motora (ograničenje izlazne struje) ili najveći dopušteni moment motora (ograničenje momenta). Ako se prekorače ta ograničenja, pretvarač se može programirati tako da daje upozoravajući signal da smanji brzinu obrtanja motora ili da zaustavi motor što je prije moguće. Nadzor nad motorom zasniva se ili na proračunu zagrijavanja motora mijenjanjem strujnog opterećenja ili na mjerenju temperature motora putem ugrađenog termistora. Analogno termičkoj sklopki, frekventni pretvarač sprečava preopterećenje motora strujnim ograničenjem. Time je postignuto da motor s vlastitom ventilacijom (ventilator je na osovini motora) nije preopterećen pri malim brzinama obrtanja na kojima je hlađenje smanjeno. Ako mjeri temperaturu motora (ugrađen senzor u motor), frekventni pretvarač strujnim ograničenjem štiti od preopterećenja i motore sa stranom ventilacijom (ventilator vrti poseban motor). Nadzor nad frekventnim pretvaračem zasniva se na isključenju pretvarača u slučaju prevelike struje, ispada jedne faze, kratkog spoja, oštećenja nekog elementa unutar pretvarača, previsokog ili preniskog napona istosmjernog međukruga i dr. Neki frekventni pretvarači dopuštaju kratkotrajno strujno preopterećenje. Maksimalna moguća opteretivost pretvarača može se postići uporabom mikroprocesora koji računa ukupni učinak povećane struje motora s obzirom na trajanje i iznos tog povećanja.

Poboljšanja

Frekventni pretvarači omogućuju uštedu električne energije tako da u svakom trenutku brzinu obrtanja motora prilagode zahtjevima elektromotornog pogona. To znači da u EMP-u za proizvodnju zraka više neće proizvoditi „višak“ zraka koji bi se ispuštao izvan sistema. Pomoću frekventnog pretvarača proizvodit će se tačno onoliko zraka u sistemu koliko će za normalan rad zahtijevati priključeni broj potrošača na sistem.

Frekventni pretvarači omogućuju tzv. meko pokretanje i zaustavljanje motora, čime se izbjegavaju nepotrebni udari i utjecaji na mehaničke dijelove postrojenja. Prilikom uključanja jednog trošila na sistem uključuje se motor 1 s 40% snage, zatim prema zahtjevu za većom količinom zraka na 60% i tako do 200% snage s oba uključena motora. Kod postepenog isključenja potrošača postepeno pada i snaga motora na 180% i tako dalje do 40% nazivne snage motora 1 i samog isključenja EMP-a. U sadašnjoj izvedbi motor 1 i motor 2 uključuju se i isključuju direktno s punom snagom od 7,5 kW. Frekventni pretvarači traže minimalno održavanje i produžavaju životni vijek postrojenja. Prilikom direktnog uklopa na napojnu mrežu asinhroni motor uzima iz mreže struju 5–7 puta veću od nazivne. Ta velika potezna struja uzrokuje propad napona na mreži koji može onemogućiti pravilan zalet i može ometati ostale potrošače na istoj mreži. Osim negativnog utjecaja na mrežu prilikom uklopa, jaka potezna struja asinhronog motora izaziva veliko termičko opterećenje namota motora i to naročito kaveza rotora. To uveliko skraćuje vijek trajanja asinhronog motora, a time izaziva i velike troškove održavanja postrojenja.

Zaključak

Kroz opisani elektromotorni pogon za proizvodnju zraka za profesionalnu upotrebu u industriji, gdje se kod postojećeg sistema asinhroni motor direktno uklapa na mrežu, spomenuti su nedostaci ovakvog pokretanja motora.

Opisan je rad frekventnih pretvarača i prednosti njihove ugradnje, te novog načina upravljanja EMP-om.

Proučavanjem rada spomenutog EMP-a koji naizgled radi ispravno, utvrđeno je da prosječno troši oko 50% više električne energije nego što je potrebno. Stoga se analiziralo kako se rekonstrukcijom već ugrađenih, ali pomalo zastarjelih postrojenja, mogu smanjiti gubici koje ona stvaraju. Njihovom modernizacijom produžit će se vijek trajanja uz minimalna ulaganja, a rok povrata uložених sredstava bit će kratak.

Literatura

- Benčić, Z., 2009, Najvažnije o frekventnim pretvaračima, Zagreb.
- SIEMENS S7-200 i LOGO materijali za učenje, 2007, Veleučilište u Varaždinu: Varaždin, [Internet], Dostupno na: www.limovod.hr, preuzeto: 25. 12. 2012.
- Siemens LOGO! Manual, 2011, Siemens AG, Germany.
- Upute za rukovanje frekventnim pretvaračem serije VLT 2800, Danfoss, 2003.
- Uputstvo za upotrebu i montažu opreme za proizvodnju zraka za profesionalnu upotrebu u industriji.
- www.danfoss.com, 2010.
- www.fer.hr, 2010.
- www.hep.hr, 2010.

MODERNIZATION OF THE PLANT – CONTROL OF THE COMPRESSOR MOTOR SPEED

FIELD: Electrical Engineering
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

This paper describes the modernization by installing frequency converters, their features and benefits as well as the disadvantages of the existing solutions and the advantages of the upgraded status. The existing state was such that the motors were switched on through the contactor and were always working at full capacity. In the new solution, one motor will be switched on through frequency converters, thus working with a particular intensity, depending on the need. This will bring savings in power consumption as well as in the maintenance.

Introduction

Modernization of the equipment using frequency converters will be discussed on the electric motor drive (EMP) for the air production for professional use in the industry.

Description of the existing systems and the procedures provided for modernization

The air production system consists of two three-phase asynchronous motors of 7.5 kW driving the air production turbine. Given the fact that the motors are driven directly (one contactor), this represents the involvement of either only 50% or 100% of the air production capacity. For a finer air control, relief valves are used. Installing a frequency converter could result in regulating the amount of air produced and there would be no loss to the relief valve.

Under the proposed solution for controlling compressor motors, one motor would remain attached to the direct start while the other would be controlled via the frequency converter.

Characteristics of frequency converters

To change the speed of asynchronous motors, we use the special electronic power devices, so-called frequency regulators that are connected between the electric motor and the electric grid. Frequency regulators convert voltage of constant amount and frequency of the electric grid into a variable amount of voltage and frequency. They change the rotational speed of asynchronous motors depending on a required technological process.

Frequency controllers for harmonizing the rotary speed induction motors simultaneously changing the frequency and voltage can be:

- a) direct converters*
- b) indirect converters*

Indirect frequency converters consist of the following components:

- rectifiers,*
- direct current links,*
- inverters,*
- steering wheels.*

Method of setting the speed of frequency converters

An instant connection and a preferred (required) value can be defined in several ways:

- the control panel start, start and stop button; the frequency (speed) using the default*
- via: the control terminals (lattices with programmable inputs / outputs), start and stop are defined by closing the contact connected to the correct terminals; frequency (speed) of the default analog signal; potentiometer or an analog signal from the process, PLC or the direct gauge of the analog value*
- via the communication interface.*

Selecting and programming frequency converters

Frequency converters for air production for electric plants are selected on the basis of the asynchronous motor nameplate, so we chose Danfoss frequency converter manufacturers, trademark VLT 2875 ST. When programming the frequency converter, we used digital inputs 18 and 27 and the digital outputs are used to display the alarm in case of failure of this drive.

Benefits of plant control via frequency converters

Monitoring

Frequency converters can monitor and manage the process that can intervene in case of disturbances. Monitoring can be divided into three categories:

- supervision of Electric Drives
- motor monitoring
- supervision of the frequency converter

Improvements

Frequency regulators save electric power so that at all times the speed of motor rotation conforms to the electrical drive. Frequency converters help producing exactly as much air in the system as required for a normal operation depending on a number of consumers connected to the system.

Conclusion

By examining the operation of the EMP which seemingly worked correctly, it was found that it was using about 50% more electricity than needed. It has been established that the installation of frequency controllers reduce losses, extend the service life with minimal investment and the return on investment is short.

Key words: plant, modernization, frequency converter, converters, compressor

Datum prijema članka/Paper received on: 22. 02. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 25. 03. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 27. 03. 2013.

PRIKAZI REVIEWS

7th EUROPEAN METALLURGICAL CONFERENCE EMC2013

Srećko R. Stopić
IME Process Metallurgy and Metal Recycling,
RWTH Aachen University, Germany

DOI: 10.5937/vojtehg62-4809

FIELD: Materials
ARTICLE TYPE: Review

Abstract:

From June 23 – 26, 2013, the GDMB Society for Mining, Metallurgy, Resource and Environmental Technology organized 7th European Metallurgical Conference (EMC 2013) in Weimar, Germany. The previous European metallurgical conferences were organized by the GDMB in Friedrichshafen (2001), Hanover (2003), Leipzig (2005), Duesseldorf (2007), Innsbruck (2009), and Duesseldorf (2011). The GDMB is a non-profit organization from Clausthal, Germany, focused on combining science with 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 well-known conferences worldwide in the field of non-ferrous metallurgy and is attended regularly by decision makers from industry and universities. The scientific program contained 6 plenary lectures and more than 130 presentations. 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 € 500 worth "Poster Award EMC 2011 was awarded to Christoph Pichler from the Montan-University in Leoben, Austria. Not only the most important European countries were represented here, but also more than one third of the lecturers were from countries outside Europe (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. The scientific presentations of the conference are presented in Proceedings:

Vol. 1: Copper, Precious Metals, Waste effluents Treatment/ Bio-hydrometallurgical applications; Process Metallurgy, Bridging Non-Ferrous and Ferrous Metallurgy;

Vol. 2: Lead and Zinc, Light metals, Sustainable technologies, Sustainable of non-ferrous metals production, Process Control/Process Modelling, Waste heat recovery by ORC Power Generation

Vol. 3: General Hydrometallurgy, General Pyrometallurgy, Vessel Integrity, Process Gas Treatment; Recycling

The plenary lectures will be published in the scientific journal "World of Metallurgy – ERZMETALL", published by GDMB. The next 8th European Metallurgical Conference will be held between June 14 and June 17, 2015 in Duesseldorf.

Ključne reči: nonferrous metallurgy; recycling; hydrometallurgy; metal; environmental protection.

Introduction

In his welcoming speech for 7th EMC 2013 in Weimar, Professor Dr.-Eng. Hans Jacobi, President of the GDMB, pointed out that the EMC2013 has spread out beyond European borders (Eicke, 2013, pp.32-35). The colleagues from RWTH Aachen University, Germany; Rubamin Ltd, India; University of British Columbia, Canada; Tohoku University, Japan; Facultad de Ingenieria UNAM, Mexico; 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 Austrian Society for Metallurgy and Materials, Austria- ASMET; EUnited Metallurgy- the European Metallurgical Equipment Association, Belgium; The Norwegian Society for Materials Technology, Norway; Instituto de Ingenieros de Minas de Chile; Metallurgical Society of CIM, Canada; The Mining and Materials Processing Institute of Japan; REWIMET-Recycling-Cluster wirtschaftlicher Metalle Niedersachsen e.V., Germany; SITMN Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Metali Nieżelaznych, Poland; SF2M Societe Francaise de Metallurgie et de Materiaux, France; Verband der Aluminium Recycling- Industrie e.V. Verband Deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V und Verband Deutscher Metallhändler; The South African Institute of Mining and Metallurgy (SAIMM), South Africa. Between the 20 chosen chairmen, one colleague was from Serbia: Dr. Nikola Anastasijevic, Outotec GmbH. The EMC 2013 represents a signal to the world that metallurgical industry is innovative and active and faces with technical, ecological and economic challenges. The presentations were a good basis to find new processes and new solutions in metallurgy.

Plenary lectures

Plenary lectures of general interest for all conference participants were reported on Monday, June 24, 2013 and Wednesday, June 26, 2013. The list of plenary lectures:

1. **Bell, Oliver:** Non-Ferrous Metals- Today and Tomorrow; Political and Economical Prospects; Norsk Hydro ASA, WirtschaftsVereinigung Metalle e.V., Germany
2. **Dreisinger, David:** New development in the hydrometallurgical processing of sulfidic copper ores and concentrates, University of British Columbia, Department of Materials Engineering, Canada
3. **Ignat, Miguel:** The Quality control and traceability: A Permanent challenge for technological applications. An example from copper industry in Chile; University of Chile
4. **Jones, Rodney:** Electric Smelting in Southern Africa, Mintek, South Africa
5. **Owada, Shuji,** Japan's technological approach To recover minor rare Metals from E-wastes, Waseda University, Faculty of Science and Engineering, Japan
6. **Willbrandt, Peter,** Raw Material Supply and resource Efficiency in the European Copper industry, Aurubis AG, Germany

The chosen lectures

Implementation of a Novel Technology for the Recovery of Cobalt from Copper Smelter

Slags Hira Singh, Chambishi Metals Plc, Zambia, South Africa

Bernd Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany

This study shows improvements and modifications carried out on the feed system to create charge bank, selection of flux to modify slag chemistry, modification of alloy chemistry, re-configuration of the power control system and increased atomization capacity in Chambishi Metals Plc. in South Africa, which started in 2001 with a selective carbothermic reduction for processing the furnace slag stockpile of 20 million tons containing 0.34 to 4.5 % cobalt, and an average of 1.1 % copper. Cobalt occurs as faylite whereas copper occurs as oxide and sulphide. An atomizer unit to atomize a furnace product, molten Co/Cu/Fe alloy, and a pressure oxidation leach process to leach cobalt and copper and separate iron as goethite was also commissioned. The cobalt and copper containing solution is processed in the refinery for the production of metals. The commissioning and ramp up period was much longer than projected due to a premature failure of the hearth and other operational problems

associated with the feed system, cooling system and power control. The furnace availability was low and affected the throughput and metal production. This put tremendous pressure on the company due to poor cash flow and non-repayment of the capital resulting in a sale of 100 % of its share in July 2003. A subsequent systematic analysis to debottleneck the furnace operation was successful, resulting in the attainment of design throughputs. The Plant Historian Database (PHD) was used for the analysis. The commercial application of the DC arc furnace for smelting copper smelter slag was unique and therefore required extensive literature search to broaden the knowledge of the theory and the practice. The paper shows the improvements and modifications of the feed system in order to create charge bank, selection of flux to modify slag chemistry, modification of alloy chemistry, re-configuration of the power control system and increased atomization capacity. These implementations resulted in the furnace performance reaching the designed levels.

Synthesis of Copper Chromium Alloys by Aluminothermal Reduction

S. Hassan Pour, B. Friedrich

RWTH Aachen, IME Process Metallurgy and Metal Recycling

In order to define the process window parameters like intrinsic chemical energy (enthalpy of the reaction mixture), equilibrium temperature and physical properties (particle size and mixing degree) were optimized in the synthesis of copper-chromium alloys by a cost-reduced aluminothermal reduction process under the investigation of IME, RWTH Aachen University. Due to a combination of high thermal and electrical conductivity, high strength and long term stability, Copper-Chromium materials are widely used in high voltage applications as electrical high-power contacts and vacuum interrupters. The binary system of Copper and Chromium shows nearly complete immiscibility in the solid state. In order to obtain Copper-Chromium materials with a mass fraction of Chromium between 10 % and 55 wt.-%, extensive and cost-intensive production processes are required to obtain a uniform distribution of Chromium particles in the Copper matrix. Cu-Cr contact materials are currently produced by powder metallurgical or VAR technologies. Regarding this new method, this paper presents the first approach to produce Copper-Chromium material with Chromium mass contents higher than 25 % by a joint aluminothermal reduction of Chrom- and Copper-oxides in a laboratory scale. The aluminothermal reduction shows high-potential for an alternative production method for Copper-Chromium materials due to its high heating rates, high temperatures and short reactions times combined with its self-propagating behavior.

Recovery of yttrium from waste crucible materials

S. Stopić, B. Friedrich, RWTH Aachen, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen

M. Lerch, R. Gerke-Cantow, Tital GmbH, Bestwig

Yttrium compounds find interesting applications in many industrial fields (superconductors, catalysis, crucible, oxygen sensor). The feasibility of using yttrium oxide as a crucible material or coating respectively for induction melting of titanium is widely used in metallurgy. During the production of crucibles based on yttrium oxide as well as through the melting/casting operations, significant waste materials were formed. In this study, the recovery of yttrium from various waste crucible materials by chlorination, leaching and a subsequent precipitation was investigated. The solubility of available yttrium oxide in waste materials is a function of concentration, type of the used chlorinating/ leaching reagent as well as other process parameters. Chlorination and the carbochlorination process were investigated in order to obtain yttrium chloride from waste crucible materials using ammonium chloride (NH_4Cl), and calcium chloride (CaCl_2) as chlorinating agents and added sucrose. The tests were conducted in a muffle furnace at 400 °C and 600 °C and at different times - 15, 30 and 60 min. Selective dissolution of yttrium was investigated in solutions with $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, HCl, H_2SO_4 and HNO_3 under atmospheric and high pressure conditions aiming at the process efficiency and the feasibility for industrial application.



Figure 1 – Presentation of Dr. Stopić at EMC 2013 in Weimar
Slika 1 – Prezentacija dr Stopića na EMC 2013 u Weimaru

Efficiency of Slag Cleaning in a Magnetically Induced Stirring Reactor

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

Slags generated in pyrometallurgical copper processes are mineral by-products governed by the regulations applicable in building and construction industries. To extend the range of applications and safeguard its EU product classification, sustainable purification and homogenisation of slag is required. The experiments in two reactors were carried out as a part of a collaborative project funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF). The fundamentals and theoretical background to this were published at EMC 2011 in Duesseldorf in Germany. A pilot-scale stirring reactor, integrated in the industrial process, was operated in a number of weekly campaigns and treated two tons per hour of slag at AURUBIS (former Norddeutsch Affinerie), Hamburg in a semi-continuous operation. The reproducible results prove the effect of the magnetic and electric field on the settling behavior of metal/matte droplets in fayalitic slags. A second, smaller demo-scale stirring reactor was designed and installed at IME, RWTH Aachen University. It facilitates shorter campaigns with synthetic slags of steady qualities and short response times. The aim is to examine the physical and metallurgical principles behind this process in more detail. This test unit allows throughputs of about 0.5 ton of molten slag per hour in a 1 MW electric smelter or a 0.5 MW TBRC. Plans to transfer this technology to other slag systems, for example from Pb, PGM or Ni production, are envisaged for future research programs.

First Results of Scale Up of Ultrasonic Spray Pyrolysis Process for Nanopowder production

J. Bogovic, S.Stopic, B. Friedrich, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University;

G.Matula, Elino Industrie Ofenbau GmbH, Duren, Germany

R.Rudolf- Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, University

This paper presents a report of the first results on the scale up of Ultrasonic Spray Pyrolysis (USP) process performed at the RWTH Aachen University. In previous publications it was confirmed that the Ultrasonic Spray Pyrolysis is a relatively inexpensive and quite versatile technique for

the preparation of nanosized metallic, oxidic and composite particles production based on an aerosol process (Bogovic, et al, 2011, pp.1053-1064), (Matula, et al, 2013, pp.46-50), (Rudolf, et al, 2012, pp.595-612), (Stopić, et al, 2006, pp.377-382), (Stopić, 2013, pp.99-112). The formation of precisely controlled morphology and defined chemical compositions from water solution was investigated using different metal salts and their mixtures. In the first trial on the big scale USP equipment, nanosized silver powder was produced at this equipment (Stopić, 2013, pp.99-112).

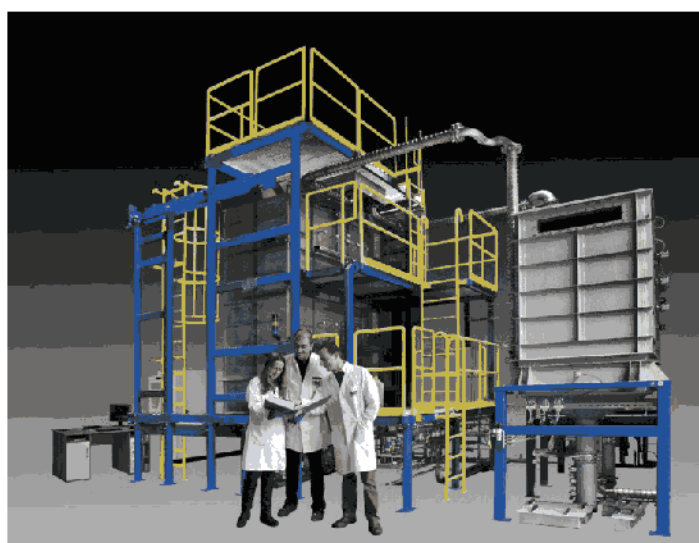


*Fig. 2 – Scale up of the USP-process (J.Bogovic, S.Stopic, A.Schwinger)
(Matula, et al, 2013, pp.46-50)*

*Slika 2 – Uvecana proizvodnja za USP-proces (J.Bogovic, S.Stopic, A.Schwinger)
(Matula, et al, 2013, pp.46-50)*

Conclusion

The scientific presentations of 7th European Metallurgical Conference in Weimar between 23 and 26 June 2013 were presented by 130 lecturers. More than 20 companies were present at the Exhibition in Weimarhalle in Weimar. There were more than 350 interested visitors from all continents. Christoph Pichler, BSc Eng, from Montanuniversität, Austria, was awarded with 500 € for the best poster: "Slag and Residues Treatment: Process Development and Refractory Evaluation. The 7th European Metallurgical Conference with more than 350 visitors from all continents has again confirmed that metallurgical industry is highly innovative and faces with ecological and economic challenges with big success.

References

- Bogovic, J., Stopić, S., & Friedrich, B. 2011. Nanosized metallic oxide produced by ultrasonic spray pyrolysis method. In: Proceeding of EMC 2011, Duesseldorf, June 26-June 29, 2011, Volume 3: Resources efficiency in the non-ferrous metals industry-optimization and improvement. , pp. 1053-1064
- Eicke, S. 2013. EMC- A Fixed Date in the Industry Calendar. *Erzmetall World of Metallurgy*, 66(5), pp. 32-35.
- Matula, G., Bogovic, J., Stopić, S., & Friedrich, B. 2013. *Scale up of ultrasonic spray pyrolysis process for nanopowder production- Part I, Heat Processing.*, pp. 46-50.
- Rudolf, R., Friedrich, B., Stopić, S., Anzel, I., Tomic, S.Z., & Colic, M.J. 2012. Cytotoxicity of Gold Nanoparticles Prepared by Ultrasonic Spray Pyrolysis. *Journal of Biomaterials Applications*, 26(5), pp. 595-612. doi:10.1177/0885328210377536
- Stopić, S., Friedrich, B., & Dvorak, P. 2006. Synthesis of nanosized spherical silver powder by ultrasonic spray pyrolysis. *Metall*, 60(6), pp. 377-382.
- Stopić, S. 2013. Synthesis of nanosized metallic particles from an aerosol. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(3), pp. 99-112. doi:10.5937/vojtehg61-3601

SEDMA EVROPSKA KONFERENCIJA O METALURGIJI – EMC2013

OBLAST: materijali

VRSTA ČLANKA: prikaz

Sažetak:

Udruženje za rudarstvo, metalurgiju, sirovine i tehnologije za zaštitu životne sredine (GDMB) organizovalo je od 23. do 26. juna 2013. u Weimar-u u Nemačkoj Sedmu evropsku konferenciju o metalurgiji – EMC 2013. Prethodne evropske konferencije o metalurgiji održane su u Fridrihshafen-u (2001), Hanoveru (2003), Lajpcigu (2005), Diseldorfu (2007), Insbruku (2009) i Diseldorfu (2011). GDMB je neprofitna organizacija sa sedištem u Klaustalu 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 posećena od eminentnih stručnjaka sa univerziteta i iz industrije. Naučni program sadržao je šest plenarnih predavanja i više od 130 prezentacija iz trideset zemalja u pet paralelnih sekcija. Održana je 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 predstavio je

Christoph Pichler koji je nagrađen 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). Poreklo učesnika potvrđuje cilj organizatora da stvori jednu konferenciju sa širokom platformom za razmenu naučnih ideja i informacija i razvijanje poslovnih kontakata. Naučne prezentacije predstavljene su u tri sesije.

Prva sesija: Bakar, Plemeniti metali, Preradna otpadnih materijala, Primene biohidrometalurških procesa, Procesna metalurgija, Povezivanje obojene metalurgije i metalurgije gvožđa i čelika. Druga sesija: Olovo i cink, Laki metali, Održive tehnologije i održivost proizvodnje obojenih metala, Procesna kontrola, Procesno modelovanje, Ponovno korišćenje otpadne toplote iz elektrana.. Treća sesija: Opšta hidrometalurgija, Opšta pirometalurgija, Reaktori, Tretman procesnih gasova, Recikliranje.

Plenarna predavanja biće objavljena u naučnom časopisu: ERZMETALL Svet metalurgije – Rude i metali, koji izdaje udruženje za metalurgiju i rudarstvo GDMB. Osmu Evropsku konferenciju metalurgije planirana je od 14. do 17. juna 2015. u Diseldorfu.

Ključne reči: obojena metalurgija, recikliranje metala, hidrometalurgija, metali, zaštita životne sredine.

Datum prijema članka/Paper received on: 03. 11. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 18. 11. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 20. 11. 2013.

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Star, ali modernizovan¹



Uz naprednu avioniku i sisteme kontrole misije, delta lovac iz sedamdesetih godina, pod nazivom *Kfir*, mogao bi biti svrstan u istu kategoriju kao i moderni lovci „četvrte generacije“, navodi izraelska kompanija *Israel Aerospace Industries (IAI)*.

Kompanija ima mogućnost isporuke do 50 lovaca *Kfir* koji lete brzinama većim od dva maha sa opremom na nivou standarda *Block 60*, upotrebljavajući kao osnovu letelicu koja je povučena iz izraelskog ratnog vazduhoplovstva još devedesetih godina. Ovi avioni trenutno su konzervirani i nalaze se u južnom delu pustinje Negev i u veoma su dobrom stanju.

Izrael je ponudio ove modernizovane lovce Bugarskoj povodom plana Sofije da zameni svoju flotu lovaca Mig-21 i Mig-29 letelicama kompatibilnim sa zapadnim standardima. Bugarska je zainteresovana za kupovinu deset lovaca optimizovanih za upotrebu u NATO misijama. Jedno od mogućih rešenja je nabavka devet polovnih lovaca F-16 *Block 15* od Portugala sa ukupnom cenom od 464 miliona dolara; druga opcija je nabavka viška lovaca *Eurofighter Typhoon* od Italijanskog ratnog vazduhoplovstva, što bi koštalo znatno više. Opcija koja bi podrazumevala nabavku lovaca *Kfir Block 60* koštala bi možda jednu trećinu cene paketa sa lovcima F-16. Bugarska, takođe, razmatra nabavku švedskih lovaca *Gripen* od kompanije SAAB.

Prednosti lovca *Kfir* su u tome što je on napravljen za robusnu upotrebu, dobro projektovan i remont se vrši tek nakon nekoliko stotina sati leta. Struktura

¹ Aviation Week & Space technology October 14/21 2013.

letelica je netaknuta, ne postoje naprsline niti znaci zamora materijala. Izraelska kompanija je u stanju da vrlo brzo aktivira traku za modernizovanje letelica.

U okviru postupka povratka letnog statusa, sa lovaca *Kfir* skida se postojeća oprema, ponovno se sastavljaju, ali uz ugradnju novih modernih sistema. Kompanija IAI, kao proizvođač garantuje ovako modernizovanim lovcima 8.000 sati naleta, što je pod normalnim okolnostima i do 40 godina.

Jedan od ključnih faktora efikasnosti modernizovanog *Kfira* je mogućnost vazdušnog punjenja gorivom kao i podrška za vazdušni datalink u skladu sa NATO standardima, odnosno podrška za protokol *Link-16*.

Umrežavanje je važan element modernizacije vazduhoplovnih snaga. Prethodno je kompanija IAI modernizovala avioniku letelice, ali sada ista kompanija nudi modernizaciju kompletne flote aviona, omogućavajući delovima formacije, ili čak većim grupama letelica, deljenje informacija, ciljeva, pomoć i podršku povodom identifikacije i angažovanja protivničkih snaga.

Najnovija konfiguracija pod nazivom *Kfir Block 60* pretvara *Kfir* u letelicu četvrte generacije. Jedna od glavnih komponenti modernizacije je radar *Elta/EL/M-2052*, AESA radar sa elektronskim skeniranjem koji zamenjuje stari *EL/M-2032* radar sa mehaničkom antenom. Ovakav radar može istovremeno pratiti i do 64 mete, napadajući odabrane radarski navođenim raketama *Derby* van vizuelnog dometa (*BVR Beyond visual range*). Pored toga, radar podržava i rad u režimu vazduh-zemlja koji je koristan za napade na morske ciljeve na velikim daljinama. Upotreba podvesnog kontejnera *Litening* za osmatranje i zahvat ciljeva, kao i upotreba preciznog vođenog naoružanja, kao što su laserski navođene bombe ili elektrooptički navođene rakete, dodatno povećavaju operativne mogućnosti lovca *Kfir*.

Još jedna od novina instaliranih na lovcima *Kfir C10*, *C12* i *Block 60* je staklena kupola, bez okvira na prednjem delu, što omogućava pilotu bolju vidljivost u prednjem delu aviona. Takođe, podržane su i rakete vazduh-vazduh *Python V* koje se navode pomoću nišana na pilotskoj kacigi.

Lovci *Kfir Block 60* testirani su protiv lovaca Suhoj Su-30 i u duelima je *Kfir*, sa najnovijom verzijom radara *EL/M-2032*, izašao kao pobednik u frontalnim napadima s obzirom na to da poseduje nisku radarsku siluetu i zahvaljujući raketama za napad na protivnika van vizuelnog dometa. Ova prednost je naročito važna u situacijama gde lovci *Kfir* mogu napasti ciljeve na velikim daljinama, zadržavajući postojeću tesnu formaciju i deleći mete otkrivene jednim aktivnim radarom putem formacijskog datalinka. Ovakve tehnike razvijene su za lovce F-22 i F-35 koji pripadaju petoj generaciji lovaca.

Navodi kompanije IAI nisu samo teoretski. Naime, kolumbijski lovci *Kfir* izvršili su sve svoje misije vazduh-zemlja i napali „neprijateljske“ letelice u kojim su zabeležili osam obaranja za vreme vežbi *Red Flag* tokom jula 2012. godine.

Prodaja lovca *Kfir C10* i *C12* Kolumbiji motivisala je kompaniju IAI za ponudu lovaca *Kfir* i drugim ratnim vazduhoplovstvima. Glavnu prednost predstavlja niska nabavna cena i dug ciklus upotrebe aviona. *Kfir* je, takođe, vrlo pouzdan i nema visoke operativne troškove. Nabavka jednog *Kfira Block 60* košta oko 20 miliona dolara, uključujući elektronsku opremu i naoružanje, a operativni troškovi kreću se oko 25% od ekvivalenta lovca četvrte generacije.

Dragan Vučković

Iz prodavnice na liniju fronta²

Realnost tehničkog napretka, uticaj globalne ekonomske krize, ali i drugi pritisci na vojne budžete usporili su ali ne i zaustavili razvoj sistema „budućeg vojnika“ širom sveta. Potreba obezbeđivanja vojnika sredstvima koja mu omogućuju povezanost i dobar uvid u situaciju urgentnija je nego ikada ranije. Razmatraju se rešenja koja imaju za cilj izjednačavanje tehnologije pametnih telefona i kompjutera sa spravama koje vojnici upotrebljavaju u svom svakodnevnom životu.

Industrijski proizvođači neće imati velikog izbora. Oni će količinski proizvoditi manje opreme sa što više elemenata ugrađenih u vojničke sisteme koji će poticati iz komercijalnih sistema već u prodaji.

Jedan od primera predstavljala bi modernizacija izraelskog digitalnog armijskog programa (DAP) takođe poznatog kao *Zayad*. Deo tog sistema koji nosi izraelski vojnik zove se *Dominator*, a slični sistemi izvoze se i u druge armije kao što je australijska.

Tokom godina *Dominator* je umanjen u jednu manju i lakšu mašinu koja se sastoji od lične digitalne jedinice (LDJ) ili portabilnog kompjutera koji teži 450 grama sa tačsrim displejom od 8 inča. Ova LDJ prvenstveno je namenjena za planiranje i debriefing, ali je namenski pravičena za upotrebu u borbenim operacijama. LDJ ima posebni mrežni softver *Tiger* koji strimuje i sinhronizuje transfer podataka uz odgovarajuću korisničku dozvolu. LDJ poseduje glasovni, video i data interfejs koji podržavaju perifernu opremu, štedeći težinu tako što obavlja funkcije koje su obrađivale više odvojenih jedinica na taj način, smanjujući težinu ukupne opreme.

Sledeći evolutivni korak sistema *Dominator* je lakši i manji komplet opreme sa težinom od samo 2,5 kg pod nazivom *Dominator Light Warrior (DLW)*.

Novi sistem koji se uklapa u moderni koncept pametnih telefona je i novi robusni kompjuter kompanije *Elbit*, *Raptor* sa tačsrim od 4,3 inča, operativnim sistemom Android, GPS uređajem, digitalnim kompasom i standardnim softverom.



Raptor

² Aviation Week & Space technology October 14/21 2013.

Raptor podržava mrežni i vanmrežni način rada i uspostavlja ad hoc bežičnu mrežu ili link preko bezbedne mreže u tu svrhu, upotrebljavajući radio vojnika, sinhronizujući specifične fajlove između članova tima (slanje naređenja ili primanje izveštaja). *Raptor* je fizički povezan sa radio-uređajem za vreme upotrebe.

Kompanija *Elbit Systems* razvila je svoj sopstveni uređaj nakon što su testiranja pokazala ograničenja namenskih robustnih komercijalnih uređaja u teškim uslovima korišćenja, kao što je rad u zaštitnim odelima, izloženost nafti, prašini i prljavštini. *Raptor* poseduje aplikacije za štednju energije i jasno vidljiv displej u svim svetlosnim uslovima. Budući uređaji podržavaće rad u uslovima korišćenja sa uređajima za noćno osmatranje.



Q-Warrior

Iako se *Raptor* može povezati sa svim radio-uređajima, odabrana su dva uređaja koji najviše odgovaraju, a to su PNR-1000 i SDR7200HH. Prvi uređaj je kompaktni, laki UHF radio-uređaj sa primanjem i odašiljanjem podataka putem glasa i komunikacije podataka velikom brzinom. Radio-uređaj podržava do 60 korisnika u pet mreža, deleći komandne i kontrolne aplikacije. SDR7200HH je radio sa više talasnih dužina i kompatibilan je sa međunarodnim standardima kao što je *Software Communications Architecture Standards*.

Sistemi za osmatranje i zahvat cilja, slični uređajima *Elbit Coral* i *Mini Coral*, upotpunjuju opremu vojnika. Tu su i prenosivi satelitski terminali, kao i video-risiveri koji omogućuju primanje slika od bespilotnih letelica. Svi ovi uređaji su automatski umreženi u komandni i kontrolni sistem TORC2H, a sve to snabdevaju baterije sa autonomijom rada od 24 h do 36 h u zavisnosti od opterećenosti. *Raptor*, takođe, poseduje softver za kontrolu potrošnje.

SAD ne poseduje sistem sličan *Zayad*-u, tako da kompanija kao što je *Qinetiq North America* upotrebljava mešoviti način pristupanja modernizacije vojnika. Njihov program *Integrated Warfighter* uključuje *Q-Hub*, malu jedinicu koja daje energiju i omogućava povezivanje različitih uređaja putem USB-a.

Ova inovacija usledila je nakon što se pojavila potreba za integrisanjem i podrškom većeg broja eksternih uređaja od kojih većinu prave druge kompanije. Uređaj se nudi kao sastavni deo za više od 40 programa modernizacije opreme vojnika, što je i ključni momenat, jer kupci ne kupuju poseban sistem već samo deo koji im je potreban.

Takođe, predstavljen je i komplet *Q-Warrior* kompanije *BAE Systems* koji će najverovatnije biti prvi praktični displej sa širokim poljem osmatranja kao deo opreme vojnika. Ovaj komplet sadržiće nove senzore, komunikacione i navigacione sisteme, ali bez prevelikog opterećivanja vojnika viškom informacija. Displej, takođe, obezbeđuje taktičku prednost time što vojnik ne mora skidati prst sa obarača ili gledati nadole. *Q-Warrior* je, u stvari, vojni pandan sistemu *Google Glass*, ali mnogo savršeniji od svog civilnog rivala.

Uređaj je izuzetno lak – displej sa tragačem težak je manje od pola kilograma, zahvaljujući upotrebi optičke tehnologije koja se služi difrakcijom za prikazivanje svetle, neograničeno fokusirane slike na ravnom staklenom panelu. Monokularni displej omogućava prikaz jasnih slika u boji visoke rezolucije. Upotrebljiv je na suncu i u mraku i kompatibilan sa uređajima za noćno osmatranje.

Uređaj sadrži aplikaciju *Blue/Red Force Tracker* koja prikazuje obojene simbole, obeležavajući lokacije prijateljskih i neprijateljskih snaga sa trenutnim osvežavanjem informacija putem pokreta glave. Aplikacija je vrlo intuitivna, vrlo je lako pročitati status osmatranih objekata, što je važno prilikom donošenja odluke o otvaranju vatre.

Postoji i navigaciona aplikacija koja pokazuje razne reperne tačke, važne objekte i mete koje se nalaze u vidnom polju vojnika, što omogućava vojniku mnogo brže orijentisanje u prostoru. Aplikacija je, u suštini, neka vrsta glasovne satelitske navigacije.

Aplikacija namenjena isturenim vazдушnim kontrolorima (*JTAC Joint terminal air controllers*) označava lokacije vazдушnih sredstava, pozivne šifre, udaljenost, visinu i raspoloživu municiju. Koristi se uz aplikaciju *force tracker* koja proverava postojanje savezničkih snaga u blizini mete i uspešno je testirana. Još jedna od aplikacija obezbeđuje video-sliku u realnom vremenu, primljenu od bespilotnih letelica ili iz drugih izvora. Slike su u boji i u visokoj rezoluciji.

Američka komanda za specijalne operacije dobila je šest sistema *Q-warrior* koji se nalaze u fazi evaluacije. Drugi korisnici takođe su izrazili interesovanje za ovaj proizvod. Iako se očekuje da će cene ovih sistema biti visoke u početku eksploatacije, izvesno je da će one pasti nakon početka proizvodnje i prodaje u većim količinama. Od budućih sistema ove vrste se očekuje da će biti još lakši i manji i da će na kraju dostići razmere guglovih naočara.

Kompanija *Raytheon* ubacuje sličnu tehnologiju „*waveguide technology*” (vođenje elektromagnetnih talasa u okviru optičkog spektra) laki, prenosni sistem koji omogućuje *JTAC* kontrolerima dobijanje koordinata cilja i njihovo prenošenje do letelice bez ručnog unošenja standardnih devet linija komande napada.

Sistem ima monokl montiran na šlemu, procesor koji se nalazi na grudima i kontrolnu jedinicu sa displejom na ruci. *JTAC* okreće displej na šlemu prema cilju, upotrebljava *CDU (control display unit)* – kontrolna jedinica za prikaz) za označavanje i šalje koordinate avionu. Cilj se pojavljuje na displeju aviona, a može se upotrebiti i sa podvesnim kontejnerom za zahvat cilja. Sistem može prikazati informacije dobijene iz drugih izvora kao što je sistem *Blue-force tracking*. Svi podaci su geografski registrovani, odnosno naznačena je njihova lokacija na 3-D modelu terena.

Postoje dva tehnološka ključa važna za rad sistema. Prvi je displej na šlemu koji upotrebljava isti optički ekran, kao i nove generacije HUD-a i displeja na pilotskim kacigama. Displej je tanji i lakši, troši manje energije, prikazuje slike u boji i kompatibilan je sa uređajima za noćno osmatranje.

Drugi, teži tehnološki izazov je određivanje pravca u kojem je šlem okrenut. Kompanija *Raytheon* upotrebljava jedinicu za inercijalno merenje i druge tehnike za korigovanje okretanja. Sistem će sadržati i 3-D audio koji će određivati ciljeve iz drugih izvora.

Dragan Vučković

Oklopna štednja³

Tehnologija zaštite vozila je znatno napredovala od kada se pojavila pretnja improvizovanim eksplozivnim napravama (IEN) u Iraku i Avganistanu, uz upotrebu ručnih raketnih bacača (RRG) i balističkih pretnji. Koncept V-trupa ugledao je svetlost dana u Južnoj Africi, a zatim je adaptiran i modernizovan za upotrebu u različitim uslovima. Proizvedeni su novi materijali, počevši sa keramikom koja je do tada bila rezervisana za tenkovske oklope, a zatim i plastični hibridni sistemi i mnogo jači transparentni materijali. Prihvaćeni su i mrežni oklopi, nove tehnike suzbijanja napada RRG, a razvijeni su i aktivni odbrambeni sistemi.



Foxhound – Ocelot-S

Problem nastaje tokom operacija u Avganistanu i Iraku zbog pokrivanja ciljeva na velikim udaljenostima, u urbanim uslovima i na lošim putevima uz veliku udaljenost matičnih država od po nekoliko hiljada kilometara. Veća zaštita je podrazumevala manju taktičku mobilnost. Teška vozila bila su osuđena na upotrebu isključivo

³ Aviation Week & Space technology October 14/21 2013.

po dobrim putevima, bila su spora i nezgrapna u gradovima, tako da, dok ih je bilo teže uništiti, bilo ih je lakše pogoditi. Trošila su mnogo goriva, kretala su se u velikim konvojima i na taj način formirala dodatne mete. Strateška mobilnost bila je ugrožena, a čak i najveći avioni mogli su transportovati samo dva ili tri vozila istovremeno.

Sledeću etapu karakterisala je integracija napredne tehnologije koja kombinuje mobilnost sa zaštitom od kompozitnih materijala do sofisticiranije opreme. (Britanski *Foxhound* na primer je upravljiv sa sva četiri točka što je velika prednost u urbanim uslovima upotrebe). Problem je što su takva vozila previše skupa za većinu kupaca i, shodno tome, fokus je usmeren na pronalaženje jeftinijih rešenja.

Cena složenih oklopnih sistema, specijalnih metala, keramike, monolitne plastike i kompozitnih materijala je i dalje visoka, dok su proizvodni kapaciteti ograničeni.

Na ovogodišnjem sajmu naoružanja, *Defense and Security Equipment International (DSEI)* u Londonu, prikazani su novi proizvodi sa oklopom od čelika: *Force Protection's Ocelot-S*, jeftinija verzija vozila *Foxhound*; „novi koncept vozila” *Patria*, kao prostranijeg i svestranijeg naslednika postojećeg vozila 8X8 finske kompanije i vozilo kompanije *Nexter Titus* sa trupom profilisanom u V obliku, mogućnošću transporta 10 ljudi i pogonskim delom baziranim na komercijalnim delovima *Tatre*. Prvobitno je *XP3 Titus* razvijan paralelno sa vozilom čiji je trup od aluminijuma, *XP2*, ali se odustalo od tog projekta zbog visoke cene.

Ono što ističe osobine novih vozila *Nexter* i *Patria* su: povećana korisna nosivost koja omogućava korisniku dodavanje modularnih delova s obzirom na vrste pretnji tokom korišćenja vozila ili u odnosu na upotrebu u različitim operacijama.

U okruženju koje karakteriše potreba terenske mobilnosti, zaštita od mina, IEN i RRB, oklop može biti od manje važnosti, jer protivnik ne zna gde može efikasno postaviti bombu ili postaviti zasedu. Zbog toga je nastala nova verzija vozila *Foxhound – Ocelot-S* sa klasičnim otvorenim delom pogodnim za specijalne snage, lakim oklopom i intenzivnom kamuflažom.

Još uvek nije došao kraj upotrebi čeličnog oklopa. Na sajmu naoružanja *DSEI*, iz kompanije *Tata Steel* su obavestili da će započeti proizvodnju 200 uzoraka specijalnog *Pavise SBS 600P* perforiranog čelika. Ova vrsta čelika tek je od skoro razvijena u Britaniji. Bazirana je na novoj metalnoj leguri projektovanoj pomoću kompjuterske metalurgije (putem modelovanja molekularnih struktura moguće je projektovati legure sa određenim karakteristikama). Novi čelik može biti perforiran i formiran pre nego što bude ojačan. Perforirani oklop je lak i efikasniji protiv projektila, jer perforacije uzrokuju menjanje putanje i razbijanje dolazećeg projektila.



Francuski VAB sa oklopom FlexFence

Kompanija *Renault Trucks Defense* takođe razvija novu generaciju oklopa sa konkurentskim cenama pod pretpostavkom da postoji tržište za pristupačniji oklop za zaštitu jeftinijih vozila. Proizvod kompanije dostigao je standard Stanag 4569 (NATO standard), nivo 3 balističke zaštite, a pruža zaštitu od eksplozije mina od 8 kg ispod trupa vozila. Kompanija nastoji da dostigne standard Stanag, nivo 4, što podrazumeva zaštitu od paljbe teških mitraljeza i eksploziju mina od 10 kg.

Na osnovu zahteva francuske vojske za hitnu proizvodnju kompleta protiv RRB, kompanija je proizvela najnoviju verziju *Ultima*, koja je montirana na vozila početkom ove godine radi zaštite logističkih jedinica u Avganistanu. Kompleti omogućavaju delimičnu zaštitu od RRB koja se kreće od 50 do 80%. Kompanija je naručila 400 kompleta firme *Plasan Sasa* nakon upoređivanja sa kompletima kompanija *Nexter* i *Qinetik*. *Plasan* je proizveo sistem protiv RRB pod nazivom *FlexFence*, proizvod sličan čebetu deo nekoliko inča za razliku od proizvoda konkurentskih kompanija u obliku mreža.

Nexter nudi svoj sopstveni anti RRB sistem u obliku kompleta *PG-Guard*. Sistem teži 11 kg po kvadratnom metru i predstavlja jedno od najlakših rešenja. Oklop okružuje vozilo, ali se paneli pomeraju zajedno sa vratima. Isti paneli mogu se vrlo brzo ukloniti, omogućavajući pristup vozilu. Sistem je projektovan za suzbijanje raketa i to i onih sa tandem bojevom glavom, kao što je bojeva glava na RPG-7VR, ali kompanija *Nexter* priznaje da zaštita varira od 50 do 65% u zavisnosti od vrste raketa.

Kada su u pitanju tenkovi u urbanom okruženju, kompanija *Nexter* nudi *Azur* (*action en zone urbaine* – dejstva u urbanim zonama) postavljen na tenk *Leclerc* koji, po navodima kompanije, predstavlja stoprocentnu zaštitu protiv raketa RRB-a ispaljenim pod bilo kojim uglom, kao i zaštitu od metaka kalibra 14,5 mm, eksplozivnih fragmenata i nekih IEN.

Familija zaštitnih oklopa kompanije *Nexter* uključuje *SafePro Mine* sa zaštitom do nivoa Stanag 2–4, *SafePro Kinetic*, kao i zaštitu od IEN. Radi se o pasivnim oklopima koji kombinuju keramičke materijale, kompozitne materijale, aluminijumske legure, legure od titanijuma i čelika sa nivoom zaštite Stanag 5 i oklop *SafeProAlu* koji omogućuje nivo zaštite vozila do „70%“ sa dodatnom težinom od 10 kg po kvadratnom metru, što je postignuto specijalnom legurom aluminijuma koja je mnogo lakša od čelika. Ovakav oklop može biti postavljen kao dodatni ili kao osnovni.

Kompanija *Renault* takođe se bavi istraživanjem na polju aktivnih sistema zaštite (ASZ), ali tu nailazi na problem prilikom upotrebe ovih sistema na područjima u kojima se nalaze prijateljske snage ili civilno stanovništvo radi izbegavanja kolateralne štete.

Za sada je izraelski sistem *Trophy*, koji je razvila kompanija Rafael, jedini operativni ASZ. Druga rešenja su testirana, ali nisu isprobana u borbi. Po izraelskom mišljenju najveći neprijatelj oklopnih vozila su rakete i RRB sa naprednim tandem bojevim glavama.

Kao pionir u ovoj oblasti, Izraelske odbrambene snage (IOS) nastavljaju sa razvojem dve varijante sistema *Trophy*. Sistem *HV* od 800 kg već je postavljen na tenk *Merkava Mk 4*, dok je sistem težine 450 kg predviđen za postavljanje na laka vozila točkaše ili guseničare.

Osnovni problem je minimiziranje kolateralne štete od ASZ u urbanim područjima. Radi toga, kao i radi zaštite lakših vozila, razmatraju se različiti mehanizmi. Ovakvi koncepti postoje u obliku sistema *Trophy LV* kompanije *Rafael* i sistema *Tityus* kompanije *Elbit* prikazanog upravo na sajmu DSEI. Kao i *Trophy LV*, *Tityus* je sistem koji se montira na krov, generiše „dinamičku zavesu“ blizu vozila i automatski aktivira sistem, na taj način umanjujući mogućnost kolateralne štete.

Sistem ASZ zahteva postojanje sistema za upozoravanje koji otkriva potencijalne pretnje, procenjuje da li predstavljaju opasnost po vozilo i automatski aktivira sistem. Sistem za upozoravanje sastoji se od radara, elektro-optičkog senzora ili od fuzije oba sistema.

Pridošlica u ovom polju je *RPS-15* kompanije *Rada*, koji će prvi put biti prikazan ove godine. Sistem otkriva, prati, klasifikuje i locira direktne i indirektno pretnje po zaštićeno vozilo. Sistem izračunava putanju od izvora pretnje do mesta udara, počevši od pešadijskog naoružanja do protivtenkovskih vođenih raketa i tenkovskih projektila. Ovakva informacija je neophodna radi izbegavanja, bilo putem manevra vozila, protivudara ili upotrebe protivmera.

Još jedna od novih tehnologija stiže iz Izraela, od izraelskog stručnjaka za oklope, kompanije *Oran Safety Glass* koja je uvela transparentni oklop zasnovan na naprednim kristalizovanim materijalima. U poređenju sa standardnim laminatnim staklom i polikarbonatom, ovaj prozirni materijal je do 60% lakši i tanji, transparentniji i kompatibilan sa uređajima za noćno osmatranje.

Takođe, jedan od aspekata zaštite borbenih vozila obuhvata i gašenje vatre. Kao i po pitanju zaštite od mina, projektila RRB i ovde se radi o primeni različitih tehnika po pitanju različitih požara. Izraelska kompanija *LVT* razvila je jedan takav sistem radi zaštite *MRAP* (*MaxxPro Mine Resistant, Armor Protected*) vozila koje upotrebljavaju američke snage u Iraku i Avganistanu.

Ovi sistemi prilikom pojave požara na krovu vozila suzbijaju vatru upotrebom raspršivača pene. Gume i točkovi zaštićeni su od vatre putem zonskih vatrogasnih sistema namenjenih upotrebi na rezervoarima goriva i gumama. To su sistemi kao što su *Spider Delta* ili *HFC 227* koji upotrebljavaju gas za suzbijanje požara u motornom delu, dok koriste prah za suzbijanje požara nastalih na rezervoarima za gorivo.

Protivpožarna zaštita kabine zahteva različito rešenje. Radi smanjivanja opasnosti od eksplozije i opekotina, detektori automatski aktiviraju vodene raspršivače. Ovaj metod je u prednosti u odnosu na toksične gasove. Vodena magla ispunjava kabinu za 40 do 50 sekundi, prouzrokujući naglo sniženje temperature.

Kompanija *Nexter* takođe se bavi problemom zaštite lakših vozila od požara. Zajedno sa francuskom kompanijom *L'Hotellier*, razvila je komplet za gašenje požara *Molotov*. Komplet se sastoji od niza savitljivih cevi izvan osetljivih delova vozila, kao što su krov i točkovi. Cevčice, automatski ili ručno, raspoređuju protivpožarni agens koji se nalazi upakovan na spoljnom delu vozila i omogućuje raspršivanje u roku od nekoliko sekundi.

Dragan Vučković

Poljski PL-01 – koncept borbeno vozilo⁴

PL-01

Nedavno formirani *Polish Defence Holding* (PDH), međunarodni konzorcijum pod vodstvom kompanije *BAE Systems*, prikazao je javnosti novo vozilo tokom sajma naoružanja MSPO 2013 koji je održan u Poljskoj.

Trup vozila jasno otkriva uticaj borbeno isprobanog vozila iz porodice CV90 kompanije *BAE systems Häfflungs* koje trenutno koriste oružane snage Finske, Holandije, Norveške, Švedske i Švajcarske.

U pitanju je koncept vozilo koje može biti prilagođeno upotrebi u okviru budućih zahteva poljske armije. Još je rano komentarisati kakav će uticaj imati odluka o smanjivanju budžeta poljskog ministarstva odbrane na razvoj ovog programa.

PL-01 spada u kategoriju „lakih tenkova“. Tenk je opremljen daljinski upravljanom kupolom sa topom glatke cevi kalibra 120 mm sa automatskim punjačem. U kupolu je moguće smestiti i top od 105 mm.

Mitraljez 7.62 mm postavljen je koaksijalno sa glavnim naoružanjem. Na krovu tenka nalazi se daljinski upravljani mitraljez 12.7 mm ili 7.62 mm, a moguće je postaviti i automatski bacač granata od 40 mm.

PL-01 je opremljen kompjuterizovanim sistemom za upravljanje vatrom koji omogućava napad na pokretne ili stacionarne mete sa visokim procentom pogotka prvim hicem. Oprema za dnevno/noćno posmatranje je na raspolaganju vozaču, nišandžiji i komandiru (koji ima i panoramski nišan montiran na krovu).

⁴ IHS Jane's International Defence Review October 2013.

Nišandžija i komandir takođe poseduju stabilizovane dnevno/noćne termalne kamere treće generacije i laserski daljinomer.

Ključna stavka PL-01 je vrlo visok nivo zaštite sa osnovom od zavarenog čeličnog tela tenka sa višestrukim slojevima keramičkog oklopa radi zaštite od mina i improvizovanih eksplozivnih naprava.

Tenk poseduje ugrađenu internu zaštitu u vidu zaštite „spall liner” i sedišta koja ublažavaju efekat detonacije od konvencionalnih i improvizovanih eksplozivnih naprava, kao i od eksplozivno formiranih penetratora (*explosively formed penetrator*). Vozilo prikazano na sajmu MSPO bilo je snabdeveno i aktivnim sistemom zaštite.

U okviru standardne konfiguracije dizel motor visokih performansi postavljen je sa prednje desne strane, dok se vozač nalazi na suprotnoj levoj strani.

Vozilo ima visoke terenske performanse i to sa konvencionalnim čeličnim gusenicama ili opciono sa gumenim. Gumene gusenice, koje su instalirane na borbenom vozilu pešadije CV90, nude prednosti kao što su manja težina, manja buka i vibracije. Norveška armija naručila je flotu novih i unapređenih BVP CV90 opremljenih gumenim gusenicama.

Standardna oprema uključuje sistem za ABH zaštitu, klimu i dnevno/noćne kamere koje pokrivaju radijus od 360 stepeni.

U bliskoj mogućnosti vozila ove porodice mogla bi biti snabdevena i hibridnim električnim sistemom pokretanja koji bi doveo do značajnih poboljšanja na planu preživljavanja, manje potrošnje goriva, kao i obezbeđenja dodatne snage za sisteme vozila.

Dragan Vučković

Rusija planira formiranje 40 novih brigada do 2020. godine⁵

Ruski zamenik ministra odbrane Nikolaj Pankov objavio je da Rusija planira formiranje 40 novih armijskih brigada do 2020. godine.

Nove brigade biće formirane bez ukupnog povećavanja oružanih snaga do granice od 1.000 000 ljudi. Ruske kopnene snage trenutno imaju 300 000 ljudi. Ministarstvo odbrane objavilo je da su ruske kopnene snage dobile 600 novih oružanih sistema i druge opreme tokom 2013. godine.

Tokom 2014. godine armija planira nabavku 750 kapitalnih sistema, uključujući taktičku balističku raketu *Iskander-M*, višestruke raketne bacače *9AS3 Tomado-G* i *Tayfun* i *Tigr-M* oklopna borbeno vozila. Sve brigade biće opremljene protivtenkovskim vođenim raketama *Kornet*, samohotkama *Koalitsya-SV* sa spregnutim topovima, prenosivim protivvazдушnim raketama *Verba* i vojničkim sistemima *Ratnik*.

Ovo povećanje je značajno, imajući u vidu da Rusija trenutno ima samo 40 brigada, i omogućuje vođenje većih ratnih operacija. Na osnovu raspoloživih podataka trenutno stanje u Rusiji je vrlo zabrinjavajuće. Tako 35 brigada ima nepotpuni sastav ljudstva, i to do 30%. Problem je privlačenje ljudstva, regrutacija i zadržavanje vojnika u sastavu armije.

Dragan Vučković

⁵ IHS Jane's Defence Weekly, 9 October 2013.

Japan razvija radar dugog dometa za otkrivanje stelte letelica⁶

Japanско Ministarstvo za odbranu zatražilo je 37,4 miliona dolara za fiskalnu 2014. godinu radi projektovanja naprednog radara i sistema za upravljanje vatrom koji će biti u stanju da otkriva nevidljive letelice.

Sistem bi trebalo da poseduje sposobnost otkrivanja i praćenja nevidljivih letelica koje danas nestaju na postojećim radarima. Ovaj razvojni program u vezi s projektovanjem prototipa radara trajaće šest sledećih godina, a trebalo bi da uđe u operativnu upotrebu nakon perioda od 10 godina. Radar će se nalaziti na kopnenim vozilima, primaće podatke od fiksnih kopnenih radarskih instalacija, kao što su FPS-5 i FPS-7 a zatim će otkrivati, pratiti i lansirati projekte kojima će obarati cilj. Sistem će verovatno biti uparen sa modernizovanom verzijom japanskog kopnenog sistema raketa zemlja-vazduh, poznatih kao *Chu-SAM Type 03* i *SAM-4*.

Projekat započinje u vreme kada Japan povećava nadzor vazdušnog prostora u Istočnom kineskom moru oko japanskih ostrva *Senkaku/Diayutai* na koje Kina i Tajvan takođe polažu pravo.

Japan već poseduje vrlo sofisticirani radarski sistem za rano upozoravanje. Sistem je predviđen za suzbijanje mogućih pretnji koje stižu iz Severne Koreje, naročito nakon napora Pjongjanga da lansiraju balističke projekte sa nuklearnim bojivim glavama.

Za otkrivanje treće i četvrte generacije lovaca na velikim daljinama projektovano je 28 radarskih instalacija.

Međutim, japanski zvaničnici nisu sigurni kako će njihovi postojeći radari otkrivati nove lovce pete generacije kao što su kineski *Chengdu J-20* i ruski *Sukhoi PAK-FA T-50* koji su u fazi razvoja.

Trenutno, japanski radari otkrivaju ovakve ciljeve na malim razdaljinama, ali im je cilj detektovanje tih istih ciljeva na najvećim mogućim razdaljinama.

Radar japanskih odbrambenih snaga koji je najbliži ostrvima *Senkakus* nalazi se na ostrvu *Miyakojima* na daljini od preko 200 km od japanskih ostrva i nije bio u stanju otkriti kineski avion za pomorski nadzor koji je nadleteo *Senkakus* 13. decembra 2012. godine.

Nedavno, 9. septembra, kineska bespilotna letelica je uletela u japanski samoproglašeni zaštićeni vazdušni prostor, što je dodatno podstaklo zabrinutost u Tokiju.

Kao odgovor na sve češće kineske aktivnosti u Istočnom kineskom moru, japansko ministarstvo odbrane zatražilo je 1,3 milijarde jena za uspostavljanje vazdušne nadzorne misije u vazdušnoj bazi *Naha* na ostrvu Okinava upotrebljavajući u tu svrhu letelicu E-2C za rano upozoravanje i kontrolu vazdušnog prostora.

Novi budžet obuhvatiće i zahtev za finansiranje radara za rano upozoravanje J/FPS-7.

Dragan Vučković

⁶ IHS Jane's Defence Weekly, 2 October 2013.

*Turska odabrala kineski raketni sistem zemlja-vazduh HQ-9
za program T-Loramids⁷*



HQ-9

Na sastanku izvršnog komiteta turskog podsekretarijata za odbrambenu industriju, 25. septembra, kineski proizvođač *China Precision Machinery Import Export Corporation* sa sistemom HQ-9 odabran je za posao vredan nekoliko milijardi dolara, što je predstavljalo iznenađenje. Tada je odlučeno da će biti započet posao u vezi sa sklapanjem ugovora za zajedničku proizvodnju raketa i njihovih sistema u Turskoj.

Suparnici kineskom HQ-9 (međunarodna izvozna oznaka FD-2000) u okviru programa *T-Loramids* bili su sistem *Patriot* američke kompanije *Raytheon*, sistem *Eurosam SAMP/T* i ruski S-300. *T-Loramids* program podrazumeva nabavku 12 jedinica po ceni od oko 4 milijarde dolara.

Kineska ponuda uključuje vrlo visok nivo tehnološkog inputa za Tursku odbrambenu industriju, što je odigralo ključnu ulogu u odabiru kineskog sistema. Drugi značajan faktor bila je cena, jer je kineska ponuda bila manja od 3 milijarde dolara, dok su ponude drugih ponuđača bile nešto iznad 4 milijarde dolara.

Ovakva odluka predstavljala je iznenađenje s obzirom na to da se očekivao odabir jednog od zapadnih sistema zbog kompatibilnosti sa NATO mrežama.

Američka kompanija *Raytheon* smatrana je favoritom za program *T-Loramids* s obzirom na to da je Turska upoznata sa sistemom, da sistem *Patriot* ima niske troškove održavanja, da postoje vrlo jake veze odbrambenih industrija Turske i SAD, kao i vrlo jak američki lobi.

U međuvremenu se saznalo da je evropski *Eurosam SAMP/T* imao podršku turskih oružanih snaga u smislu potencijala sistema (najnovija platforma od svih ponuđenih, iako je bila i najskuplja).

Ponude sistema S-300 i HQ-9 (kineske verzije ruskog sistema) bile su, u tehničkom smislu, vrlo slične, ali su obe problematične u smislu kompatibilnosti sa NATO sistemima. Taj argument su, uglavnom, koristili američki i evropski lobi. Ipak, na kraju je presudila cena.

Dragan Vučković

⁷ IHS Jane's Defence Weekly, 2 October 2013.

Češki Aero razvija novi školsko-borbeni avion L-169⁸

Poznati češki proizvođač školsko-borbenih aviona Aero (*Aero Vodochody*) kreće u razvoj novog vazduhoplova pod oznakom L-169. Cilj projekta je veća primena domaćih komponenti u avionici i drugoj opremi aviona, te veći dolet.

Koncept novog aviona, prema rečima ljudi iz kompanije Aero, predstavlja radikalnu modernizaciju dizajnerske filozofije koja se i dalje zasniva na poznatom školsko-borbenom avionu L-39 Albatros, koji je i danas u upotrebi širom sveta. Podsećanja radi, češki proizvođač kontinuirano radi na usavršavanju i daljem razvoju ovog dizajna, tako da je krajem osamdesetih godina prošlog veka tržištu ponuđen unapređeni trener L-59, čije su izvozne verzije našle svoje mesto u arsenalima vazduhoplovstava Egipta i Tunisa, a ubrzo zatim i L-139 opremljen američkim pogonskom grupom i avionikom koji je proizveden u samo jednom prototipskom primerku. Sledeću, veoma krupnu stepenicu predstavljao je L-159A ALCA (*Advanced Light Combat Aircraft*), razvijen za potrebe češkog ratnog vazduhoplovstva kao jednosedi laki jurišnik. Ukupno je proizvedeno 72 aparata ovog tipa, ali je zbog smanjenih potreba češko vazduhoplovstvo preuzelo svega 18, da bi se kasnije broj popeo na 24 aparata u operativnoj upotrebi, dok su ostali konzervisani i uskladišteni u odgovarajućim uslovima. Nekoliko aviona konvertovano je u dvosede pod oznakom L-159T1, dok je za potencijalne kupce razvijena potpuno nova verzija za naprednu letačku obuku, poznata kao L-159B Albatros II.

Prema tvrdnjama proizvođača, osnovne novine L-169 biće skrivene ispod oplate. Tako će se primenom integralnih gorivnih rezervoara, ugrađenih u struktu-

⁸ www.praguepost.com/czech-news/33796-aero-vodochody-develops-new-l-169-aircraft [posećeno: 14. 12. 2013].

ru krila, obezbediti dodatnih 600 kilograma goriva, pored postojećih 1.300 kg smeštenih u rezervoarima unutar trupa. Računa se da će se time povećati dolet aviona za 600 kilometara u odnosu na dolet postojećeg L-159A koji iznosi 1.570 km bez dodatnih rezervoara i 2.530 km sa tip-tankovima i potkrilnim rezervoarima goriva, dok verzija L-159B može da preleti 1.300 km bez dopunskih rezervoara.

Kada je u pitanju osavremenjavanje avionike aviona i druge opreme, za sada nisu saopšteni detalji, ali se ističe težnja da što više proizvoda češke proizvodnje pro-nađe primenu na L-169, ali i da se obezbedi otvorena arhitektura koja bi obezbedila ispunjavanje želja potencijalnih kupaca o ugradnji opreme, kako zapadnog, tako i istočnog porekla. To je, inače, i jedan od osnovnih nedostataka L-159, budući da je veći deo potencijalnih narudžbi propao, jer su dolazile iz zemalja koje nisu mogle dobiti saglasnost za ugradnju komponenti američke proizvodnje. Ciljna grupa su postojeći korisnici L-39 koji imaju novac za nabavku vrhunskih borbenih aviona kakav je Su-30 Flanker, pa im je potreban dvosed koji obezbeđuje odgovarajuću obuku za njih.

Prvi let prototipa očekuje se 2015. godine.

Mladen Tišma

Laki jurišnik Škorpion izveo prvi let⁹



Prototip lakog dvomotornog mlaznjaka Škorpion (*Scorpion*), na kojem zajednički rade Tekstron (*Textron*) i Erlend (*AirLand*), uspešno je izveo prvi let 12. decembra 2013. godine iz vazduhoplovne baze MekKonel u Kansasu. To je manje od 24 meseca od početne ideje koja je dovela do projekta ovog aviona. Prvi let trajao je oko jedan čas i 25 minuta.

⁹ www.janes.com/article/31528/first-flight-for-scorpion-light-strike-jet [posećeno: 14. 12. 2013]

Letelica je u potpunosti izgrađena od kompozitnih materijala. Škorpion postiže maksimalnu brzinu od 450 čvorova, odnosno 833,4 km/h, ima plafon leta od 40.000 stopa, odnosno oko 12.000 metara, a dolet iznosi 2.400 nautičkih milja, tj. nešto preko 4.400 kilometara. Unutrašnji bombaluk ima nosivost od 1.360 kilograma, dok na spoljašnjim podvesnicima može poneti još 2.766 kilograma ubojnih sredstava i druge opreme. Vreme ostajanja u vazduhu, prema proizvođaču, iznosi pet časova.

Prema promotivnim katalogima proizvođača¹⁰ ovaj avion namenjen je za nadzor vazdušnog prostora i presretanje sporih niskoletućih ciljeva, vatrenu podršku kopnenim snagama u borbi protiv pobunjenika, terorista i slabo naoružanog neprijatelja, borbu protiv krijumčara narkotika, nadzor državne granice, patroliranje akvatorijom i pomoć u vanrednim situacijama.

Ciljna grupa potencijalnih korisnika uključuje oružane snage, nacionalnu gardu, carinsku službu, graničnu policiju i civilnu zaštitu. Za sada, predstavnici proizvođača pregovaraju sa predstavnicima Vazdušne nacionalne garde (*Air National Guard*) i Komande za specijalne operacije (*Special Operations Command*) o potencijalnom uvođenju u naoružanje, dok ponuda stranim kupcima još nije prioritet Tekstrona i Erlenda.

Mladen Tišma

Predstavljen model novog italijanskog školsko-borbenog aviona M-345 HET¹¹



Italijanski proizvođač aviona Alenia Aermaki (*Alenia Aermacchi*) predstavio je, 26. novembra 2013. godine, model odnosno atrapu svog novog školsko-borbenog aviona M-345 HET u bojama čuvene akro-grupe *Frecce Tricolori*. Proje-

¹⁰ *Scorpion Missions Fact Sheet*, Textron AirLand 2013.

¹¹ www.airforcesdaily.com/2013/11/m-345-het-mock-up-unveiled-in-frecce-tricolori-colours/ [26. 12. 2013]

kat je prvi put predstavljen tokom juna na pariskoj vazduhoplovnoj izložbi u Le Burzeu, a novi avion označen kao trener visoke efikasnosti (*High Efficiency Trainer* – HET) predstavlja dalji razvoj demonstratora M-345, koji se zasniva na još jednom demonstratoru pod oznakom M-311, koji je opet predstavljao modernizovanu i unapređenu verziju mlaznog aviona za početnu i osnovnu obuku S-211.

Alenija Aermaki potpisala je sa Direktoratom za naoružanje italijanskog Ministarstva odbrane sporazum o zajedničkom razvoju M-345 HET, a Ministarstvo će aktivno učestvovati i u definisanju taktičko-tehničkih zahteva. Za sada je poznato da će pomenuta akro-grupa do 2017. zameniti svoje M-339 novim HET-ovima.

Mladen Tišma

Projekat turskog borbenog helikoptera ponovo u kašnjenju¹²



Isporka partije od pedeset jednog helikoptera tipa T129, koji je zajednički projekat Turske avio-industrije (*Turkish Aerospace Industries* – TAI) i italijanske Avguste-Vestland (*AugustaWestland*), odložen je za još godinu dana. Odluka o odlaganju stigla je nakon što je Komanda turske Kopnene vojske prilikom opitovanja predserijskih primeraka bazne verzije ovog helikoptera – T129A otkrila niz tehničkih nedostataka. Ipak, predstavnici proizvođača tvrde da problemi nisu ozbiljne prirode i da će biti prevaziđeni.

Turski mediji objavili su da su probni letovi otkrili prekomerne vibracije i de-balans letelice. U međuvremenu, TAI je nastavio sa modifikacijama na predserijskim aparatima koje turska KoV uzima kao prelazno rešenje do isporuke i ulaska u operativnu upotrebu verzije T129B.

¹² www.janes.com/article/30295/turkish-attack-helicopter-project-sees-further-delays
[posećeno: 14. 12. 2013]

Borbeni helikopter T129 predstavlja modifikaciju poznatog italijanskog helikoptera A129 *Mangusta*, posebno razvijenu za potrebe turske KoV, u okviru programa jurišnog i taktičkog izviđačkog helikoptera – ATAK, vrednog tri milijarde američkih dolara. Do sada je proizvedeno šest prototipova i devet predserijskih aparata, označenih kao T129A.

Mladen Tišma

Indijski laki borbeni avion Tejas postigao početnu operativnu sposobnost¹³



Posle dugo odlaganja, 20. decembra 2013. godine, indijski laki borbeni avion *Tejas* postigao je početnu operativnu sposobnost drugog stepena (*Initial operational capability II*) u indijskom ratnom vazduhoplovstvu, što predstavlja značajan korak u razvoju prvog potpuno domaćeg projekta aviona za Indiju kao silu u usponu.

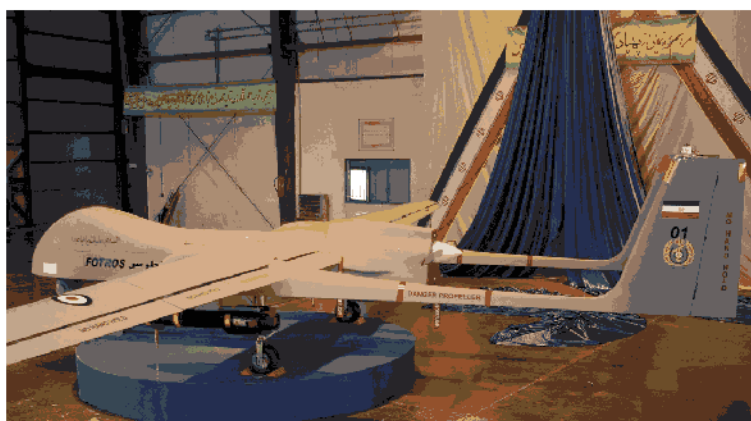
Tejas je tokom prethodne tri decenije razvijen u okviru programa lakog borbenog aviona LCA (*Light Combat Aircraft*) i od januara 2001. godine trajala su letna ispitivanja tokom kojih je obavljeno oko 2.400 opitnih letova. Početnu operativnu sposobnost prvog stepena, koja je privremenog karaktera, letelica je dobila od Centra za plovidbenost i sertifikovanje vojnih letelica u Bangaloru još početkom 2011. godine, ali je otkrivanje, a zatim i otklanjanje uočenih nedostataka odlagalo konačnu odluku. Tokom ove godine izvedeno je oko pet stotina letova, što je ubedljivo najveći godišnji nalet ovog tipa do sada, budući da je prošli „rekord“ iznosio 280 letova, koji su obavljani tokom 2009. godine.

¹³ www.janes.com/article/31420/tejas-to-get-ioc-on-20-december [posećeno: 14. 12. 2013]; www.airforcesdaily.com/2013/12/indias-tejas-light-combat-aircraft-achieves-ioc-ii/ [posećeno: 26. 12. 2013]

Nakon dobijanja potvrde o početnoj operativnoj sposobnosti drugog stepena, proizvođač HAL (*Hindustan Aeronautics Ltd.*) kreće u serijsku proizvodnju prvih dvadeset aparata od ukupno četrdeset koliko je dosad poručilo Indijsko ratno vazduhoplovstvo (*Indian Air Force*). Avioni će se sklapati u novom proizvodnom pogonu u Bangaloru opremljenom vrhunskom tehnologijom, a prva isporuka očekuje se tokom 2014. godine, dok bi punu operativnu sposobnost (*Full operational capability*) *Tejas* trebalo da postigne najranije krajem godine, nakon čega bi se krenulo u izradu sledeće serije od dvadeset aviona verzije *Tejas* Mk I. U međuvremenu, HAL će raditi na daljem usavršavanju koje će dovesti do nove verzije *Tejas* Mk II sa jačom pogonskom grupom General Electric F414 potiska 90-100 kN. Ukupno, prema sadašnjim planovima, Indija očekuje da sa domaćim lovcem opremi sedam eskadrila svog ratnog vazduhoplovstva sa ukupno 140 aparata, od čega će oko 14 biti dvosedi za preobuku koji će bazirati u Suluru, u državi Tamil Nadu.

Mladen Tišma

Iran prikazao borbenu bespilotnu letelicu Fotros¹⁴



Mediji u Islamskoj Republici Iran objavili su, 18. novembra 2013. godine, fotografije i snimke domaće borbene bespilotne letelice pod nazivom *Fotros*. Time su u svetskoj vojnoj javnosti ponovo podgrejane diskusije o razvijenosti i tehničko-tehnološkim dostignućima iranske odbrambene i posebno vazduhoplovne industrije.

Na fotografijama letelice vide se i podvešani projektili slični američkim protivoklopnim raketama AGM-114K-2 *Hellfire*. Na jednoj od njih vidi se i oznaka K-2. Prema tvrdnjama iranskih zvaničnika, letelica ima stratešku ulogu i namenjena je za izviđačke zadatke i jurišna dejstva po ciljevima na kopnu. Operativni radijus Fotrosa je 2.000 kilometara, plafon leta 7.620 metara, a vreme ostajanja u vazduhu od 16 do 30 časova, zavisno od konfiguracije.

Mladen Tišma

¹⁴ www.janes.com/article/30380/iran-unveils-strategic-uav [posećeno: 14. 12. 2013]; www.airforcesdaily.com/2013/11/iran-unveils-new-fotros-attack-uav/ [posećeno: 26. 12. 2013]

Ugovorena integracija raketa Meteor na Gripen E¹⁵

Švedski Saab integriraće na novu verziju svog višenamenskog borbenog aviona JAS 39E Gripen rakete vazduh-vazduh za dejstvo van vizuelnog dometa tipa Meteor, potvrdila je Švedska uprava za odbrambene nabavke.

Posao vredan 29,3 miliona američkih dolara deo je ugovora za Gripen E koji je Saab potpisao sa švedskom vladom za period do 2023. godine. Tokom juna 2013. godine uspešno je izvršeno i bojevo gađanje sa serijski proizvedenim Meteorom koji je uspešno lansiran sa Gripena.



Rakete Meteor proizvode se u pogonima MBDA u Francuskoj, a rezultat su zajedničkog razvoja Švedske, Francuske, Nemačke, Britanije, Španije i Italije.

S obzirom na to da je nedavno Gripen E/F pobedio i na brazilskom tenderu za nabavku 36 lovačkih aviona, kao i odluku švedske države da nastavi učešće u razvoju nove generacije, odluka o integraciji došla je u pravo vreme.

Mladen Tišma

Ministarstvo odbrane Francuske i kompanija MBDA ugovorili razvoj i proizvodnju protivoklopnog sistema Moyenne Portee¹⁶

Ministarstvo odbrane Francuske objavilo je da je sa kompanijom MBDA potpisao ugovor o razvoju i proizvodnji protivoklopnog sistema Moyenne Portee za potrebe francuske Kopnene vojske.



Predmet ugovora je razvoj protivoklopnog sistema koji bi, počev od 2017. godine, u jedinicama francuske Kopnene vojske, posebno u specijalnim snagama, počeo da zamenjuje postojeće protivoklopne vođene projektele Milan. Za sada, planovi podrazumevaju proizvodnju 400 lansera, 2.850 raketa, pri čemu bi do 2019. godine trebalo da bude isporučeno 175 lansera i 450 projektila.

Mladen Tišma

¹⁵ <http://www.saabgroup.com/en/Air/Gripen-Fighter-System/Gripen-News/> [posećeno: 22. 12. 2013]

¹⁶ <http://www.defense.gouv.fr/actualites/economie-et-technologie/la-dga-notifie-le-programme-du-missile-moyenne-portee-mmp> [posećeno: 27. 12. 2013]

Britanija investira 79 miliona funti u razvoj nove generacije podmornica¹⁷

Britanska vlada potvrdila je da je Ministarstvo odbrane te zemlje zaključilo dva ugovora u vrednosti 47 miliona i 32 miliona funti sa kompanijom BAe sistemi (BAE Systems), koja pored firmi Rols-Rojs (Rolls-Royce) i Babcock Marin (Babcock Marine) radi na programu novih podmornica za strategijsko nuklearno odvracanje tipa Saksesor (Successor – naslednik), za koje se očekuje da budu tehnološki najsloženija plovila u istoriji Kraljevske ratne mornarice.



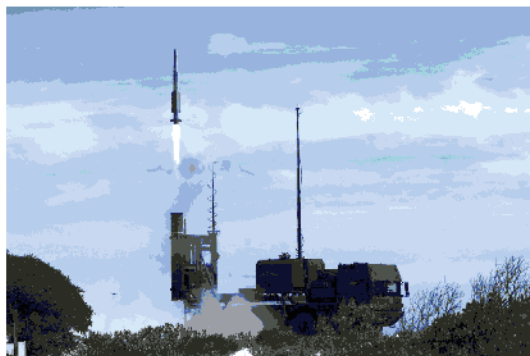
Britanci tvrde da se radi o plovilima najvišeg nivoa prikrivenosti (*stealth*), a u prilog ogromnoj važnosti i naprednosti navodi se da će, pored pomenute tri kompanije, u proizvodnji učestvovati i 850 kooperanata iz celog Ujedinjenog Kraljevstva (ako tada bude postojalo, s obzirom na referendum u Škotskoj). Za sada će osnovno naoružanje novih podmornica biti postojeće balističke rakete Trident.

Očekuje se da podmornice ovog tipa, koje treba da zamene postojeće podmornice tipa Vanguard (*Vanguard*), uđu u naoružanje krajem treće dekade ovog veka (približno 2028. godine) i ostanu u operativnoj upotrebi do 2060. godine, a možda i duže.

Mladen Tišma

Uspešno ispitivanje nemačkog projektila zemlja-vazduh Iris-T SL¹⁸

Početkom novembra na južnoafričkom raketnom poligonu Overberg, nemačka kompanija Diehl (Diehl Defence) zajedno sa Saveznim zavodom za opremanje, informacione tehnologije i eksploatacionu podršku Bundesvera (BAwBw), obavila je niz testova, uključujući i dva bojeva gađanja novim raketnim sistemom za protivvazduhoplovna dejstva koji koristi raketu v-z Iris-T SL, razvijenu iz rakete vazduh-vazduh Iris-T.



¹⁷ <https://www.gov.uk/government/news/new-investment-in-successor-submarines> [posećeno: 27.12. 2013]

¹⁸ <http://www.diehl.com/en/nc/diehl-defence/press/successful-test-of-new-guided-missile-for-national-air-defence-1/6.html> [posećeno: 27. 12. 2013]

„Scenario“ bojnih gađanja bio je zamišljen tako da rakete budu lansirane na leteće mete DO DT-25 koje su simulirale niskoleteće ciljeve. Prema saopštenju proizvođača, obe rakete uništile su svoje ciljeve direktnim pogocima, čime je potvrđena projektovana preciznost sistema navođenja. Jedna od raketa pogodila je svoj cilj na daljini većoj od 20 kilometara.

Rakete Iris-T SL i lanseri za njih razvijaju se za potrebe modernizacije sistema protivvazdušne odbrane Savezne Republike Nemačke i izgradnju savremene strukture za protivvazduhoplovna dejstva Bundesvera koja bi omogućavala laku integraciju pojedinih elemenata, bešavnog povezivanja sistema za upravljanje vatrom putem standardizovanih interfejsova.

Kompanija Dil tvrdi i da bi usvajanjem Iris-T SL, nemačke oružane snage dobile savremen, jeftin i mobilan sistem koji bi predstavljao rešenje za celokupni sistem PVO srednjeg dometa, koji bi omogućavao dejstvo u krugu od 360 stepeni po avionima, helikopterima, krstarećim raketama i vođenim avio-bombama i raketama, uz mogućnost efikasnog istovremenog dejstva po više ciljeva na malim udaljenostima.

Mladen Tišma

Podmornica „Aleksandar Nevski“ ušla u operativnu upotrebu Ratne mornarice Rusije¹⁹



Druga podmornica tipa Borej nazvana „Aleksandar Nevski“, po novgorodskom knezu i pravoslavnom svecu, 23. decembra 2013. godine uvrštena je u sastav tihoookeanske flote Vojnopomorske flote Ruske Federacije.

¹⁹ <http://novosti.rs/vesti/planeta.299.html:469875-Podmornica-Aleksandar-Nevski-deo-borbenog-sastava-ruske-mornarice> [posećeno: 27.12.2013]; RIA novosti.

Na ceremoniji prijema u naoružanje, ruski ministar odbrane istakao je da zastava svetog Andreja (ruska vojnopomorska zastava), podignuta tom prilikom na jarbol podmornice, treba da simbolizuje spremnost na odbranu ruskih nacionalnih interesa na morima i okeanima sveta. Odmah nakon ceremonije podmornica je uzela učešća u manevrima tokom kojih je izvršeno i probno ispaljivanje rakete Bulava.

Čelna podmornica ovog tipa, nazvana „Jurij Dolgoruki“ ušla je u sastav ruske mornarice početkom godine. Podmornice tipa Borej duge su 170 metara, mogu da zarone na dubinu od 450 metara i da se zaronjene kreću brzinom od 54 milometra na čas, a kao primarno naoružanje nose šesnaest interkontinentalnih balističkih rakete tipa Bulava, od kojih svaka ima deset samostalnih nuklearnih bojevih glava. Podmornice tipa Borej prva su plovila ovakve vrste izgrađena nakon raspada SSSR-a i treba da zamene postojeće tipove Tajfun, Delta-3 i Delta-4, a očekuje se da svih osam plovila uđe u naoružanje do 2020. godine.

Mladen Tišma

Prvi let novog kineskog helikoptera Z-20²⁰



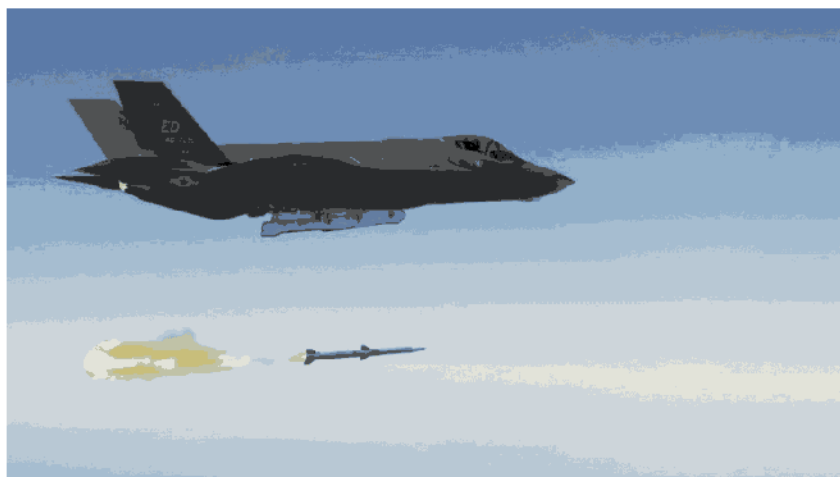
Prototip novog kineskog srednjeg helikoptera višestruke namene, pod oznakom Z-20, i sa evidencijskim brojem 20001, izveo je prvi let 23. decembra 2013. godine, na aerodromu u Nančangu, koji koristi Vazduhoplovna industrijska grupacija Hongdu (*Hongdu Aircraft Industry Group*). Iako su već nekoliko godina na vazduhoplovnim izložbama predstavnici ove kineske kompanije izlagali umanjenu maketu ovog helikoptera, projekat, započet još krajem 90-ih godina prošlog veka, ubrzan je tek po završetku rada na jurišnom helikopteru WZ-10 čiji je razvoj predstavljao visok prioritet za Kinesku narodnooslobodilačku vojsku. Nakon ulaska WZ-10 u serijsku proizvodnju tokom 2010. godine, inženjeri Hongdua ponovo su se posvetili radu na Z-20. Prototip je izgrađen tokom septembra i uz posebne mere maskiranja prevezen je putem do aerodroma za letna ispitivanja.

²⁰ www.airforcesdaily.com/2013/12/chinas-new-z-20-helicopter-makes-maiden-flight/ [posećeno: 27. 12. 2013]

Helikopter Z-20 spada u kategoriju desetotonaca, sa petokrakom elisom i četvorokrakim repnim rotorom, dok se o njegovim drugim taktičko-tehničkim karakteristikama i performansama za sada može samo špekulisati. Opšti utisak je da Z-20 veoma liči na američke helikoptere Sikorski S-70 Crni jastreb (*Sikorsky S-70 Black Hawk*), koji se uz ruske helikoptere iz familije Mi-17 nalaze u floti Vazduhoplovnog korpusa Kopnene vojske Kineske narodnooslobodilačke vojske. Verovatno će Z-20 upravo i zameniti ova dva tipa u ulozi transportnih helikoptera KoV.

Mladen Tišma

F-35 izveo prvo „živo“ lansiranje rakete AMRAAM²¹



Pretposlednjeg dana oktobra, iznad integrisanog opitnog poligona za razvoj aviona JSF u kalifornijskoj vazduhoplovnoj bazi Edvards (*Edwards AFB*), borbena avion F-35A iz sastava američkog ratnog vazduhoplovstva (USAF), kojim je pilotirao kapetan Logan Lamping, izvršio je prvo bojevo lansiranje rakete vazduh-vazduh srednjeg dometa tipa AIM-129 AMRAAM.

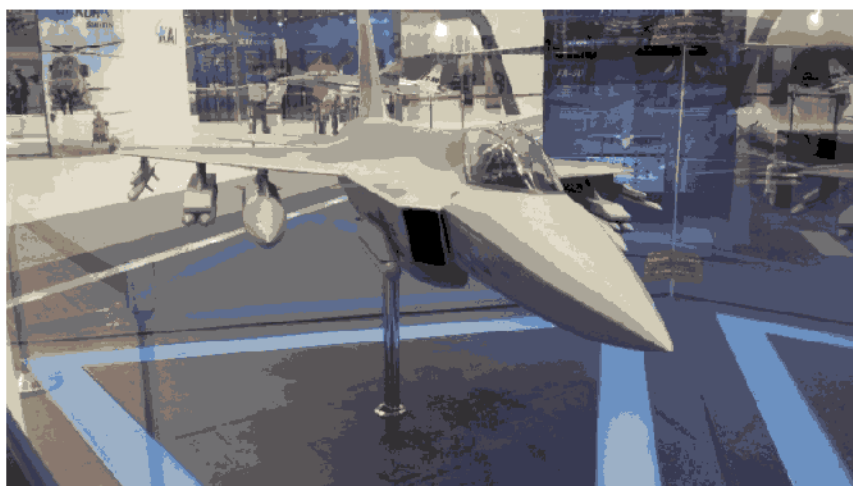
Raketa je lansirana iz bombaluka, smeštenog u trupu letelice, uspešno je zahvatila cilj i prešla u njegovo presretanje.

Pored toga, u tom periodu izvršeno je još nekoliko letnih ispitivanja ubojnih sredstava, pa je tako 29. oktobra jedan F-35B iz bombaluka na nepokretni tenk kao metu odbacio laserski vođenu avio-bombu GBU-12 *Paveway II*, a nekoliko dana ranije F-35A je sproveo zemaljsko ispitivanje odbacivanja gabaritno-težinskog modela avio-bombe GBU-39 SDB II, kalibra 113,4 kilograma. I verzija za baziranje na nosačima aviona – F-35C sprovedla je u mornaričkoj vazduhoplovnoj bazi u Merilendu prve testove odbacivanja ubojnih sredstava.

Mladen Tišma

²¹ www.janes.com/article/29337/f-35-conducts-first-amraam-live-fire-test [posećeno: 16. 11. 2013]

*Južnokorejski KAI prikazao maketu nove verzije
borbenog aviona KFX²²*



U nameri da ponovo pokrene zastali program, Korejska vazduhoplovna industrija (Korea Aerospace Industries – KAI) razvila je jednomotornu verziju koncepta domaćeg streljca KFX (Korean Fighter Xperiment). Prema rečima predstavnika kompanije, jednomotorna verzija, označena kao C501, predstavlja jeftinu opciju koja kombinuje elemente lakog lovca FA-50 koji je ušao u serijsku proizvodnju i dvomotornog tehnološkog demonstratora KFX, oznake C103, čiji tehnički razvoj okončan 2013. godine.

Program KFX pokrenut je 2001. godine i prvobitno je podrazumevao dvomotorni višenamenski borbeni avion sa karakteristikama smanjenog radarskog odraza. Pored razvoja prototipa C103, Južna Koreja ušla je 2011. godine i u ugovorni aranžman sa Indonezijom, kako bi podelila troškove njegovog razvoja, a postizanje početne operativne sposobnosti KFX/IFX bilo je planirano za 2023. godinu.

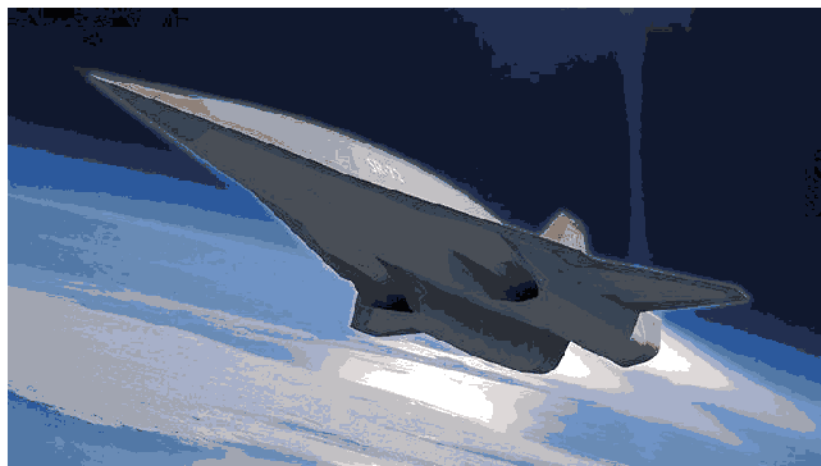
Međutim, budžetska ograničenja i zabrinutost u vezi s rizičnošću celog programa naveli su novu južnokorejsku vladu da početkom 2013. godine suspenduje program KFX/IFX. Nezvanično, razvojni rizik ogleda se u strelj konfiguraciji, što navodi vladu na potencijalno povećanje cene celog programa, iako je sam program novog aviona dobro zamišljen, te da bi trebalo pronaći „praktičnu“ alternativu. Prema očekivanjima KAI-a prototip C501 je upravo to.

Ključne razlike između C103 i naslednika u programu C501 su te da je C501 jednomotorni jednosed sa jednim vertikalnim stabilizatorom, koji koristi avioniku i avionske sisteme razvijene za FA-50. Takođe, C501 ne bi nosio ubojna sredstva u unutrašnjem spremniku, što dovodi u pitanje ispunjenost uslova malog radarskog odraza, budući da podvešavanje naoružanja na krila povećava radarski reflektujuću površinu letelice.

Mladen Tišma

²² IHS Jane's Defence Weekly, 6 November 2013, p. 6.

Lokidovi „smrdljivi poslovi“ predstavili SR-72²³



Početkom novembra 2013. godine američka kompanija Lokid Martin (*Lockheed Martin*) otkrila je detalje o svom dizajnu za SR-72 – hipersonični avion sa i bez ljudske posade za izviđačko-nadzorne zadatke i dejstva po ciljevima na kopnu i moru. Iako je vest privukla veliku pažnju u Sjedinjenim Državama, ali i svetu, ne treba zaboraviti svu kompleksnost letenja hipersoničnim brzinama i preprekama koji stoje na putu tome. Samo pojedini elementi predloženog SR-72 do sada su ispitani, u najvećoj meri kroz ispitivanja umanjenih modela, i to zahvaljujući sopstvenim sredstvima Lokida. Međutim, razvoj i izrada demonstratora koštaće i do jednu milijardu američkih dolara i zahtevaće finansiranje od strane američke vlade.

Od SR-72, već prozvanim „sinom Kosa“, prema čuvenom stratejskom izviđaču SR-71 *Blackbird*, očekuje se da leti brzinom šest Maha na visinama iznad 70.000 stopa, koliko iznosi plafon aviona U-2. Upravo u velikim brzinama inženjeri Lokida vide ključnu karakteristiku borbenih aviona budućnosti. Ulogu SR-72 Lokid vidi u zadacima izviđanja pokretnih ciljeva koji su predmet interesovanja američkog političkog vrha u situacijama kada vremenski okvir ima presudnu ulogu. S obzirom na iskustva iz Avganistana, gde se pokazalo i da promptno prikupljanje obaveštajnih podataka bez istovremenog vatrenog dejstva ili slične akcije često nije dovoljno za uspešno realizovanje postavljenog cilja, u Lokidu planiraju i mogućnost nošenja u trupu raketa i avio-bombi.

Kada je reč o upravljanju ovom letelicom, planira se i opcija ljudske posade, kada bi se letelica mogla koristiti pri brzinama ispod tri Mahova broja. Jedan od najznačajnijih koraka u daljem razvoju ovog aviona biće problem pogonske grupe i celog pratećeg sistema. U daljem razvoju SR-72 Lokidu će svakako dobro doći iskustva koja su stečena kroz ranije eksperimentalne programe kakav je bio npr. HTV-2.

Mladen Tišma

²³ *IHS Jane's Defence Weekly*, 13 November 2013, p. 6;
<http://www.lockheedmartin.com/us/news/features/2013/sr-72.html> [posećeno: 29. 12. 2013]

Indijski DRDO prikazao taktički balistički raketni sistem z-z *Pragati*²⁴

Indijska Organizacija za odbrambena istraživanja i razvoj – DRDO (*Defence Research and Development Organisation*) prikazala je na izložbi ADEX 2013 unapređenu verziju svog balističkog raketnog sistema *Prahaar*, pod oznakom *Pragati*. Radi se o sistemu koji se može porediti sa Lokidovim ATACMS-om.



Pragati predstavlja raketni sistem zemlja-zemlja sa jednostepenim balističkim projektilom na čvrsto gorivo. Raketa ima dolet između 60 i 170 kilometara, a cilj pogađa sa greškom od 10 metara.

Novi sistem deli 95% komponenti sa svojim prethodnikom koji je, takođe, razvijen za potrebe indijske Kopnene vojske, a Indijci tvrde da se radi o sistemu u potpunosti razvijenom u domaćim firmama i sa potpuno domaćim komponentama. Standardizacija takođe obuhvata lansimo vozilo i kontejnere za smeštaj raketa.

Dužina rakete iznosi 7,3 metra, prečnika 420 milimetara i mase od 1.280 kilograma. Vrhunac leta raketa dostiže na 35 kilometara, a vreme leta do cilja udaljenog 140 kilometara iznosi oko 250 sekundi.

U DRDO smatraju da novi raketni sistem pokriva polje primene između VBR-ova tipa *Pinaka*, koji imaju dolet od 40 kilometara i taktičkih balističkih raketa *Prithvi*.

Mladen Tišma

*Sikorski dobio ugovor za razvoj eksperimentalne letelice sa vertikalnim poletanjem i sletanjem*²⁵

Tehnološko-razvojni sektor korporacije Sikorski (*Sikorsky Innovations, Sikorsky Aircraft Corporation*) objavio je 12. decembra da je ta firma dobila ugovor sa američkom Agencijom za napredne istraživačke projekte u oblasti odbrane – DARPA za prvu fazu programa razvoja eksperimentalnog aviona sa vertikalnim poletanjem i sletanjem *VTOL X-Plane*. Posao vredan 15 miliona američkih dolara podrazumeva izradu



²⁴ *IHS Jane's Defence Weekly*, 6 November 2013, p. 8.

²⁵ www.airforcesdaily.com/2013/12/sikorsky-wins-darpa-vtol-x-plane-development-contract/ [posećeno: 26. 12. 2013]

preliminarnog koncepta za *VTOL X-Plane*, kao aviona velike brzine sa mogućnošću vertikalnog poletanja i sletanja, kao i sposobnosti lebdenja poput helikoptera.

„Sikorski inovacije“ udružio je snage sa Lokid-Martinovim „smrdljivim poslovima“ (*Lockheed Martin Skunk Works*) za ovaj posao, razvijajući koncept poznat kao *Unmanned Rotor Blown Wing*. Pod *Rotor Blown Wing*-om podrazumeva se jedinstvena integracija aerodinamike fiksnog avionskog krila i napredne kontrole rotora, što bi, prema projektantima, obezbedilo manje složenu konfiguraciju, ali sposobnu da zadovolji visoko postavljene zahteve DARPA-e.

Cilj programa je izgradnja i letna ispitivanja aviona-demonstratora, a budući da je vremenski okvir ugovora za prvu fazu projekta ograničen na 22 meseca, prvi let očekuje se u prvom kvartalu 2017. godine. „Sikorski inovacije“ vodiće projekat u svom tekšaškom birou u Fort Vortu (*Fort Worth, Texas*), ali će na njemu biti angažovani i stručnjaci firme iz drugih centara. Kada je u pitanju saradnja sa drugim partnerom, Sikorski i Lokid imaju dugu tradiciju zajedničkih projekata poput rada na razvoju proizvodnji i održavanju mornaričkih helikoptera SH-60B i MH-60R/S, razvijanju predsedničkog helikoptera na bazi S-92, kao i zajednički nastup na konkursu za helikopter za borbeno traganje i spasavanje za potrebe američkog vazduhoplovstva. Jedan od zadataka Lokidovog sektora, pored razvoja početnog koncepta, biće i da ispita mogućnosti plasmana letelice na tržištu.

Očekuje se da ceo *VTOL X-Plane* program traje 52 meseca i košta 130 miliona američkih dolara, i rezultira letelicom sposobnom da leti brzinama preko 555 kilometara na čas, sa efikasnošću lebdenja od 75% ili više, te odnosa između potiska i otpora profila od 10 ili više.

Istovremeno, „Sikorski inovacije“ nastavlja rad i na drugim razvojnim projektima, pre svih na demonstratoru združenog višenamenskog helikoptera X2 *Defiant*, na kojem je primenjena tehnologija koaksijalnih krutih rotora.

U međuvremenu DARPA je sa Aurorom takođe zaključila ugovor za prvu fazu ovog programa.

Mladen Tišma

Prvi let jordanskih aviona-topovnjača CN235²⁶

Američka firma Alliant Techsystems – ATK započela je, početkom decembra, letna ispitivanja dva aviona *Airbus Military CN235* koji su, za potrebe Jordanskog kraljevskog ratnog vazduhoplovstva (*Royal Jordanian Air Force*) iz transportnih konvertovani u avione-topovnjače.



Sistemi naoružanja na konvertovanim CN235 obuhvataju Lokid-Martinove (protivoklopne) rakete vazduh-zemlja AGM-114 *Hellfire* (*Hellfire*), sačaste lansere nevođenih ra-

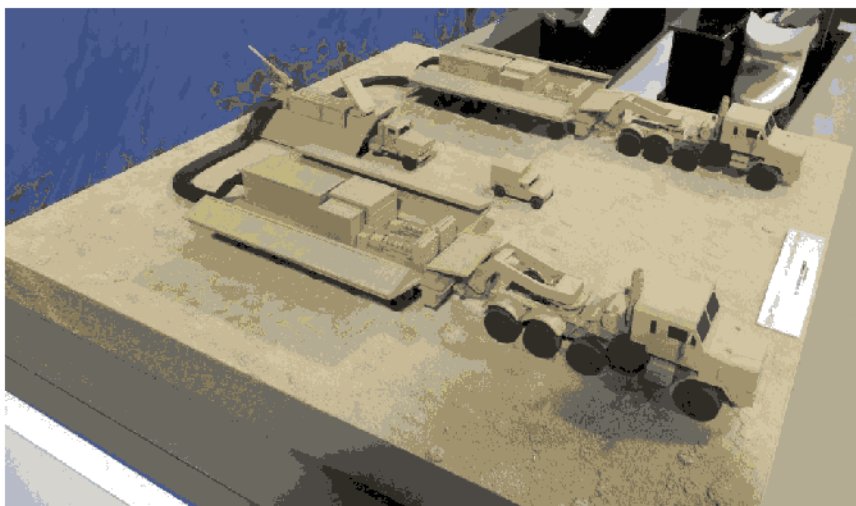
²⁶ www.janes.com/article/31163/first-flight-for-converted-jordanian-cn235-gunships [posećeno: 14. 12. 2013]

ketnih zrna kalibra 70 mm (verovatno američke Hidre) i topove kalibra 30 mm tipa M230 koji se koriste i na jurišnim helikopterima AH-64 Apač. Pored naoružanja, paket modifikacije obuhvata i sisteme za samozaštitu, elektro-optičke i infra-crvene nišanske sisteme, laserske obeleživače cilja i radar.

Konverzija ova dva CN235 samo je deo napora jordanskih vazduhoplovnih snaga da pojačaju svoje sposobnosti za dejstva iz vazdušnog prostora. Pored ovog projekta, početkom 2013. godine Jordan je kao donaciju od UAE dobio dva laka borbena aviona *Air Tractor AT-802 Block 1*, uz još četiri nenaoružana aparata koje će opremiti o sopstvenom trošku. Takođe, nabavljeno je i osamnaest helikoptera AH-6i i šest Cesninih C208B modifikovanih u C4ISR.

Mladen Tišma

Dženeral atomiks prikazao svoj EMRG top²⁷



Korporacija „Dženeral atomiks“ (*General Atomics*) predstavila je kopnenu artiljerijsku verziju svog elektromagnetnog šinskog topa (EMRG *railgun*) Blicer (*Blitzer*) tokom izložbe AUSA 2013, održane u Vašingtonu. Tom prilikom predstavnici kompanije izrazili su uverenje da bi njihov koncept, uz odgovarajuće finansiranje, mogao da bude spreman za proizvodnju u roku od dve do tri godine.

Blicer je započet 2007. godine kao program američke Kancelarije za mornarička istraživanja sa ciljem razvoja tehnologija potrebnih za pokretanje programa na razvoju futurističkog šinskog topa za potrebe Ratne mornarice SAD, a koji danas vode BAE sistemi i Boing. Naime, i pored opitovanja „Dženeral atomiksovog“ projekta tokom 2010. godine i ispitivanja projektila pri 5 Maha, američka mornarica odlučila se za veće oruđe. U međuvremenu kompanija je odlučila da ponudi svoj projekat u vidu kopnenih, brodskih i podmorničkih varijanti. Prikaza-

²⁷ *IHS Jane's Defence Weekly*, 30 October 2013, p. 8.

na kopnena verzija može da ispaljuje projekte na daljine do osamdeset kilometara. Konstruktori u njoj vide i sistem koji bi mogao da ima ulogu u protivvazduhoplovnoj odbrani i dejstvu protiv baterija neprijateljske artiljerije. Takođe, postoji i ograničena sposobnost ispaljivanja balističkih projektila kratkog dometa.

Prema izjavama zvaničnika kompanije, glavna tehnološka prednost ovog sistema ogleda se u smanjivanju električnih kondenzatora za četiri puta, odnosno na dve šleperske prikolice.

Mladen Tišma

I Aurora dobila ugovor za prvu razvojnu fazu programa VTOL X-Plane²⁸



Nekoliko dana po objavljivanju informacije da je razvojni deo Sikorskog od DARPA-e dobio ugovor za prvu fazu razvoja eksperimentalnog aviona sa vertikalnim poletanjem i sletanjem – *VTOL X-Plane*, objavljeno je da je i kompanija Aurora (*Aurora Flight Sciences*) dobila ugovor za ovu fazu. Ugovor sa Aurorom je za milion dolara manji od onog koji je zaključen sa Sikorskim i iznosi 14 miliona američkih dolara.

Prema ugovoru prva faza programa *VTOL X-Plane* podeljena je u dva dela. U prvom delu IA koji traje šest meseci projektanti će pristupiti izradu konceptualnog dizajna letelice, dok će u delu faze poznatom kao IB raditi na preliminarnom projektu i tehnologiji. Drugi deo prve faze trajaće šestnaest meseci. Ukupni raspoloživi budžet za prvu fazu iznosiće 47 miliona američkih dolara.

Mladen Tišma

²⁸ www.airforcesdaily.com [posećeno: 26. 12. 2013]

Erbas pružio više detalja o novom protivpožarnom avionu²⁹

Vojna podružnica evropskog vazduhoplovnog giganta Erbas (*Airbus Military*) saopštila je da je uspešno okončala drugu fazu ispitivanja prototipa svog protivpožarnog aviona EC-295, nastalog konverzijom poznatog transportnog aviona C295 istog proizvođača.

Prema rečima Erbasovih zvaničnika, ispitivanja koja su obavljena na poligonu kod španskog grada Kordobe zadovoljila su očekivanja i u narednim nedeljama počće sledeća, detaljna faza opitovanja na osnovu čijih rezultata će se doneti konačna odluka o konfiguraciji budućeg protivpožarnog aviona.

Tokom ispitivanja avion je nosio rezervoar za vodu kapaciteta 3.500 litara, a voda je ispuštana kroz dva dispanzera na stomaku letelice uz pomoć gravitacije. U planiranoj konfiguraciji avion će moći da ponese dva takva rezervoara uz primenu *roll-on/roll-off* sistema, što bi omogućilo da se letelica koristi i kao transportni avion. Time bi se značajno smanjili troškovi korisnika i povećala efikasnost letelice.

Predstavnici kompanije planiraju intenzivnije razgovore sa potencijalnim kupcima, uvereni da budžetska ograničenja sa kojima se suočavaju mnoge zemlje i njihove oružane snage obezbeđuju veliki potencijal za uspešan plasman aviona koji zadovoljava i transportne i protivpožarne potrebe korisnika.

Mladen Tišma

Sjedinjene Države objavile predlog naoružanja i opreme za rumunske F-16A/B³⁰

Nakon odluke Rumunije da za potrebe znavljanja borbene avijacije kupi dvanaest polovnih portugalskih lovaca-bombardera F-16A/B block 15 *Fighting Falcon* (od toga devet jednoseda i tri dvoseda za obuku), od Sjedinjenih Država zatražena je prodaja naoružanja i opreme kako bi se ti avioni modernizovali pre ulaska u operativnu upotrebu u vazduhoplovnim snagama Rumunije. Američka Agen-



²⁹ www.airforcesdaily.com/2013/12/airbus-military-reveals-more-on-c295-fire-fighter/ [posećeno: 26. 12. 2013]

³⁰ www.airforcesdaily.com/2013/11/us-details-proposed-equipment-for-romanian-af-f-16abs/ [posećeno: 26. 12. 2013]

cija za saradnju u oblasti odbrane i bezbednosti – DSCA obavestila je američki Kongres o poslu vrednom 457 miliona američkih dolara koji obuhvata prodaju: 13 inercijalno-navigacijskih sistema sa ugrađenim sistemima za globalno pozicioniranje i uređajima za GPS bezbednost, 3 podvesnika za elektronske protivmere AN/ALQ-131, 30 raketa vazduh-vazduh srednjeg dometa tipa AIM-120C AMRAAM zajedno sa pet nastavnih, 60 raketa vazduh-vazduh kratkog dometa AIM-9M *Sidewinder* i četiri nastavne za potrebe obuke, 48 lansiranih uređaja tipa LAU-129, deset vođenih avio-bombi GBU-12, 18 vođenih raketa AGM-65H/KB *Maverick* (*Maverick*) i četiri nastavne jedinice, 15 višefunkcionalnih sistema za distribuciju informacija sa terminalima i dva sistema za distribuciju informacija za potrebe zemaljske podrške i vazduhoplovnotehničkog obezbeđenja.

Pored toga, ugovorom su obuhvaćeni i rezervni delovi, usluge opravke pojedinih komponenti, integracija potrebnih softvera, ispitivanje opreme, vazduhoplovnotehnička uputstva, obuka letačkog i vazduhoplovnotehničkog osoblja i oprema za to, kao i drugi elementi logističke podrške.

Očekuje se da nakon modernizacije prvi avioni F-16 uđu u sastav rumunskog ratnog vazduhoplovstva 2016. godine, a da eskadrila postane operativna godinu dana kasnije.

Mladen Tišma

Rusija kreće u razvoj lakog frontovskog lovca³¹



Ruska Federacija krenuće u razvoj lakog frontovskog lovca nove generacije koji bi zamenio postojeće avione tipa MiG-29 i uz flotu Suhoja T-50 PAK-FA, kao budućeg osnovnog borbenog aviona ruskih Vojno-vazduhoplovnih snaga (VVS) zadovoljio formacijske potrebe VVS.

Od novog aviona očekuje se da bude jeftin za razvoj, proizvodnju, nabavku i operativnu upotrebu, te da, premda slabiji od PAK-FA, bude potentan sekundarni borbeni avion u arsenalu VVS. Razvoj novog aviona i njegovo uključanje u državni program nabavki NVO potvrdio je i Dimitrij Rogozin u saveznom parlamentu. Inače, postojeći planovi podrazumevaju ojačanje flote T-50 borbenim avionima tipa Su-30SM i Su-35. Laki frontovski lovac bi VVS-u obezbedio uravnotežen inventar borbenih aviona.

³¹ www.janes.com/article/31483/russia-to-develop-new-lightweight-fighter-aircraft [posećeno: 14. 12. 2013]

Pored nabavke od strane ruskih VVS, novi lovac koji još nije dobio oznaku biće ponuđen i na svetskom tržištu, pre svega onim državama koje nemaju potrebe ili novca za nabavku aviona kakvi su Evrofajter Tajfun ili Su-30.

Za sada nisu poznati detalji u pogledu taktičko-tehničkih karakteristika budućeg aviona, ali se špekuliše da će se raditi o jednomotorcu u klasi Gripena, Tejasa i FA-50, kao i da će dobar deo avionike, naoružanja, potencijalno pogonske grupe i druge opreme razvijene za PAK-FA naći svoju primenu i na novom lovcu, što će doprineti i unifikaciji. S obzirom na to da, prema trenutnim planovima, PAK-FA treba da uđe u naoružanje VVS tokom 2016. godine (iako pojedini zapadni analitičari to ocenjuju preoptimističnim), budući laki frontovski lovac može se očekivati oko 2020. godine.

Mladen Tišma

Počela letna ispitivanja integracije krstareće rakete na Evrofajter³²



Krajem novembra 2013. godine Alenia Aermaki (*Alenia Aermacchi*) otpočela je na Sardiniji letna ispitivanja integracije krstareće rakete *Storm Shadow* na borbene avione Evrofajter Tajfun (*Eurofighter Typhoon*). U projektu učestvuju i partneri na programu Evrofajter.

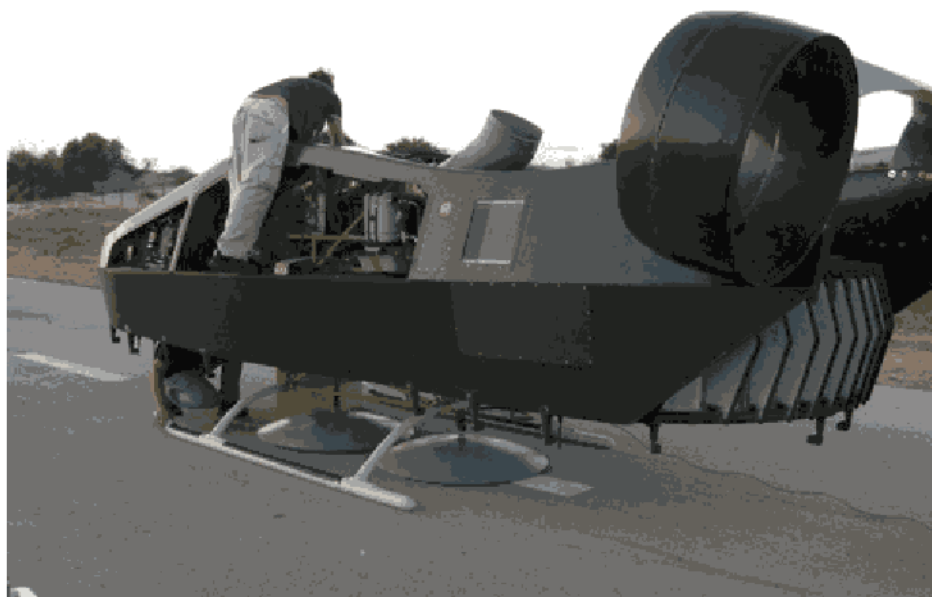
Za opitovanja se koristi modifikovani avion IPA2, modernizovan na nivo P1E, dok će novi projektil biti integrisan u okviru paketa P2E, čime će se značajno pojačati borbene mogućnosti Evrofajtera u dejstvima iz vazdušnog prostora.

Raketa *Storm Shadow* ima konvencionalnu bojevu glavu i već je uvedena u naoružanje italijanskog i britanskog vazduhoplovstva, u kojima trenutno mogu da je nose avioni Tomado, a namenjena je za dejstvo sa distance (*stand-off*) po visoko važnim ciljevima kao što su lučka postrojenja, aerodromi, fortifikacije, vatreni položaji RJ z-z, mostovi i čvorišta veze. Pogonjena je turbomlaznim motorom, ima masu od približno 1.300 kilograma i dužinu od oko pet metara. Domet projektila prelazi 250 kilometara.

Iako se očekuje da raketa uđe u upotrebu tokom 2015. godine u okviru modernizacijskog paketa P2E, Saudijska Arabija navodno vrši pritisak kako bi integracija projektila za njene avione bila izvršena tokom 2014. godine.

Mladen Tišma

³² www.airforcesdaily.com/2013/11/first-storm-shadow-flight-test-on-eurofighter/ [posećeno: 26. 12. 2013]

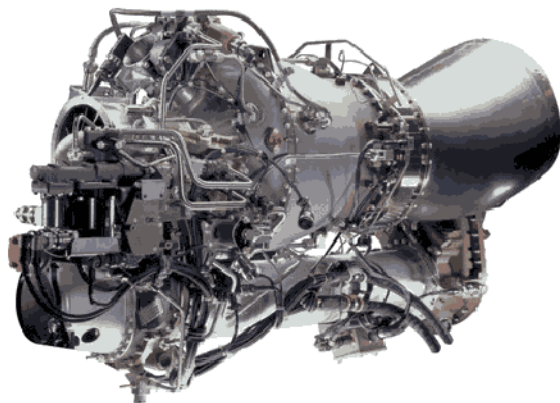
Izraelska bespilotna transportna vazдушna mula³³*„AirMule“, izraelski bespilotni transporter dvojne namene*

Kada je 18. decembra 2013. godine pres služba kompanije „Taktička robotika“ (Tactical Robotics Ltd.) iz Izraela objavila saopštenje za javnost da je njena filijala „Urban aeronautika“ (Urban Aeronautics, Ltd.) završila poslednju fazu testiranja „bespilotne vazdušne mule“ u laboratorijskim uslovima, bila je to prekretnica u razvoju bespilotnih transportnih vazduhoplova. Naime, to je prvo bespilotno vozilo, izuzev helikoptera, koje je namenjeno za transport. Pri tome, informacije radi, poznato je kopнено robotsko četvoronožno transportno vozilo tipa MULE,³⁴ kasnije preimenovano u projekat LS3 (Legged Squad Support System), koje je razvila kompanija „Boston dajnamiks“, a koju je krajem 2013. godine kupila čuvena informatičko-tehnološka firma „Gugl“ (Google).

³³ AirMule unmanned VTOL aircraft flies towards full mission demonstration By Ben Coxworth, December 19, 2013, GIZMAG:http://www.gizmag.com/tactical-robotics-airmule-vtol/30196/?utm_source=Gizmag+Subscribers&utm_campaign=45df555ecf-UA-2235360-4&utm_medium=email&utm_term=0_65b67362bd-45df555ecf-76697163

³⁴ Iako pojam MULE asocira na tovarnu životinju koja se koristi u planinskim i drugim jedinicama koje dejstvuju na teže prohodnom terenu, to je skraćenica za „višenamenska upotrebljiva saobraćajna sredstva za logistiku i opremu“ (Multifunction Utility/Logistics and Equipment Vehicle). Reč je, pre svega, o robotskim vozilima (bez vozača) kojima se upravlja sa daljine. Takva vozila upotrebljiva su za prevoz opreme, municije, goriva, rezervnih delova i druge logističke zadatke.

„Vazдушna mula“ (AirMule) jeste bespilotna VTOL letelica sa vertikalnim poletanjem i sletanjem (vertical take-off and landing). Tokom 2013. godine potpuno su završeni automatski testovi letelice, proverena je pouzdanost sistema za poletanje i sletanje u različitim uslovima, posebno u urbanim sredinama, i stvoreni su preduslovi da se u 2014. godini nastavi sa opitnim letovima i upotrebom u stvarnim situacijama.



Jedan od modela motora „Turbomeca Arijel“, kakvi se koriste na mnogobrojnim helikopterima i drugim letelicama

Teška skoro jednu tonu, letelica je jedinstvena u odnosu na postojeće vazduhoplove koji poleću i sleću na VTOL principu i nema izložene rotore. Poletno-sletni motori ugrađeni su u telo letelice, osim dva rotora za manevrisanje i pogon po pravcu koji se nalaze iznad izduvnih rešetki na zadnjem delu vazduhoplova. VTOL pogon omogućava da ova letelica može da se kreće u vazдушnom prostoru koji je zabranjen za bilo koju drugu vrstu aviona.

Visinu iznad tla kontrolišu i održavaju dva laserska visinomera, a naredni model imaće „pojačane“ kontrole razdaljine od letelice do tla pomoću radarskog visinomera za let u prašnjavim uslovima. Tačna pozicija održava se kroz objedinjavanje podataka na računaru koji koristi i GPS signal, inercione žiroskope i optički sistem koji markira objekte na terenu. Računar pomoću senzora stvara mapu terena prema kojoj prikazuje položaj vozila u prostornoj dimenziji.

Ovu poveću bespilotnu letelicu pokreće jedan turbolift motor tipa „turbomeca arijel“ (Turbomeca Arriel) 1x1 koji može da proizvede 559 kV potisne snage i prenosi pogonsku snagu na prednji i zadnji rotor, kao i bočne pogonske rotore, preko niza menjača i pogonskih osovina. Lopatice ispod i iznad omeđene su bočnim prstenom i proizvode čiste bočne sile za manevrisanje u gradskim ulicama ili pošumljenom terenu. Potrošnja goriva je 150 kg po satu, u zavisnosti od njegove brzine, a koristan teret za jednočasovnu misiju biće oko 400 kg.

Letelica koristi tehnologiju nazvanu „fancraft“, odnosno princip usmerenog potiska vazduha ventilatorskim propelerima (modified ducted-fan). Ova tehnologija se razvija već više od pola veka i vodeća je ideja za konstrukciju vazdušnog džipa.³⁵ Pored

³⁵ Fancraft™ look a lot like the 'flying jeeps' from the 60's. What happened to them?, Tactical robotics: <http://www.tactical-robotics.com/category/faq> (Pristupljeno 22. 12. 2013. g.).

toga vozilo ima jasno definisan akustični potpis (određen nivo jačine ili pritiska zvuka u dBA) koji beleži mikrofona kalibrisan da ne dozvoli povećanje u odnosu na standardne helikoptere ili druge letelice sa vertikalnim poletanjem i sletanjem.

Početkom 2013. godine težište opitovanja letelice bilo je na nosivosti, stabilnosti tokom leta i smanjenju buke. Na daljim probnim letovima tokom 2013. godine testirane su letne osobine. Rezultat su novih šest lopatica rotora, čime je dobijeno mnogo veće opterećenje prema FPU standardu za propelere. Naime, da bi se proverila jačina lopatice izrađena je sekcija propelera sa više vrsta aerodinamičnih oblika. Inženjeri su razlikovali elise po sečivu vazduha, koji su nazivali i „nož“. Proizvedeno je 12 kompozitnih lopatica rotora za dva potisna motora. Novi rotori imaju isti prečnik kao originalni, četiri seta oštrica, a očekuje se da to poveća nosivost za 200 kg. Unutrašnje lopatice rotora su postavljene u telu letelice (za razliku od pogonskih rotora sa strane zadnjeg dela vozila), što treba da omogući letelici da sleti na „tesnom“ ili neravnom terenu, na prostor između vegetacije ili zgrada u naselju, gde bi otvorene lopatice (kakve imaju helikopteri) mogle da se oštete pri dodiru sa objektima ili bi predstavljale opasnost za ljude u blizini.

Testovi su pokazali da je moguće postići i dva puta veće centrifugalno opterećenje. Dodatni letovi i testiranje planirani su sa drugim prototipom u izgradnji. Propeleri imaju po šest definisanih uglova obrtanja osovine, što omogućava polaganje, ako je ugao 90 stepeni u odnosu na podlogu, i kretanje ukoliko je ugao osovine u nekom od položaja od 0 do 60 stepeni.



Bespilotna letelica „AirMULE“ testira se na poligonu gde je označen marker prema kojem se proveravaju njene letne i druge sposobnosti

Većina testiranja imala je za svrhu da poboljša sekvencu automatskog polaganja i sletanja, što je osnovni preduslov za nastavak letnih provera 2014. godine. Letelica je tokom testiranja privezana sigurnosnom žicom, dovoljno dugom da omogući let na kraju piste. Puna sekvenca testa je let do kraja piste, zaustavljanje, okretanje za 180 stepeni u lebdenju i povratak nazad do tačke polaska, sa konačnim sletanjem na marker koji se nalazi na terenu.

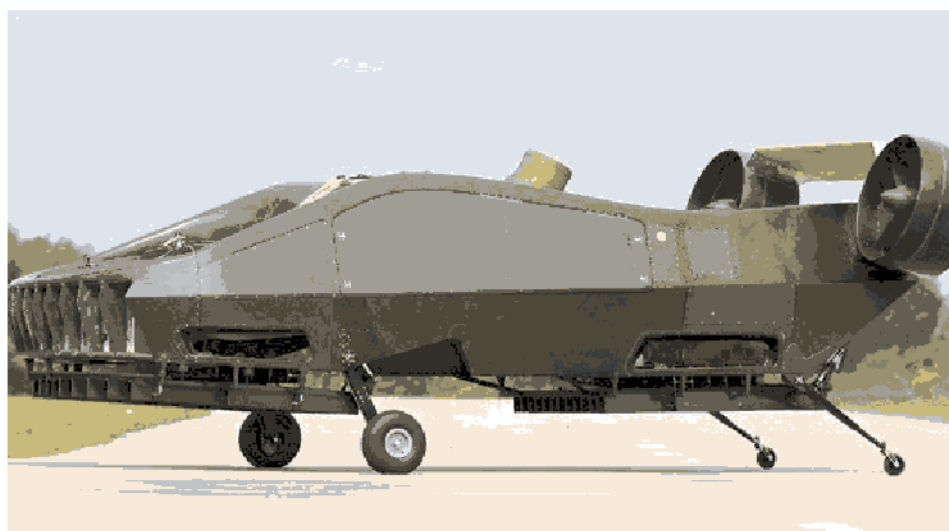
Dužina ove letelice je 6,2 m, širina 2,3 m i visina 3,5 m. Masa letelice čiji je oblik dizajniran tokom 2012–2013. godine iznosi 770 kg. Ona, inače, može da nosi teret do 640 kg, ima potencijalnu maksimalnu brzinu od 180 km/h, a dostiže visinu do 3.658 m. Još 2009. godine mogla je da postigne maksimalnu brzinu leta 200 km/h. Može da sleti i poleti sa površine od 40 kvadratnih metara. Maksimalna izdržljivost iznosi između dva i četiri sata. Maksimalna težina pri poletanju je 1.088 kg.

Planirano je da se letelica izloži i predstavi na aeromitingu u Buržu 2014. godine, nakon što bude prihvaćena od Ministarstva odbrane Izraela, kao sredstvo koje je ušlo u redovnu upotrebu oružanih snaga, policije i nekih specijalnih službi (spasilačke, za prvu pomoć u ratnim okršajima, protivterorističkim dejstvima i sl.). „Vazdušna mula“ razvijena je za prevoz tereta, medicinsku evakuaciju i snabdevanje trupa u borbenim aktivnostima. To što nema kabinu za pilota omogućilo je da se poveća prostor za prevoz ranjenih vojnika.

Namena

Izraelske odbrambene snage smatraju da se ova letelica može koristiti za evakuaciju ranjenih vojnika iz borbenih zona, odnosno za logističke namene, od snabdevanja naoružanjem, municijom i drugim artiklima za borbene potrebe jedinica na terenu, i to mnogo uspešnije nego kamionima ili helikopterima.

Dosadašnji rezultati testiranja se povremeno razlikuju, ali su pokazali da je nosivost 426 kg,



UAV „vazdušna mula“ teži oko 635 kg i maksimalna masa pri poletanju je 1.130 kg
(Photo: Urban Aeronautics)

Letelicom može da se upravlja ručno iz glavne kontrolne stanice GCS (General control station), a predviđena je i mogućnost planiranja autonomnog režima pomoću računara. „AirMule“ će bezbedno sleteti uprkos komunikacionim greškama. Za upravljanje se koriste četiri kanala, na osnovu inercijalnih podataka sa senzora i žiroskopa, GPS, dva laserska visinmera i kamera. U letelici je čak 460 senzora koji šalju podatke u realnom vremenu do zemaljske stanice, odnosno operatera koji mu omogućuju da prate rad motora i podсистema. Podsystemi uključuju tri menjačke kutije, dva glavna rotora za poletanje i održavanje visine, dva za pogon i usmeravanje pravca, te još tri dolazna i odlazna kanala za komunikacije.

Pored toga, ova bespilotna letelica opremljena je infracrvenim senzorima i sa dva laserska senzora za praćenje visine leta. Radari prate pokretne i nepokretne objekte na tlu.

Podaci dobijeni senzorima prenose se do glavne kontrolne jedinice GCU, odnosno računara, koji na osnovu primljenih informacija proračunava položaj u vazduhu i prikazuje poziciju letelice u matrici prostora. Matrica prostora je u opitnim uslovima definisana položajem orijentira (markera) postavljenog na tlu poligona. GCU prati telemetrijske podatke koje su isporučili senzori UAV, koristeći komunikacione uređaje za prijem dolaznih i slanje odlaznih signala, do kontrolne stanice.

Takođe, izraelski vazduhoplovni stručnjaci testiraju i bespilotni helikopter „pikador“ (Picador vertical take-off and landing unmanned aerial vehicle). Razvijen je za pomorske i kopnene vojne snage. Može da ponese teret mase 180 kg, autonomnost mu je do 8 časova leta, pri brzini do 200 km/h.



Umetnička vizija korišćenja „vazdušne mule“ za prevoz ranjenika u urbanim dejstvima

Upravljački kompjuterski sistem za „vazdušnu mulu“ prikazan je još 2009. godine na pariskom vazduhoplovnom mitingu. Međutim, nema mnogo podataka o kojim kompjuterima i njihovim karakteristikama je reč. U jednoj od studija koje razmatraju pitanje upravljanja bespilotnim sistemima³⁶ napominje se da se koristi usavršena informatičko-komunikaciona tehnologija (ICT), zasnovana na veštačkoj inteligenciji u kombinaciji sa ljudskim operaterima za većinu vojnih robotizovanih uređaja. Međutim, na osnovu analogije sa poznatim činjenicama može se zaključiti nekoliko načelnih stavova. Prvo, Izrael ima u svom naoružanju skoro četrdesetak modela bespilotnih letelica, od strategijske do taktičke namene. Za sve njih postoje razrađeni sofisticirani upravljački sistemi, uvezani u mrežu taktičkog komandovanja. Ne treba sumnjati da su najbolje osobine tih sistema iskorišćene u projektu „AirMule“. Drugo, poznato je da je izraelska proizvodnja informatičko-komunikacione tehnologije među vodećima u svetu i to je ozbiljan argument da su za upravljanje sistemom „višenamenske logističke platforme sa opremom i alatima“ (Multi-role Utility Logistics Equipment platform) iskorišćeni potencijali kojima raspolaže ta razvojno-proizvodna struktura. Naravno, moglo bi se reći i da saradnja izraelskih vojnih stručnjaka sa naučnicima iz američke agencije za odbrambene istraživačke projekte DARPA garantuje nove ideje i koncepte, već primenjene u vojnoj praksi. I, na kraju, treba imati u vidu da je Izrael neprekidno izložen vojno-političkom pritisku i da njegova vojna snaga treba da bude spremna na izazove koje nosi „ratoborno“ okruženje. Rešenje se, svakako, nazire pre svega u politici „koegzistencije“, ali i u savremenoj naučnoistraživačkoj delatnosti za vojne potrebe. Odatle i naziv kompanije „Tactical Robotics Ltd“, koja razvija i unapređuje, pored ostalih, i robotske borbene sisteme.

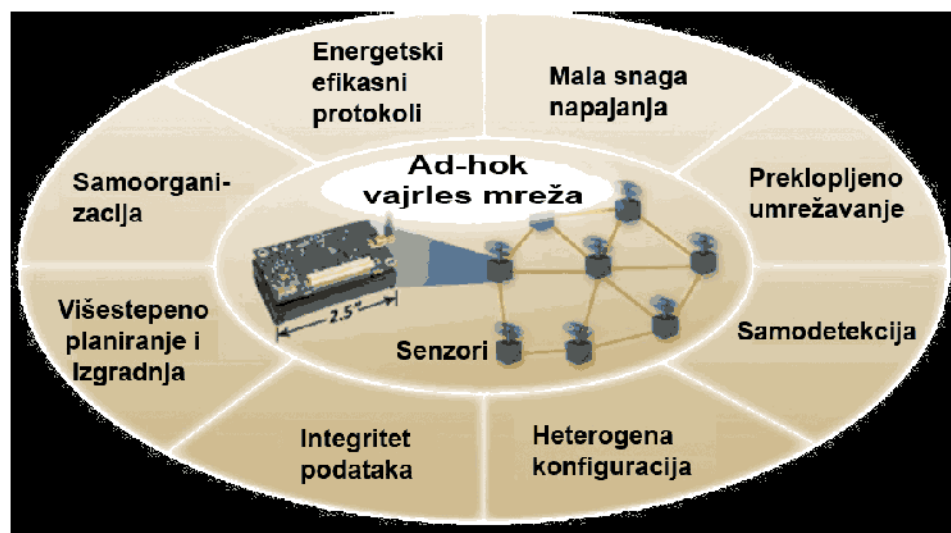
Elektronski časopis „Gizmag“,³⁷ u svom decembarskom broju 2013. godine, proglasio je „vazdušnu mulu“ bespilotnom letelicom godine. Na drugom mestu je „vilin konjic“ (Draganflyer) X4-ES kvadrokopter sa kamerama za snimanje, na trećem „eksperimentalna letelica sa gorivnim ćelijama XFC (eXperimental Fuel Cell Unmanned Aerial System), koja se lansira sa podmornice. Na četvrtom je „Amazonov“ kvadrokopter (Amazons Prime Air) za dostavu porudžbina kupcima umesto motociklima ili brzim vozilima. Peto mesto zaizima lovac dronova „nebeski Džek“ (SkyJack), načinjen od prvobitne verzije „papagaja“ (Parrot), predstavljenog na sajmu informatičkih tehnologija CEBIT, 2011. godine u Hanoveru. U njega su hakeri ugradili mali računar „malina Pi“ (Raspberri Pi) što je, u stvari, minijaturni potpuno programiran kompjuter (PC) koji koristi besplatni open source Linux operativni sistem. To je, u stvari, letelica „pirat“. Taj dron može da traga za bežičnim komandnim signalima drugih bespilotnih letelica, zamenjuje ih, a zatim ih pretvara u „kontrolisane trutove“, koji potom izvršavaju komande koje operater prosleđuje preko SkajDžeka.

Nikola Ostojić

³⁶ Unmanned Technology – The Holy Grail for Militaries? by ME5 Calvin Seah Ser Thong, ME5 Tang Chun Howe and ME4 (NS) Lee Weiliang Jerome.

³⁷ „Gizmag, New and Emerging Technology News“, u tekstu: 2013. godina dronova (2013: The year of the drone), proglasio je „vazdušnu mulu“ jednom od bespilotnih letelica godine, <http://www.gizmag.com/year-drone-2013/30102/> (pristupljeno 2. januara 2014. g.).

Senzorski monitoring kopnenog prostora



Osnovne karakteristike senzorskih ad hok vajrles mreža

U armijama velikih zemalja, još od šezdesetih godina prošlog veka, na brojnim ratištima korišćeni su zemaljski senzori i detektori koji otkrivaju kretanje vozila i ljudi. Senzorska tehnologija menjala se u skladu sa napretkom nauke, da bi vrhunac dosegla početkom druge decenije 21. veka. Tada je informatička i nanotehnologija učinila snažan iskorak u minijaturizaciji te vrste senzora, čineći ih višefunkcionalnim uređajima koji su u stanju da detektuju kretanja u zoni obuhvata senzorskim poljem, te da se samostalno povežu u informatičku mrežu. Mreža omogućava detekciju promena na većem prostoru i prenošenje podataka do operativnog centra za kontrolu teritorije. Takva konfiguracija može da se koristi kao stalno osiguranje objekata i površine zemljišta, ali i za ad hok zadatke, prilikom logorovanja, vežbi, mirovnih operacija ili na borbenom prostoru.

Postoji više modela i tipova zemaljskih senzorskih sistema, koji se razlikuju po taktičko-tehničkim karakteristikama i principu rada. Iskorišćene su različite tehnologije ugrađene u uređaje, pa oni mogu biti seizmički, akustični, magnetni, piroelektrični, a mogu se koristiti i dnevno-noćne ili pasivne IC kamere. Svojevremeno, takvi sistemi su ugrađivani i u predmete koji se mogu naći na određenom zemljištu, kao što je kamenje, zemljane kupe, krtičnjaci, grane, šupljine drveća i slično. Poznato je da je u Moskvi britanska obaveštajna služba duže vreme osmatrala pomoću senzora i kamera ugrađenih u ukrasne predmete i žardinjere sa cvećem više vojnih objekata.³⁸

³⁸ Čelnici ruske obaveštajne službe optužili su zvaničnike ambasade Velike Britanije 23. januara 2006. godine, da su u Moskvi za špijunažu koristili lažni kamen sa osmatračkom i senzorskom opremom, pokušavajući da obezbede pristup do državnih tajni, što je objavila državna televizija Rusije.

Za zaštitu američkih jedinica koje kontrolišu granična područja na borbenom prostoru Avganistana i Iraka, sopstvenih baza, aerodroma i obezbeđivanje trenutnih informacija o pokretima na određenom prostoru, stručnjaci iz kompanije Lockheed Martin u Betezdi, proizveli su samonapajajuće umanjene senzore UGS (Unattended Ground Sensors – zemaljski senzori bez nadzora), sa vaj-faj (Wi-Fi) emiterima.³⁹ Senzori se, samostalno, povezuju sa bežičnom vaj-faj radio-vezom, a podatke koje oni emituju operativci ili osmatrači mogu pročitati pomoću tableta, smartfona, mobilnog android uređaja i putem prijemnika na bespilotnim letelicama. Time se ostvaruje senzorska pokrivenost kontrolisanog prostora i obezbeđuje trenutna informisanost o promenama i zbivanjima na njemu. Minijaturni samonapajajući senzori veličine su nekoliko santimetara. U njih su ugrađeni, pored ostalih senzorskih komponenti, i vaj-faj emiteri. Oni automatski uspostavljaju ad hoc mrežu SPAN (Self-Powered Ad-hoc Network).⁴⁰

Ovakva senzorska mreža namenjena je za detekciju kretanja na određenoj teritoriji. Te podatke šalju do stanice za komunikaciju, odakle mogu da ih preuzimaju osmatrači, izviđači, patrolne priklone obilaska terena, robotska vozila za nadzor teritorije, pa i osmatračke i izviđačke bespilotne letelice.



Samonapajajući senzori u obliku kamenčića

Mreža se sastoji od 50 senzorskih čvorova, što predstavlja ekonomično rešenje za mnoge vrste zaštite, kao što je regulatorni nadzor granica i poštovanje ugovora, obezbeđivanje prostora oko baza i privremenih boravišta vojnih i drugih jedinica na nenaseljenom terenu do poboljšanja obezbeđenja i prepolju borbenog rasporeda kopnenih jedinica. Razmatra se i njihovo korišćenje u urbanim dejstvima.

Senzori su opremljeni izvorima napajanja i sistemima za očuvanje energije, odnosno za dugotrajni rad bez nadzora. Njihova funkcija je automatsko otkrivanje prisustva osoba ili vozila. Podatke, do najbližeg releja ili prijemne stanice, prenose u formatu digitalnog signala, koji može da sadrži zvuk, slike ili video snimke. Ti radio-frekventni emiteri mogu, takođe, da budu uključeni i u taktičku

³⁹ Lockheed Martin Links Ground Sensor Network With Unmanned Aerial Vehicles for Enhanced Threat Protection, Unattended Ground Sensors Protect Personnel and Assist In Border Surveillance, <http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2013/october/isgs-span-1021.html> (Pristupljeno 06. 12. 2013. g.)

⁴⁰ Self Powered Ad-Hoc Networks (SPAN), Perpetually Powered Unattended Ground Sensors; Lockheed Martin Information Systems & Global Solutions, <http://www.millennialnet.com/MillennialNet/media/Technology/Datasheets/SPAN-Brochure.pdf>. (Pristupljeno 31. oktobra 2013. g.)

mrežu komandovanja i upravljanja, koristeći čak i satelitske komunikacije (SAT-COM) za vezu sa udaljenim emiterima.

U taktičkim uslovima nadgledanje senzora na kontrolisanom prostoru, rečeno je, može da obavlja i operater, pomoću tableta sa vaj-faj prijemnikom.

Senzori su, u suštini, pasivni i izveštavaju o aktivnosti na terenu, neprekidno emitujući podatke, ukoliko su postavljeni na područjima gde je velika frekvencija saobraćaja. Ukoliko su rašireni na području gde je frekvencija kretanja manja, senzori mogu biti u stend-baj stanju (periodu čekanja) i aktivirati se u slučaju kretanja ljudi ili vozila. Inteligentna tehnologija omogućuje razlikovanje ljudi od životinja. Ad hoc senzori postavljaju se na lokalnom (ograničenom) području, za period dok se, na primer, jedinica nalazi na odmoru, zastoju ili logorovanju. Mreža senzora može biti raspršena i na većem prostoru.

Veza se automatski održava i to na način da svaki čvor prenosi detektovane podatke na sledeći čvor, omogućujući preglednost celokupnog pokrivenog prostora. Ako se senzor aktivira, šalje signal na sledeći senzor, sve dok ne stigne do stanice za komunikaciju. Podaci se, zatim, proslede u komunikacionu taktičku vezu, odnosno mogu da se prenose preko satelita i do komandnog centra, koji može da se nalazi bilo gde u svetu.

Umesto da se prosleđuju do komandnog centra, jedan od načina je korišćenje odgovarajućih bespilotnih letelica snabdevenim uređajima za očitavanje podataka iz senzorske vaj-faj mreže. To je veoma važno za starešine jedinica koje su u neposrednoj zoni senzorskog polja, čime oni dobijaju neprerađene podatke u realnom vremenu.

Čitači podataka u bespilotnim letelicama

Bespilotne letelice sa prijemnicima za emisije zemaljskih senzora koriste se u slučajevima kada senzorska mreža pokriva šire područje ili teren gde je prijem signala otežan zbog konfiguracije ili pošumljenosti. Tokom nadletanja prostora sa mrežom senzora, uređaj na bespilotnoj letelici šalje automatski upit senzorima, na koji ovi odgovaraju automatskim slanjem podataka sa čvorova gde su podaci koncentrisani. To omogućuje automatski pregled prostora, kako po mestu, tako i po vrsti signala.



Očitavanje senzorske mreže bespilotnim letelicama

Podaci se uparuju preko odgovarajućih grafičkih prikaza na ekranu u osmatračkom centru. Ujedno omogućavaju operaterima bespilotnih letelica da usmere pažnju na identifikovane pokrete. To je racionalnije nego da one lete neprekidno iznad osmatranog prostora, po planiranim rutama i snimaju celokupan teren, kako bi analitičari mogli da uoče eventualne potencijalne pretnje u realnom vremenu.

U programe za praćenje i izveštavanje o zbivanjima na kontrolisanom prostoru ugrađeni su poboljšani algoritmi za blagovremenu obradu izviđačkih i obavještajnih podataka. Takvi podaci omogućavaju da komandanti i komandiri osnovnih taktičkih jedinica dobijaju odgovarajuće informacije i procene situacije na teritoriji, u punom spektru i vremenu zbivanja, posebno ukoliko je jedinica angažovana u protivpobunjeničkim aktivnostima. Prednost je i u tome što se podatak dobijen senzorom objedinjuje sa video-snimkom iz bespilotne letelice, tako da starešine u neposrednoj blizini dobijaju kompletan pregled situacije, što je veoma značajno u toku brzih promena na borbenom prostoru.

Celokupan proces naziva se, u vojnim stručnim krugovima, „saradnja zemaljskog i vazdušnog osmatranja“,⁴¹ ali i sinergija između zemaljskih senzora i čitača podataka iz vazduha (Synergy of UAVs and UGVs).

Samonapajanje ad hok mreže

Noviju konfiguraciju senzorskih uređaja zapreminske veličine 2–3 cm³, sa neprekidnim napajanjem, koji nakon postavljanja formiraju ad hok senzorsku mrežu, razvili su inženjeri kompanije Lokid Martin. Kompletan rad i provera završeni su početkom 2013. godine. Senzori i mreža testirani su na poligonu Betezda, Merilend (SAD), gde se inače nalazi specijalni obavještajni centar u sastavu agencije za prostorno osmatranje i izviđanje NSA (National Geospatial-Intelligence Agency).

Istraživanja i projektovanja ovakvih mreža počela su još 2005. godine, po zahtevu Agencije za istraživanja i napredne odbrambene projekte DARPA, kao i na osnovu ukazanih potreba za obezbeđivanje delova teritorije na kojima se nalaze američke snage u inostranstvu.

Senzori kompanije Lokid Martin, pored toga što detektuju pokrete, emituju signal koji omogućava njihovo komunikaciono povezivanje u mrežu SPAN. Ta mreža obezbeđuje dostupnost alarma osmatračima i izviđačima ili operativcima u centrima i komandama. Mreža je razvijena za korisnike koji zahtevaju brzo postavljanje, malu verovatnoću presretanja signala i pouzdan neprekidni



Kontrola funkcionisanja i provera podataka senzorske zemaljske mreže SPAN pomoću tablet računara

⁴¹ Grocholsky, B. ; Inst. of Robotics, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA ; Keller, J. ; Kumar, V. ; Pappas, G. , Cooperative air and ground surveillance, Published in: Robotics & Automation Magazine, IEEE (Volume:13 , Issue: 3), Sept. 2006

nadzor. Svaki senzor detektuje kretanje u krugu od nekoliko desetina metara. U svakom se nalazi minijturni elektronski komunikacioni sklop, koji omogućava automatsko neposredno povezivanje i razmenu podataka. Mreža olakšava identifikaciju zbivanja po mestu i vremenu događaja na taj način što senzori otkrivaju pokrete u opsegu od nekoliko desetina metara. Automatska komunikacija po senzoru omogućena je u krugu nekoliko stotina metara. Tehnologija napajanja i mikroskladištenja energije eliminiše postojeće probleme napajanja, što omogućava smanjenje veličine i težine senzora.

Naučnici i inženjeri kompanije Lokid Martin nastojali su da njihovi UGS senzori budu prihvatljivi, u poređenju sa drugim postojećim UGS sistema po veličini i težini, snazi napajanja, međusobnom povezivanju senzora, opsegu detektovanja seizmičkih i drugih promena, kao i po upotrebljivosti sistema. Oni su nastojali da unaprede svoj sistem, u odnosu na postojeće, tako što su ga usavršili u svakoj od ovih oblasti. Smatraju da je njihov sistem, krajem 2013. godine, jedan od najfleksibilnijih i veoma pouzdanih multisenzorskih zemaljskih sistema. Pored toga, minijaturizacija omogućava da se senzori maskiraju prema okruženju, ugrađeni u najuobičajenije prirodne objekte, kao što su stene, kameni obluci, panjevi, grane (osušene ili slomljene) stabljike kukuruza ili slično bilje. Pored toga, sama konstrukcija i obloga omogućava da senzori izdrže ekstremnu toplotu ili hladnoću. Mogu se postaviti i u plićacima, snegu i blatu.

Unutrašnje komponente nazivaju se i senzorski čvorovi, a koriste uređaje za pretvaranje solarne i termičke u električnu energiju. Senzori su opremljeni solarnim panelima i baterijom. Energija se skladišti u tanke ćelije (u obliku filma), koje imaju 80.000 ciklusa punjenja. To omogućava dugotrajno racionalno korišćenje prikupljene energije za funkcionisanje senzora, komunikaciju i distribuciju podataka. Senzori mogu biti korišćeni i do 20 narednih godina. Proces se naziva „adaptivni ciklični optimalni kapacitet energije“ (Adaptive cyclic optimum energy budget). Takvi sistemi mogu da se koriste za zaštitu zgrada i opreme ili za praćenje kretanja u graničnom pojasu.

SPAN mreža koristi automatski rekonfigurisanu dinamičku bežičnu komunikaciju. Prenosom signala sa podacima sa senzora na senzor štedi se energija, a povećava brzina prenosa. Podaci se prenose u realnom vremenu. Napredak u štednji energijom omogućava da se mreža senzora postavi plan-

ski, odnosno, kako kažu američki vojni teoretičari, da se tajno infiltrira na području gde se planiraju dejstva i mnogo ranije nego što se pokrenu jedinice. S obzirom na to da UGS senzori sa SPAN mrežom ne zahtevaju nikakvo posebno održavanje, te da mogu da stoje neprimećeni dugo vremena, a nadzor može da se obavlja i preletom bespilotne letelice, to predstavlja značajnu prednost u prikupljanju obaveštajno-izviđačkih podataka za potrebe taktičkih jedinica.



Ad hoc mrežu minijturnih UGS senzora mogu da postave vojnici ručno, po posebnom planu

Kada je reč o taktici primene, postoji više mogućnosti. Jedna je da se senzori postave planski mnogo pre nego što će se jedinica naći na zaštićenom (senzorski osmatranom) području. Druga varijanta je ad hoc postavljanje nakon što jedinica posedne određeni borbeni prostor, kako bi joj se omogućilo kontrolisanje međuprostora, bokova, pozadine ili dela ispred prednjeg kraja odbrane. Senzore je moguće koristiti i u napadu, eventualnim bacanjem iz letelica na prostore gde se planira vazdušni ili pomorski desant, čime se otkriva da li je taj prostor protivnik već zauzeo. Varijante taktike koju omogućavaju ovakvi maleni UGS su veoma raznolike.



DARPA's Adaptable Sensor System (ADAPT)

Iz ove konstatacije može se zaključiti da su vojni teoretičari zaista kompleksno razmatrali mogućnosti upotrebe ovakvih senzora, njihovo tajno postavljanje i nadgledanje. Koliko je sama mreža među sensorima i do stanica za komunikaciju zaštićena od eventualne detekcije signala je drugo pitanje, o kojem se ne piše, odnosno verovatno postoji i način da se protivielektronskim merama maskira elektromagnetsko zračenje od preranog otkrivanja.

Proizvođači tvrde da je mreža sposobna da objedini višesenzorske podatke, uspostavi ravnotežu signala, te da je verovatnoća otkrivanja mala, kao i verovatnoća lažnih alarma. Svi podaci sa senzora objedinjavaju se na čvorištima, gde se obrađuju i objedinjavaju sa podacima iz drugih mreža pomoću posebnih algoritama. Izlazni signali koje emituju čvorovi mogu se podesiti na odgovarajuću snagu, dovoljnu da se pri me pomoću tableta ili nekog drugog smart uređaja, a pojačavaju se kada dobiju upit sa bespilotne letelice, kojoj zatim dostavljaju automatski prikupljene podatke.

Ukoliko je mreža u blizini jedinice, a nužno je pratiti promene u taktičkoj situaciji u stvarnom vremenu, radi obezbeđivanja procene zbivanja (u NATO literaturi taj proces naziva se svest o situaciji – situational awareness), ona se nadgleda u realnom vremenu. Pomoću bespilotnih letelica očitavaju se i udaljenije senzorske mreže. U priručnoj literaturi spominje se taktika upotrebe za izviđačke

jedinice, gde se češće koristiti ad hoc postavljanje i uklanjanje mreže nego za operativne borbene snage. U operativnim jedinicama takvi senzori su namenjeni za obezbeđenje i nadzor (monitoring) borbenog prostora ili logorske prostorije. Takođe, drugačija je primena u obezbeđivanju stalnih baza, aerodroma ili vojnih stacionarnih objekata (prislušni ili relejni centri, osmatračnice u graničnom pojasu i sl.), gde su pod stalnim nadzorom snaga bezbednosti.

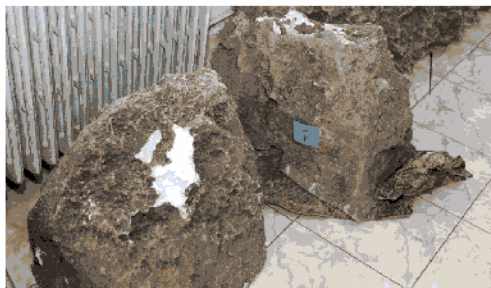
Karakteristike SPAN mreže:

- postavljanje na terenu i nije potrebno daljinsko upravljanje,
- intuitivni interfejs omogućava brzu implementaciju i lakoću rada,
- napajanje bez baterija, SPAN koristi uređaje za samonapajanje dugog radnog veka,
- mali lagani senzori mogu se uklopiti u ambijent,
- kućište se teško otkriva,
- prenosne komunikacije, uključujući satcom opciju,
- akustično i seizmičko očitavanje,
- umrežavanje u mrežu male snage smanjuje EM potpis,
- senzorski čvorovi automatski formiraju mrežu,
- obezbeđena identifikacija i karakterizacija događaja,
- ugrađena obrada podataka smanjuje lažne uzbune,
- čitanje podataka sa senzora pomoću ručnih kompjutera za lokalno praćenje.

Treba imati u vidu da senzori koriste tzv. COTS pristup geografskim informacionim podacima (The COTS Approach to Enterprise GIS), što omogućava sistemu senzora da se orijentiše prema realnim podacima i podacima dostupnim preko GPS javne i vojne mreže. U nekim specijalnim operacijama ovakvi senzori su potrošni uređaji, koji se ostavljaju ili se u njih ugrađuju komponente za samouništaivanje, što ih onesposobljava nakon realizacije osjetljivih specijalnih operacija.

U prvu fazu projekta uloženo je 10 miliona dolara.

Istorijat i aktuelna primena



Izraelski špijunski sistem „zupčanik“, maskiran u kamenu gromadu, pronađen na sirijskoj obali

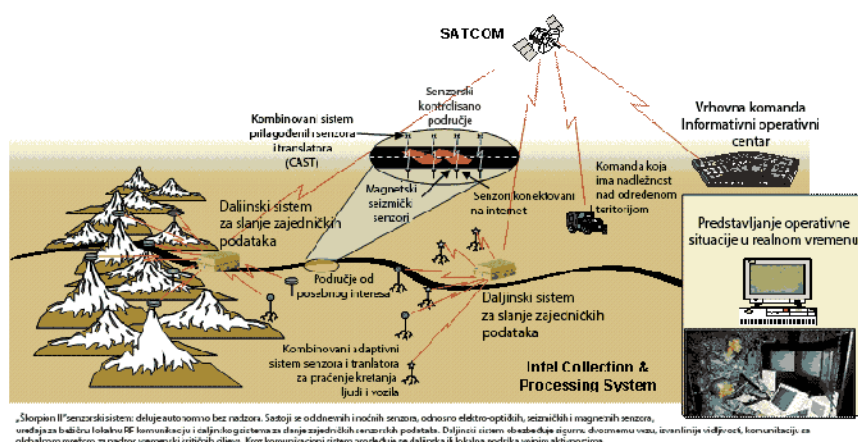
Pored incidenta između britanskih i ruskih obaveštajaca u Moskvi 2006. godine svetska javnost je upoznata i sa više sličnih primera. Tako je sirijska TV, 7. marta 2013. godine, prikazala maskiranu špijunsku opremu (kamere i audio-senzore) u kamenju na sirijskoj morskoj obali, nedaleko od jednog vojnog objekta. Vlasti su saopštile da je reč o izraelskom špijunskom sistemu „zupčanik“ (Gear). Sistem se sastojao i od uređaja koji su mogli da smanje vero-

vatnoću otkrivanja i ometanja. Iran je, takođe, otkrio špijunski kamen, na mestu pored objekta za obogaćivanje uranijuma, u septembru 2012. godine. Dok su vojnici patrolirali po obodu zabranjene zone, naišli su na uređaj za prikupljanje obaveštajnih podataka u steni. Kada su prilazili steni je eksplodirala, pošto je verovatno programirano da se samouništi pri pristupu ljudi.

Hiljade senzora, nekih maskiranih kao stene, američka vojska je postavila u Avganistanu za praćenje dešavanja u pojedinim oblastima gde su se kretali pobunjenici. Senzori su osposobljeni da prenose podatke do bespilotnih letelica, a da se u realnom vremenu koriste za obradu programom „nexus 7“ (Nexus 7).

Posle nekoliko decenija korišćenja pasivnih senzora u vojnim operacijama, oni postaju manji, mnogo precizniji i sofisticiranije izrade. Tehnološki napredak omogućio je razvoj naprednih, multinamenskih kopnenih senzora (UGS), koji funkcionišu autonomno i bez nadzora. Izrađeni su u različitim veličinama i oblicima, sadrže nekoliko senzorskih tehnologija, prilagođenih za upotrebu u različitim obaveštajno-izviđačkim oblastima. Oni danas, na početku druge decenije 21. veka služe za otkrivanje, klasifikaciju i izveštavanje o otkrivenim aktivnostima na području gde su raspoređeni, a podatke dostavljaju preko bežičnih linkova u daljinski kontrolni centar. UGS sistemi su mali, jeftini i zaštićeni (vodonepropusni i otporni na ekstremne temperature) senzori, dugog veka upotrebe koji mogu da aktivno deluju od nekoliko nedelja, meseci čak i 20 godina.

Drugi sistemi i tehnologije za zaštitu snaga



„Škorpion II“ senzorski sistem deluje autonomno bez nadzora. Sastoji se od odvojenih i noćnih senzora, odnosno elektro-optičkih, seizmičkih i magnetnih senzora, uređaja za bežičnu lokalnu RF komunikaciju i daljinskog sistema za slanje zajedničkih senzorskih podataka. Daljinski sistem obezbeđuje sigurnu, dvostranenu vezu, izmenjivanje vidljivosti, komunikaciju sa globalnom mrežom za nadzor vanjskih kritičnih objekata. Kroz komunikacioni sistem predočuju se daljinski ili lokalno podataka vojnim aktivnostima.

Senzorski sistem „škorpija II“

Senzorski sistem nazvan „škorpija“ (Northrop Grumman Scorpion) sačinjavaju mikro-osmatrači – kombinovani adaptivni (prilagođavajući) sistem senzora i translatora za praćenje ljudi i vozila. Tokom 2012. godine postavljeni su na planinskom prolazu Hindukuš ili u blizini poletno-sletne stazu aerodroma blizu granice sa Pakistanom. Koriste se za automatski monitoring. U sebi su sadržavali mikrofone, kamere, magnetne ili seizmičke senzore.



Komplet sistema REMBASS II

Još u vijetnamskom ratu Amerikanci su postavili akustične senzore na tzv. Ho Ši Minovom putu, kojim su se snabdevale snage Vietkonga. U Avganistanu i Iraku, američka vojska postavljeno je više od hiljadu „šorpion II“ (Scorpion II) sistema. Domet senzora za otkrivanje kretanja ljudi je 800 metara a 2.100 metara za vozila. Verovatnoća otkrivanja tog senzorskog sistema je veća od 95 odsto, a lažnih alarma je manje od 5%. Sistem je modularan i moguće ga je kombinovati prema potrebama i specifičnim namenama. Svako senzor ima u sebi GPS komponentu po kojoj ga je moguće locirati i kada je dobro skriven na zemljištu. Vek trajanja baterija je

do 6 meseci. Za komunikaciju koristi zaštićeni elektronski sistem Nortrop Grumman korporejšn-Ksetron kampus (Xetron Campus).

Naravno, postoji još mnogo zemaljskih sistema senzora bez nadzora. Jedan od njih nosi naziv REMBASS II⁴² terenski senzori (Remotely Monitored Battlefield Sensor System-II), koji ima i oznaku AN/GSR-8(V). Kao i mnogi drugi slični sistemi, koristi kombinaciju detektora, senzora (uključujući seizmička geofone), koji identifikuju vibracije tla izazvane kretanjem vozila ili pešaka. Magnetni detektori uočavaju kretanje metalnih predmeta, kao što su oružje i vozila. Akustični senzori koriste se za detekciju ciljeva sa posebnim akustičnim potpisom (buka od motora, rute kretanja i sl), a pasivni infracrveni (PIR) senzori detektuju kretanje objekata u uskom vidnom polju. Ulaz iz svih ovih detektora prikuplja „kapija“ (gate), ugrađena na ploči sa procesorima. Kada senzori utvrde da „potpisi“ odgovaraju predefinisanim matricama, aktivira se alarm i automatski prenosi radio-linkom na centralnu tačku za praćenje, odakle se podaci slivaju u operativni centar za praćenje aktivnosti u senzorski kontrolisanom području.

Komanda za elektronske komunikacije SAD (USAEICOM) namerava da u 2014. godini opremi jedinice na avganistanskom i iračkom prostoru i sa sistemom BAIS (Battlefield Anti-Intrusion System – borbeni sistem za zaštitu od upada). Oba senzorska sistema, REMBASS II i BAIS, koriste komunikacionu mrežu L-3,⁴³ koji obezbeđuje međusobnu vezu među sensorima i do 16 km.

⁴² Remote Battlefield Sensor System Version II (REMBASS-II) sets and Battlefield Anti Intrusion System (BAIS), <https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&tab=core&id=e64bcef85cd01f4ac7563de50f754ab4> (Pristupljeno 11.12.2013. g.).

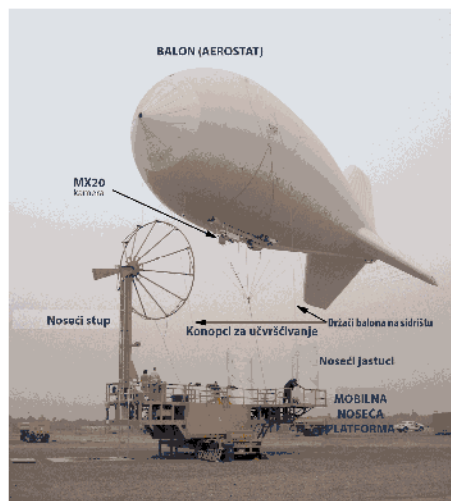
⁴³ Force Protection Joint Experiment (FPJE) Battlefield Anti-Intrusion System (BAIS) Sensors Data Analysis and Filtering Metrics, C.M. Bamgrover, R.T. Laird, T.A. Kramer, J.R. Cruickshanks, S.H. Cutler Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego (SSC SD) 53560 Hull Street, San Diego, CA 92152 http://www2.l-3com.com/cs-east/ffsys/fe_rfsys_rembassii.shtml (Pristupljeno 11.12.2013. g.).

I „Odbrambeni segment“ kompanije „Rajmetal“ predstavio je krajem 2013. godine senzore „Rajmetal BSA UGS“. On poseduje i komponente koje zahtevaju da senzori potvrde alarm nakon aktiviranja, posebno kod uređaja za obradu slike, bilo da je ona snimljena u dnevnom ili noćnom, odnosno infracrvenom spektru. Snimljene slike se kompresuju i šalju kao kratki animirani filmovi putem RF komunikacijske veze. Taj sistem ima mogućnost da se njime upravlja pomoću daljinskog upravljača.

U studiji „Zajednički eksperiment za zaštitu oružanih snaga“ FPJE (Force Protection Joint Experiment), ukazuje se na specifičnosti i način rešavanja problema analize i filtriranja podataka prikupljenih senzorskim sistemom BAIS. Podaci su analizirani pomoću algoritama i aplikacija nazvanih SPIE višesenzorski sistem u laboratoriji za multisenzorsku analizu i fuziju informacija u Orlando na Floridi (Multisource Information Fusion, Orlando, FL), od aprila 2009. godine, a armijskoj javnosti predstavljeni su 2010. godine.

Dostupne informacije ukazuju na to da se istraživanja u primeni multisenzorskih kombinacija nastavljaju sa povećanim intenzitetom u oblastima zemaljskih senzora bez nadzora, senzora koji se razvijaju u okviru „budućeg borbenog sistema FCS (Future Combat Systems), osmatračkih senzora, detektorskih naprednih sistema za urbane sredine (UMass), integrisanih senzora u sistemima naoružanja, simulaciji uparivanja video-signala sa geografskim kartama i pomoću geografskog informacionog sistema (GIS). Senzorski sistemi se uparuju i sa zemaljskim radarima za kontrolu teritorije, posebno ukoliko se prate zbivanja na proširenom području. Ispituju se i mogućnosti da se proširi i spektar signala, kao i pokrivenost veće površine malim neuočljivim sensorima i boljoj efikasnosti automatskog uočavanja pokretnih objekata na širem, ispresecanom reljefnom području ili pokrivenom rastinjem.

Još od 2004. godine u Iraku se eksperimentiše sa primenom aerostatskog sistema PTDS (Sistem za detekciju trajnih pretnji⁴⁴). Sastoji se od balona na kojem su kamere (dnevno-noćne i infracrvene) i senzorski uređaji. Takođe, nosi i sistem za čitanje podataka zemaljskih senzora (koji automatski šalju signale sa čvorova). PTDS koristi Komunikacioni sistema internacionalne brigade (IBCS), koji omogućava komunikaciju sa taktičkim i operativnim sistemom „mirovnih snaga“ i mogućnosti umrežavanja u sistem nadzora više PSDS2 sistema na jednom području. Ovakvi senzori skeniraju veću površinu, automatski detektuju



Aerostatski sistem PTDS

⁴⁴ PTDS TEAM 4 AND THE ISR NETWORK – Arrival in Baghdad. Team introductions. “Aerostat” & kite balloon defined. The sensor payload. Elements of the ISR Network, <http://robrimmins.com/2013/07/24/balloon-wars-chapters-1-2/> (Pristupljeno 12.12.2013. g.).

pokretne mete i izveštavaju u realnom vremenu. Pokrivenosti i udaljenosti takvih senzora zavisi od tehnologije koja se koristi, kao što su FLIR osetljivost senzora, radara, sistema za obradu signala i sl. Ovi senzori obično se koriste za zaštitu perimetra, bezbednosti granica i nadzora borbenog prostora (Battlespace).

Individualni senzorski sistemi mogu da ispolje probleme osetljivosti koji, pod određenim uslovima, imaju uticaj na degradaciju signala. Slabe tačke pokazalo je i korišćenje osmatračkih zemaljskih radara u okviru senzorskog polja. Najveći problem je otpornost senzora na lažne alarme i male brzine kretanja objekata u osmatranom prostoru.

Eksperimentiše se i korišćenjem uređaja koji u vaj-faj mreži detektuju kretanje iza gustog rastinja. Vizuelni i radarski senzori mogu biti integrisani sa visokom verovatnoćom otkrivanja pod svim vremenskim uslovima. Senzori za skeniranje mogu se koristiti i za daljinsko upravljanje automatskim naoružanim stanicama (kontejnerima sa sistemom oružja koje automatski deluje). Aktiviraju ih senzori kad otkriju kretanje naoružanih osoba ili borbenih vozila, koristeći predefinisani potpis odraza protivničkog naoružanja u matričnoj mreži za podršku automatskim borbenim sistemima. Takvi sistemi mogu da se integrišu sa autonomnim patrolnim vozilima ili ljudskim patrolama koje interveniše u realnom vremenu radi borbenog odgovora ili zaustavljanja pojedinačnih protivnika koji se kreću kontrolisanim područjem.

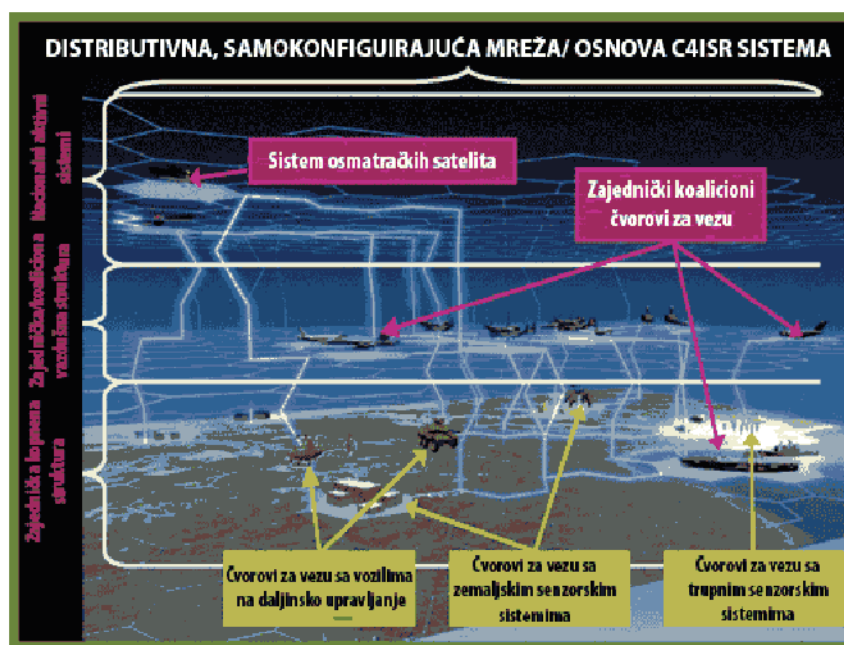
Složeniji senzorski sistemi

Razvijaju se i složeniji senzorski sistemi kao što je „tektronov sistem nekontrolisanih zemaljskih senzora“ (Tektron UGS Systems), u okviru projekta „Budući borbeni sistemi“ FCS, koji pored video-senzora treba da poseduje i nekoliko uloga. Namena mu je da služi za obezbeđenje perimetra odbrane, osmatranje i nadzor, određivanje elemenata za ciljna dejstva i omogućava procenu situacije. Ti senzori uključuju se u sisteme za hemijske, biološke, radiološke i nuklearne (CBRN) sisteme ranog upozoravanja. Budući program će uključiti niz uređaja za daljinsko očitavanje zemaljskih senzora, uključujući snimanje i registrovanje potrošnih senzora, seizmička snimanja, akustične i druge senzore.

Nova generacija senzora biće „pametnija“, osposobljena za tzv. ciljnu identifikaciju (određenih vrsta naoružanja i opreme koja nije u naoružanju NATO i savezničkih snaga) na osnovu predefinisanih potpisa u mreži komuniciranja. Većina senzora biće daljinski kontrolisana, pomoću čvorova za daljinsku komunikaciju sa udaljenim operativnim i osmatračkim stanicama i centrima. Sadržavaće mikrokomponeente koje će obrađivati signale i omogućiti obradu signala i fuziju. Ti senzori unaprediće obaveštajnu sliku i pružiti više mogućnosti da komandanti ili čelni ljudi operativnih timova dobiju potpunu predstavu o operativnoj ili taktičkoj situaciji (za kompletnu procenu situacije – total situational awareness).

Posebni UGS senzori razvijeni su, u okviru programa „budući borbeni sistem“ FCS (Future combat systems) za kopnenu vojsku i urbane operacije, u sastavu sistema izveštavanja. Iako je program FCS obustavljen još 2009. godine, neki delovi programa su nastavljani, a među njima i senzorski sistemi bez neposredne kontrole. Posebno težište stavljeno je na razvoj UGS za zaštitu područja očišćenih od protivničkih snaga u naseljenoj sredini, otkrivanje zaseda i druge urbane aktivnosti. Njihov razvoj se nastavlja i u 2014. godini i ovi minijturni jefti-

ni uređaji biće opremljeni integrisanim komunikacijama i komunikacionim linkovima koji obezbeđuju pouzdane komunikacije u urbanoj sredini. Senzori bez kontrole (UGS), iz programa FCS, postaće sastavni deo „slojevitog sistema senzorske mreže“. Pri tome će buduće senzorske mreže koristiti i daljinski kontrolisane „dugoživeće“ senzore razmeštene na područjima odakle mogu da se pojave protivničke snage kao neposredna borbena pretnja, koji će funkcionisati u sistemu ranog bezbednosnog i obaveštajnog upozorenja. Ujedno, ti sistemi će se koristiti i za zaštitu snaga u taktičkim dejstvima i angažovanih u urbanim sredinama. Radi provere, ta vrsta sistema postavljena je još 2007. godine na granici između Južne i Severne Koreje, ali je do sada više puta usavršavana. Radio mreža koja prenosi senzorske signale iz graničnog područja neprekidno je kontrolisana, posebno u periodu zaoštavanja sukoba među tim državama.⁴⁵



Slojeviti sistem senzorskih mreža

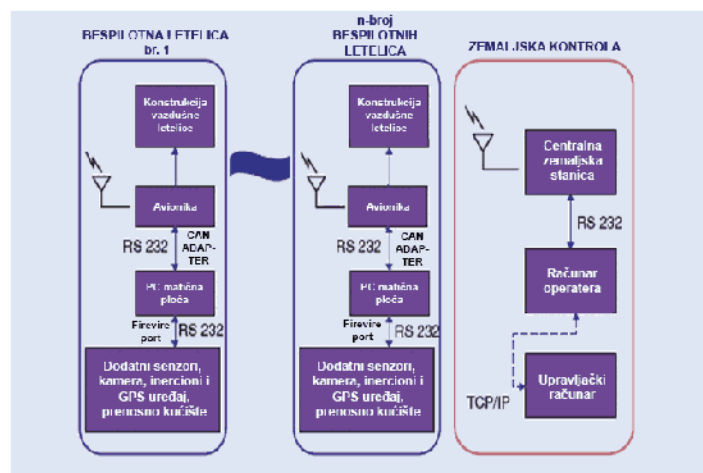
Najznačajnija osobina budućih senzora biće „ciljna detekcija“, odnosno mogućnost određivanja koordinata po GPS ili geografskom informacionom sistemu. Služiće, dakle, za praćenje i prepoznavanje zbivanja na takav način što će, povezani sa integrisanim bežičnim komunikacijama, omogućavati informisanje na svim nivoima slojevite senzorske mreže.

⁴⁵ Future Combat Systems – 2014, Posted Apr 06, 2007 by U S: This is a Future Combat Systems (FCS) promotional video of the Vanguard network system being used in combat. The movie clip covers a scenario in which we are fighting North Korea in 2014. <http://64.147.183.62/video/logistics-and-supplies/army-equipment/future-combat-systems-2014/644431653001/> (Pristupljeno 08. 01. 2014. g.)

Stručnjaci napominju da je osnovna ideja da svi senzori u narednom periodu postanu sastavni deo „akcione senzorske mreže“,⁴⁶ što će omogućiti da se operativni centri „suštinski i kontinuirano hrane informacijama“, što treba da omogući kreiranje i ažuriranje zajedničke operativne slike COP (Common Operational Picture), odnosno predstavljanje situacije u borbenom prostoru u realnom vremenu.

Mrežnoorijentisan senzorski sistem

Terenski multisenzorski sistem bez nadzora (UGS) iz programa nekadašnjeg „budućeg borbenog sistema“ FCS podeljen je u dve glavne grupe: taktički-UGS (T-UGS), koji obuhvata obaveštajne, tajne i uređaje za izviđanje ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance), hemijske, biološke, radiološke i nuklearne (CBRN -UGS), kao i senzore za gradsko okruženje (U-UGS), koji se inače upotrebljavaju u urbanim vojnim operacijama u naseljenim mestima MOUT (Military operation in urban terrain). Taktički UGS sistemi sastoje se od naprednih sistema senzora, podešenih da samoorganizuju komunikativnu mrežu, te za neposredno ili daljinsko očitavanje podataka. Dalekometnim sensorima poboljšava se odbrana perimetra vojnih baza i drugih zaštićenih objekata. Senzori se, takođe, koriste da obezbede dopunu procene operativne situacije u komandama svih nivoa, preko satelitskog nadzora određene oblasti gde se prate sve ili pojedinačne mreže. Za operativce u komandi teritorija bez senzora za nadzor je najveća rizična „rupa“ zbog koje nije moguće kompletirati procenu situacije (Total situational awareness). Zbog toga su mnogi senzori i jeftina potrošna roba, neophodni da bi se kontrolisala situacija u borbenom prostoru.



Arhitektura više-bespilotnog sistema letelica i prijemne zemaljske stanice

⁴⁶ A taxonomy of wireless micro-sensor network models, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Volume 6 Issue 2, April 2002 Pages 28 – 36, <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=565708> (Pristupljeno 12. 12. 2013. g.)

Kad je reč o urbanim senzorskim sistemima (Urban UGS systems), oni se neprekidno razvijaju i nastoji se iskoristiti tehnologija korišćena u detektorima vaj-faj signala, koji omogućuju „gledanje kroz zid“⁴⁷ TTWR (MIT's Through-the-wall radar), kao i tehnologija sistema ADAPT američke Agencije za unapređena odbrambena istraživanja i projekte DARPA.⁴⁸ Urbana senzorska mreža obezbeđuje lokalizovani nadzor i podršku vojnim operacijama u naseljima, posebno kad protivnik koristi ojačane objekte, kanalizaciju, sistem tunela za metro i druge veštačke prepreke. Senzori se raspoređuju tako da se mogu pratiti ručnim tablet ili smart uređajima, kao i sistemima u vozilima, povezanim sa ostalim osmatračkim i izviđačkim sistemima. U takvim uslovima najefikasnija je slojevita senzorska mreža. Kompanija „Rajtheon“ (Raitheon) razvila je sistem EMARS (Enhanced Mobile Ad hoc network Radio System) koji omogućuje korišćenje senzorskih signala niske frekvencije za detekciju pokreta iza zidova. Sistem izračunava opseg kretanja do 16 otkrivenih ciljeva u prednjem segmentu ozračivanja senzora. Ručnu jedinicu čine poseban senzor i kontrolni segment, koji omogućava daljinsko očitavanje više senzora. Drugačiji sistem razvijen je u laboratorijama BAE Systems. Njihov senzor koristi radarski signal od 920MHz, koji detektuje kretanje kroz zidove do 30 cm debljine. Senzor koristi usmerenu jagi ili omnidirekcionu antenu.

Kompanija „Kas sistemi“ (CAS Systems Limited) još od 2010. godine razvija senzorski sistem IMS-4000, koji takođe samostalno formira mrežu i međusobno može da poveže osam senzora. Namenjen je za predstavljanje borbenog prostora, omogućavajući prikaz protivničkih snaga na borbenoj karti. U borbenim laboratorijama razrađena je i taktika upotrebe tog sistema. U taktici primene IMS koristiće se za obezbeđenje bokova, zaštitu stacionarnih objekata, blisku zaštitu malih jedinica, popunu praznine u međuprostoru i delovima terena koje nije moguće kontrolisati na drugi način. Ovaj sistem može da se koristi sa nesmrtonosnom municijom, čime sprečava kretanje civila u određenim oblastima, a smanjuje rizik od štete i žrtava u neizvesnim situacijama.

Obezbeđivanje „kozjih staza“

U skup „nekontrolisanih“ terenskih senzora može se uvrstiti i sistem CovertVARE, zatim „senzorski sistem za detekciju upada“ (Intrusion Detection E-UGS) za obezbeđenje „mrtvih tačaka na obodu borbenog prostora“ i „kozjih staza“ kompanije ARA, koji pripadaju drugoj generaciji senzorske tehnologije. I ovi senzori deluju u sistemu zatvorene mreže, a alarm se prenosi sa senzora na kontrolnu stanicu na daleko većoj udaljenosti od bilo kojeg drugog sistema terenskih senzora bez nadzora, koji su danas dostupni. Ovi sistemi ne koriste repetitore ili skup komplikovanih „meš“ (Mesh)⁴⁹ mreža. Kod ovih senzorskih sistema postignuto je dobro razlikovanje ljudskih odraza u odnosu na vozila i smanjen je broj lažnih alarma.

⁴⁷ Nikola Ostojić, Kroz zidove pomoću vajrles rutera, Vojnotehnički glasnik 4/2013.

⁴⁸ Nikola Ostojić, DARPA, Skriveni zemaljski senzori, Vojnotehnički glasnik 3/2013.

⁴⁹ „Meš“ (Mesh) umrežavanje je vrsta topologije mreže gde svaki čvor snima podatke susednih čvorova i emituje ih zajedno sa sopstvenim podacima, odnosno služi kao relej za drugim čvorovima; Self Organizing Wireless Mesh Networks, <http://research.microsoft.com/en-us/projects/mesh/> (Pristupljeno 12. 12. 2013. g.)

Vrste senzorskih sistema:

- sistemi za nadzor perimetra odbrane,
- osmatrački radari sa odgovarajućim bezbednosnim aplikacijama,
- panoramski IR skeneri,
- terenski senzori (geofonski),
- akustični senzori,
- senzori za zaštitu vozila i stacionarnih objekata,
- upozoravajući senzori pokreta,
- senzori za zaštitu transportnih kolona,
- senzori snajperske vatre,
- elektro-optički,
- senzori eksploziva za bombaše-samoubice,
- senzori za bežično umrežavanje.
- laserski senzori

MULTISENZORSKI PROSTOR



Multisenzorska sfera borbenog prostora

Izraelski nacionalni centar za obradu slika razvija komplet senzora SAR, koji omogućava vizuelne i druge prostorne podatke u integrisanom signalu za obaveštajne strukture. Sistem je nazvan Elta-a RICENT, a centralni element sistema su senzori za obaveštajno prikupljanje podataka, nadzor i izviđanje (ISR). Podaci se prikupljaju pomoću bespilotnih letelica. Koriste savremenu komercijalnu COTS tehnologiju (senzorski podaci su objedinjeni sa GPS i GIS elementima). SAR obezbeđuje 3D sliku borbenog prostora, pošto poseduje programske rutine koje omogućuju fuzionisanje radarskih, satelitskih i aero snimaka, kao i podataka dobijenih elektronskim izviđanjem. Ovaj sistem se s punim pravom naziva i geolokacioni sistem, a na osnovu snimaka moguće je utvrditi i masu (težinu) objekta koji je ostavio trag preko nekog od senzora, na udaljenosti 30 do 90 m.

Treba spomenuti da se u razvoju ovakvih senzora koristi i tehnologija mapiranja i modeliranja. Čak se i primena u borbenim okolnostima simulira pre postavljanja senzorskih mreža.

S obzirom na to da je oblast razvoja senzora podstaknuta mnogobrojnim aktuelnim angažovanjima vojnih jedinica širom sveta, te da je stečeno iskustvo značajan činilac u njihovom osavremenjavanju i unapređivanju primena napred-

ne tehnologije, u narednom periodu pojaviće se novi sistemi čiji završetak je predviđen 2019. godine, za šta je u budžetu SAD i NATO obezbeđeno dovoljno sredstava da se programi završe. Na pomolu je sledeća generacija bežičnih zemaljskih senzora sa ad hoc funkcionalnošću. Oni sve više postaju potrošna roba, sve su manjih dimenzija i nije daleko vreme kada će novi nanomaterijali omogućiti i razvoj nanosenzora. Pošto je ova oblast usko povezana sa industrijom bezbednosne opreme, odnosno uređaja za zaštitu od neovlašćenog pristupa, i za sada je kurentna na svetskom tržištu, njena perspektiva je obezbeđena. DARPA već priprema teren za razvoj nove etape u razvoju senzora, obezbeđujući transfer komercijalne tehnologije u vojne nanosisteme, među kojima su i sve vrste senzora. Cilj je stvaranje senzorske sfere iznad borbenog prostora.

Mikrosenzorske bežične mreže su, inače, identifikovane u agenciji DARPA kao jedna od najvažnijih tehnologija za 21. vek i kao jedan od najvećih izazova budućnosti. U protekle tri decenije, u procesu istraživanja i razvoja senzorskih mreža, učestvovalo je nekoliko generacija naučnika, istraživača i inženjera. Dva projekta agencije DARPA, od mnogih drugih, najznačajniji su za senzorsku mrežnu perspektivu. To su „distribuirane senzorske mreže“ DSN (Distributed Sensor Networks) i „Sensit program“, odnosno razvoj senzorskih informacionih tehnologija (Sensor Information Technology). Tehnološki trendovi koji utiču na razvoj senzorskih mreža neprekidno se menjaju, utiču na usavršavanje i minijaturizaciju novih uređaja, koje prate i odgovarajuće aplikacije za poboljšavanje funkcionisanja. Primjenjive su, kako u trupnim jedinicama, tako i u bezbednosnoj infrastrukturi. Tehnički izazovi uključuju nanomrežne senzore za otkrivanje, kontrolu i usmeravanje, zajednički prenos signala i procesiranje informacija, kao i fizičku i mrežnu bezbednost. Rezultati istraživanja sa kraja 2013. godine ukazuju na novine u oblasti senzorskih mrežnih algoritama, uključujući mogućnosti lokalizovanja i difuzije senzorskih signala, distribuiranje bežičnim ad hoc mrežama i korišćenje „lokalnih agenata“, odnosno minijaturnih prijemnih stanica ugrađenih u svakodnevne mrežne uređaje.⁵⁰

Nikola Ostojić

Satelit-teleskop MOIRE, orbitalno oruđe „kosmičke kupole“

Džinovski satelit snima 40% površine Zemlje odjednom⁵¹

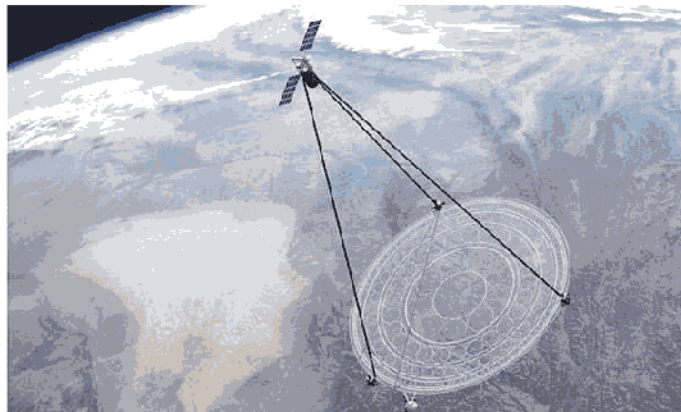
Još se nije stišala buka koju je izazvao Edvard Snouden objavljivanjem podataka o „ušima velikog brata“ za prisluškivanje elektronskih i informatičkih komunikacija, a Pentagon nas informiše i o „oku velikog brata“. Naime, krajem

⁵⁰ Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges, Proceedings of the IEEE ... Volume: 91 Issue: 8

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?reload=true&tp=&arnumber=1219475&url=http://ieeexplore.ieee.org/iel5/5/27402/01219475> (Pristupljeno 23. 12. 2013. g.)

⁵¹ Special Session: Testing of Lightweight Space Structures, MOIRE Space Telescope-Challenges and Solutions in Large Scale Testing; William D. Tandy, Ball Aerospace & Technologies Corporation; Paul Atcheson, Ball Aerospace & Technologies Corporation; Jeanette L. Dombier, Ball Aerospace & Technologies Corporation; Jeff Komers, Ball Aerospace & Technologies Corporation, Chapter DOI: 10.2514/6.2013-1458 Publication Date: April 8-11, 2013, <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2013-1458> (Pristupljeno 13. 12. 2013. g.)

2013. godine Pentagon je saopštio da, u saradnji sa „Lorencom nacionalnom laboratorijom u Livermoru“ (Lawrence Livermore National Laboratory), „Balovom kosmičkom i visokotehnološkom korporacijom“ (Ball Aerospace and Technologies Corporation) i „NeKsolve korporacijom“ (NeXolve Corporation) realizuje projekat ogromnog satelita za osmatranje i snimanje Zemljine površine. Reč je o kosmičkom objektu sa osetljivim objektivom i membranom za fokusiranje slike, nazvanom MOIRE (The Membrane Optical Imager for Real-time Exploitation).



Teleskop, ili „membranski optički imidžer za snimanje u realnom vremenu“, imaće tri osnovne komponente – refleksionu membranu, kameru za snimanje u realnom vremenu i komunikacione sisteme za vezu sa zemaljskim stanicama. Sistem za snimanje posedovaće optički i digitalni zum. Optički zum funkcionisaće tako što će se slika dobijena refleksijom od optičke membrane koncentrisati u fokusu objekta. Digitalni zum je ionako osobina svakog modernog foto-aparata ili kamere. To će omogućavati ovom teleskopu da snimi 40 odsto Zemljine površine odjednom. Zum će omogućiti detaljno snimanje brojnih dešavanja na planeti Zemlji.

Ova ogromna teleskopska naprava ima objektiv od membrane kružnog oblika, prečnika 21 metar i jedan je od najvećih teleskopa koji će lebdeći u kosmosu, na stacionarnoj putanji oko naše planete. Svojom veličinom prevazilazi poznati teleskop Hابل, čiji prečnik objektiva ima „skromna“ dva metra. I najveći teleskop smešten na tlu upola je manji od MOIRE.

Satelit su zamislili stručnjaci Pentagonove agencije za unapređena odbrambena istraživanja i projekte DARPA, koji su učestvovali u razvoju sledeće generacije oružja i tehnologije za vojne snage SAD, u projektu nekada nazvanom FCS (Future combat systems – budući borbeni sistemi). Iako je od 2009. godine koncept programa FCS pod znakom pitanja (u budžetu narednih godina nema stavki za njega), mnogi od potprojekata nastavljaju da se razvijaju pod drugim nazivima, kako ulaganjem sredstava koje dobija Pentagon, tako i sredstvima koje ulažu same kompanije, smatrajući da će njihovi projekti kad-tad biti prihvaćeni od vojnog establišmenta.

Svrha tog optičkog uređaja jeste da snima površinu Zemlje, a proizvod su koncentrisane slike HQ (visokog kvaliteta). U razvitak tog teleskopa uložena je napredna tehnologija, koja omogućava veliku preciznost koja je neophodna da bi satelit uspešno funkcionisao.



Membrana satelita koja prelama svetlost podeljena je na segmente i tanka je kao folija koja se koristi u domaćinstvu

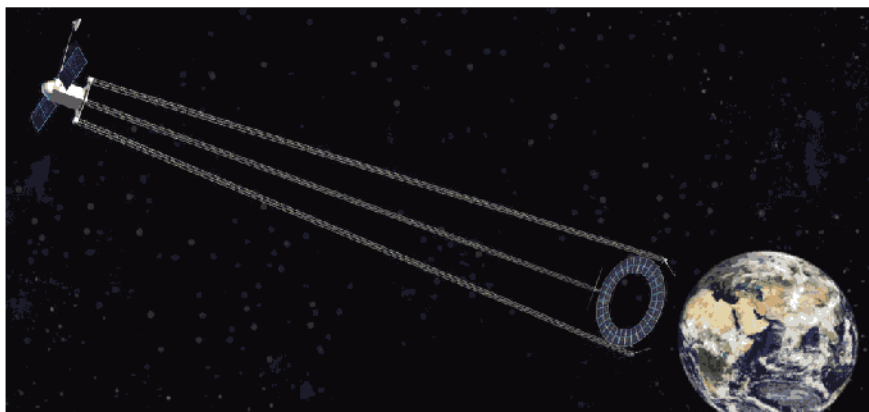
Do sada su se teleskopi koji se šalju u svemir suočavali sa problemom ograničenja veličine objektiva, pošto veće i duže teleskope u kosmos nije mogla da prenese nijedna do sada konstruisana raketa. Zbog još uvek nerazvijene tehnologije za gradnju u svemiru, nije moguće ni slati veliki teleskop po delovima i sastavljati ga u orbiti. Svaki takav pokušaj je u današnjem vremenu preskup, bez obzira na to kolika bi bila naučna vrednost svakog od takvih projekata.

Naučnici i istraživači našli su rešenje u korišćenju refrakcione membrane⁵² koja je tanka poput folije za domaćinstva ili se koristi u trgovinama za pakovanje artikala. Membrana ima osobenost refrakcije, odnosno prividno skreće svetlost ili prelama, umesto da je odbija. Naime, pri konstrukciji savremenih teleskopa i drugih optičkih instrumenata sa staklenim sočivima koriste se i ogledala koja reflektuju svetlost u okular.

Međutim, refrakciona membrana imaće još jednu osobinu. Ona će istovremeno biti i difrakciona rešetka. Naime, folija će imati šare na površini, suviše male da budu vidljive golim okom. Te šare savijaće svetlost određenih talasnih dužina, što ukazuje na to da se različitim veličinama šara može menjati propuštanje određenih talasnih dužina. Transmisivna difraktivna optika, koja se naziva i „Fresnel sočiva“, tanja je i lakša od standardnih sočiva. Još 1995. godine istraživanja su pokazala da menjanje talasne dužine svetlosti, koja se propušta kroz objektiv, zavisi od površinskih karakteristika difraktivne optike. Međutim, nedostatak difraktivne optike teleskopa je njihov ograničen propusni opseg. Difraktivno sočivo fokusira različite talasne dužine svetlosti na različitim tačkama u prostoru, što ozbiljno ograničava svetlosni signal u fokalnoj ravni. Međutim, ustanovljeno je da obrnuti difraktivni objektiv, uparen sa svetlosnim kolektorom, ispravlja ove fokusirajuće aberacije i emituje dovoljno fotona u ravni fokusa za snimanje.

⁵² Refrakcioni astronomski teleskop, http://www.walter-fendt.de/ph14yu/refractor_yu.htm (Pristupljeno 18. 12. 2013. g.)

Od površine teritorije Zemlje, prema kojoj će biti usmeren teleskop MOIRE, svetlost će dolaziti do refrakcione membrane, odakle će je difrakciona rešetka usmeravati u koncentrisan snop svetlosti do okulara kamere za snimanje. Tu će savremena informatička tehnologija digitalizovati snimak i pretvarati ga u signal, koji će se slati u operativni osmatračko-obaveštajni centar.



Teleskop MOIRE je najnovije sredstvo za američke savremenije obaveštajno-izviđačko-osmatračke delatnosti i oruđe za precizna dejstva

Pošto ovako konstruisan satelitski teleskop ne zahteva visok kvalitet stakla, njegova proizvodnja je mnogo jeftinija. Ustanovljeno je da optika, zasnovana na membrani, omogućava projektovanje mnogo većih i dužih teleskopa, sa mnogo većom rezolucijom. Pored toga, takva membrana može da se preklapa i pakuje u manje i lakše pošiljke za kosmos. Nova tehnologija, pored toga, eliminiše potrebu brušenja i pripreme sočiva za glomazne kosmičke teleskope, koji bi bili veći od poznatog Habla.

DARPA je prototip ovog teleskopa već testirala na zemlji, a istraživači ulaze u finalnu fazu projekta, rešavajući probleme najoptimalnije konstrukcije i simulirajući najrentabilniji oblik i veličinu.

Ovaj teleskop neće biti osetljiv na atmosfersku distorziju, koja neće uticati na rezoluciju snimka. Planirano je da se prva generacija ovakvih kosmičkih teleskopa lansira 2018. godine. Prvi od takvih teleskopa imaće segmentirani otvor prečnika 6,5 m, a blende 20 m, što će i do sedam puta pojačavati svetlo u odnosu na kosmički teleskop Hابل.

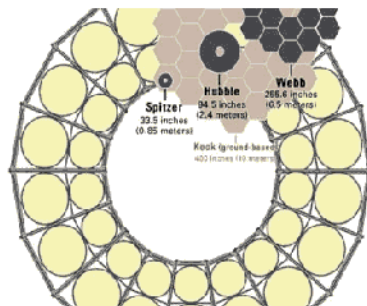
Transmisivni teleskop

MOIRE će, dakle, biti transmisivni teleskop koji će se sastojati od duge cevi i refrakcionog sočiva od tanke membrane (umesto ogledala). Na prednjem kraju membrana će prikupljati svetlost i fokusirati u okular. Optika za transmisivni teleskop je manje osetljiva na nesavršenosti folije, nego što je kod ogledala i sočiva koja se koriste u klasičnim teleskopima. Uparivanje transmisivne tehnologije sa difraktivnom optikom je, za sada, najpogodniji način da se teleskop velikih dimenzija lansira u kosmos.

Listovi folije umesto stakla, ugrađeni u sočivo prečnika 21 m, bez obzira na to koliko su tanki, omogućavaju da se na tlu konstruiše segmentirani objektiv, koji bi se otvorio u orbiti. Spomenute laboratorije, koje sa agencijom DARPA učestvuju u realizaciji projekta MOIRE, izgradili su primarni objektiv širok 5 m, kao i odgovarajući okular, koji je poslužio za testiranje. Difraktivnu optiku razvili su inženjeri u laboratorijama kompanije u Livermoru. Prototip je završen još 2002. godine, ali je projekat, zbog budžetskih ograničenja, mirovao skoro deceniju. Kad je agencija DARPA 2010. godine organizovala takmičenje u razvoju tehnologije za sistem video-snimanja u geosinhronoj Zemljinoj orbiti, analiza prispelih projekata pokazala je da je pronađeno novo rešenje za fleksibilniji okular. Time je dobijena blenda sa dovoljno velikim otvorom, koja može da prenosi difraktivni optički snop, što kosmičkom teleskopu omogućava da slika površinu Zemlje veću od 100 kvadratnih kilometara, sa stepenom ažuriranja video-snimka od jednog okvira u sekundi.

Samu vanjsku konstrukciju teleskopa projektovale su stručnjaci u laboratorijama „NeKsolve korporacije“. Njihova čvrsta konstrukcija objedinjuje optiku i dodatne elemente u jedinstvenu strukturu optičkog uređaja za snimanje, sa širokom propusnom moći. I, što je najvažnije, spakovan MOIRE teleskop može da se smesti u teretni prostor neke od kosmičkih raketa, a kada ona stigne u geostacionarnu orbitu može da se sastavi uz pomoć inteligentnog kompjutera. „NeKsolve“ je izradio membranu od poliamidnog materijala debljine 20 mikrometara, čija je masa u bestežinskom stanju nula. Na materijal ne utiču ni značajne promene temperatura u kosmičkom prostoru, te je i koeficijent termičkog širenja jednak nuli. To je značajno jer se materijal sa visokim koeficijentima termičkog širenja znatno rastežu i na taj način iskrivljuju sliku.

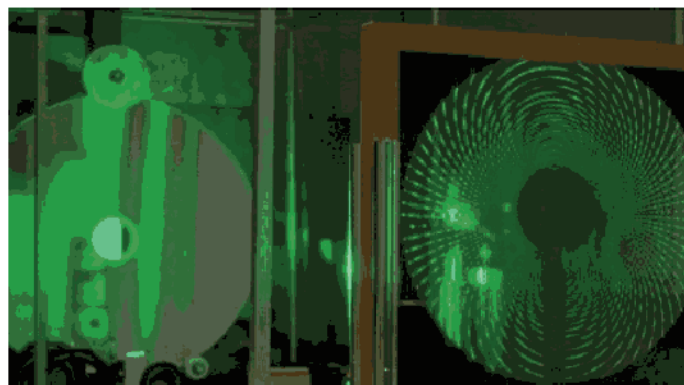
Transmisivni teleskop obično zahteva mnogo veće udaljenosti za fokusiranje nego reflektujući teleskopi. Konstruktori su u početku nameravali da konstrukciju načine tako da je okular sa drugim elektronskim komponentama, u orbiti, udaljen od sočiva za prikupljanje svetlosti nekoliko kilometara. To bi zahtevalo dve transportne rakete, kao i precizno poravnavanje daljinskim komandama sa zemlje. Takva konstrukcija bila bi složena, a rizik podešavanja suviše velik.



Šematski prikaz koji pokazuje kako će membrana satelita MOIRE biti sastavljena da bi sačinjavala sočivo od 21 m

Mikrogravura smanjuje žižnu daljinu

U konačnoj verziji smanjena je dužinu teleskopa, a za okular je iskorišćen proces mikrogravure. Na metar razmera optičkih komponenti dobijene su submikrometarske funkcije. Velika difrakciona rešetka i odgovarajuća optika skratili su potrebnu žižnu daljinu; za 10 metara prečnika teleskopa žižna daljina je 60 metara.



Prototip difrakcionih sočiva

Na kraju, sva ispitivanja završena su i provereno je da li je konstrukcija prilagođena za lansiranje. U toj varijanti primarni objektiv je postavljen na vrhu, a ostali delovi ispod, tako da se u kosmosu rašire kao kišobran. Membrana je postavljena u kružni šablon. Fotoosetljiv premaz na membrani nanesen je pomoću jonskog snopa. Rezultat tog procesa je površina na kojoj su šare, sa precizno razmaknutim žlebovima odgovarajuće dubine. Stručnjaci kompanije „NeKsolve“ su proces usavršili 2011. godini, kada je načinjen uzorak promera 80 centimetara, koji je poslužio za eksperimentisanje u ulozi objektiva za prikupljanje svetla. Već na početku testiranja efikasnost difrakcije bila je 30 odsto, dok je 35 odsto teorijska maksimalna efikasnost za konstrukciju membrane. U sledećoj fazi, okončanoj početkom 2013. godine, načinjeno je šest membrana prečnika 80 cm, za primami objektiv trapezoidnog oblika. Odabran je difraktivni premaz odgovarajuće boje za korektor koji prenosi svetlost u uređaj za snimanje.

Sam rad na izradi teleskopa MOIRE bio je veoma izazovan za stručnjake. Oni su uočili i fotorezistentan proces na premazu, što su otklonili adaptivnom optikom i korektivnim sočivima za teleskop. Problem je predstavljala i konstrukcija uređaja koji omogućava neprekidno održavanje napetosti membrane, poboljšanje glatkoće i radijalne simetrije, što je otklonjeno još tokom procesa proizvodnje.

Preliminarna testiranja potvrdila su izvodljivost ideje i efikasnost opreme koja se koristi. Inženjeri su, na osnovu praktičnih rezultata, napisali unapređeni algoritam koji je mogao generisati više složenih funkcija, što je poslužilo da inženjeri, u laboratoriji za difraktivnu optiku, nastave simulacije i eksperimentisanje. Najoptimalniji je bio oblik optičkih šara sa četiri nivoa. Impresivne performanse potvrdile su tezu da se šarama može dobiti više sofisticiranih modela sa zahtevanim nivoima prelamanja svetlosti. Efikasnost difrakcija porastao je od 35 do 55 odsto, što je bilo i više od prethodnih procena o teorijskim mogućnostima. Pored toga, „pozadinski šum od raspršene svetlosti“ smanjena je sa 30 na 1 odsto.

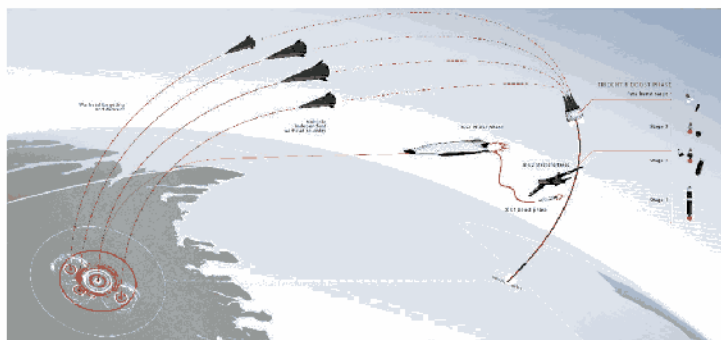
Aprila 2013. realizovana je „faza II“, demonstracija teleskopa sa integrisanim sistemom za refraktivnu optiku prečnika 5 m, na tlu. Rezultati su ubačeni u simulacioni model koji je pokazao da bi teleskop, prečnika 10 m, sa efikasnijom difraktivnom optikom, bio dovoljno efikasan u geosinhronoj orbiti. Pored toga, takav teleskop bio bi sedam puta lakši od reflektujućeg teleskopa iste veličine. „Lo-

rencova“ optika iz Livermora je prošla stručnu ekspertizu, čime je potvrđena teza da velika difraktivna membrana može da se upotrebi za lagani, segmentirani i najbitniji deo teleskopa. Odatle do zaključka da bi transmisivni svemirski teleskop sa prečnikom objektiva od 20 m bio optimalan oblik, nije trebalo mnogo. Proračunato je da bi teleskop te veličine omogućio da astronomi posmatraju vremenske prilike na Saturnu sa rezolucijom 100 kilometara ili planetarne magline daleko 600 svetlosnih godina sa rezolucijom od jedne astronomske jedinice.

Treba spomenuti da je DARPA, pored ovog teleskopa, planirala da načini i odgovarajući za „praćenje kosmičkog otpada“. Smatra se da su orbitalni sateliti postali veoma značajni za civilne i vojne aplikacije. Međutim, konstelacija postavljanja satelita oko Zemlje proizvela je opasnosti od svemirskog otpada i opšte gužve, kažu zagovornici projekta satelita za kontrolu kosmičkog otpada. To zahteva praćenje kretanja delova raketa, zastarele kosmičke tehnike i drugog otpada, kako bi se izbegli incidenti poput sudara satelita Iridijum-33 i Kosmos-2251, 2009. godine.

Militarizacija kosmosa

Ako je satelitski teleskop MOIRE trenutno najnoviji projekt američkih kosmičkih ambicija, koji treba da omogući efikasnije i temeljitije snimanje (protivničke) teritorije, kao i odraz težnji da se postigne još veća nadmoć u kosmičkoj dimenziji, onda to ukazuje na nove tendencije u militarizaciji kosmosa. S druge strane, ni Ruska Federacija ne ostavlja tu dimenziju u drugom planu. Uporedo sa generalnom reformom kosmičkog arsenala, rusko rukovodstvo usmerava težište na kvalitativno povećanje kosmičkih potencijala. Takva odluka proizilazi iz koncepcije usavršavanja strateškog raketno-nuklearnog naoružanja i povećanja potencijala konvencionalnih sredstava visoke preciznosti. U planu je novi kvalitativni odbrambeni program. Tako je 2013. godine iz Rusije lansirano desetak satelita, prethodne godine lansirani su sateliti kojima je kompletiran strateški sistem GLONASS, a u narednoj godini predstoji izvođenje u orbitu još šest novih kosmičkih uređaja, kao i početak testiranja savremene rakete-nosača „Angara“. Pored toga, počeće izgradnja zemaljskih infrastrukturnih objekata. Prema preliminarnim procenama, planirano je da se u ove svrhe do 2020. potroši nekoliko triliona rubalja. Svi ti „pasivni“ kosmički uređaji, koji sami po sebi ne predstavljaju udarne sisteme, činiće neodvojivi deo oružja visoke preciznosti, glavnog oružja 21. veka.



Jedan od američkih koncepta dejstva iz kosmosa supersoničnim letelicama nazvan „globalni udar“ (Global Strike)

Ne ulazeći u dalje političke odluke i procene da vojno-kosmička savremena i pouzdana orbitalna tehnika umnogome određuje bezbednost države, može se pretpostaviti da obe velike sile smatraju da postoje tendencije koje ukazuju na mogućnost novih ratnih sukoba u 21. veku.

Pored sajber prostora, težište je i na stvaranju kosmičke infrastrukture, posebno za osmatranje, izviđanje i obaveštajno prikupljanje podataka o aktivnostima potencijalnih protivnika (ISR).

Kao što se može zaključiti, projekt MOIRE, kao i odgovarajući ruski satelitski programi, ukazuju na to da cilj rata u budućnosti nije zauzimanje teritorije protivnika, već nanošenje nepogrešivih udara po njegovim bolnim tačkama. Može to značiti da u istoriju odlazi klasična strategija masovnog korišćenja kopnene vojske i oklopno-tenkovske tehnike, a smanjuje se i uloga strateške avijacije. Strateško naoružanje postaju nenuklearna sredstva visoke preciznosti.

To, kako procenjuju ruski vojni teoretičari, podrazumeva postojanje velikog broja orbitalnih aparata za podršku – satelitska obaveštajna sredstva, sredstva za upozorenje, prognoziranje i navođenje na cilj, koja i sama zahtevaju zaštitu i odbranu. Prema njihovim proračunima, treba očekivati da će oružje visoke preciznosti u vodećim zemljama sveta, tokom druge decenije 21. veka, dostići broj od 30 do 50 hiljada, odnosno 2020. bi u kosmos bilo lansirano 70–90 hiljada orbitalnih vojnih sistema. Za njihovu podršku biće neophodno zaista mnogo drugih sistema. Bez njih će „pametne bombe“ i krstareće rakete postati beskorisna neprecizna oružja. Pored toga, biće neophodni i sigurni sateliti za informacionu podršku. U obzir treba uzeti i činjenicu da u Zemljinoj orbiti raste broj udarnog naoružanja koje je sposobno da samostalno pogađa ciljeve u kosmosu, u atmosferi i na Zemlji.

U tom konceptu ratovanja sistem MOIRE postaje „oruđe kosmičke kupole“, koja na nišanu drži čitavu planetu.⁵³

Nikola Ostojić

*Automat iz Tule za ljude žabe*⁵⁴

Po novijoj teoriji savremenog ratovanja, oružana dejstva vode se u borbenom prostoru, dok je ranije korišćen pojam bojno polje. Novim pojmom želi se ukazati da su fizička poprišta savremenog ratovanja objedinjena u svih pet dimenzija – kosmičkoj, vazdušnoj, kopnenoj i pomorskoj. Peta dimenzija je sajber prostor, u koju se ratovanje seli velikom brzinom, u korak sa razvojem savremene informatičko-komunikacione tehnologije. Za svaku od dimenzija sačinjeno je adekvatno borbeno naoružanje.

Vodena prostranstva odavno su bila borbeno dimenzija, od kada je „veka i čoveka“. Međutim, podvodni prostor postao je ratna dimenzija tek kada su prve podmornice upotrebljene u borbi.⁵⁵

⁵³ Militarizacija kosmosa - pitanje vremena?; Ruska reč, Andrej Kisljakov, 12. decembar 2013. http://ruskarec.ru/science/2013/12/12/militarizacija_kosmosa_-_pitanje_vremena_26859.html (Pristupljeno 15. 12. 2013. g.).

⁵⁴ Ruski komandosi-ronioci postali nevidljivi pod vodom. Oni će učestvovati i u obezbeđivanju zimske olimpijade u Sočiju, Ruski kalibar, Oružje 7. 6. 2013. <http://fakti.org/oruzje/ruski-kalibar/ruski-komandosi-ronioci-postali-nevidljivi-pod-vodom> (pristupljeno 12. 12. 2013. g.).

Danas su to složena borbeno podvodna oružja, među kojima su torpeda i robotski oružani podvodni sistemi, podvodne mine i druga sredstva. Od Drugog svetskog rata i ljudi žabe su jedinice za borbeno dejstvo pod vodom. Te snage nazivale su se i amfibijske jedinice. Ronilačko oružje za komandose počelo je da se konstruiše tokom Drugog svetskog rata i posle njega, nakon što su vojnim flotama sveta formirane jedinice podvodnih diverzanata. Koristile su oružje koje je dejstvovalo izbacivanjem strelica ili harpuna pomoću elastičnih, gumenih traka (poput pračke). Kasnije je korišćen komprimovani vazduh za izbacivanje strelica iz podvodnog oružja.



Podvodni pištolj SPP-1M

U SSSR-u su, tokom 60-tih godina prošlog veka, specijalne jedinice obavestajne službe Ratne mornarice naoružane podvodnim pištoljima SPP-1 kalibra 4,5 mm.⁵⁶ To je prvo vatreno podvodno oružje. Međutim, pištolj SPP-1 se u operativnu upotrebu počeo uvoditi 1971. godine. Na osnovu novih ideja, u ranim 70-im godinama u SSSR-u razvijena je i podvodna jurišna puška APS, pri čemu ta skraćenica označava podvodni specijalni automat (Avtomat Podvodnyj Specialnyj) ili „Specijalnu podvodnu jurišnu pušku“. Model je usvojen i puška je uvedena u naoružanje mornaričkih pešadijskih jedinica 1975. godine.





*Amfibijska jurišna puška ASM-DT
sa okvirom za podvodnu municiju (gore)
i klasičnu municiju (dole)*

ponašao se u skladu sa hidrodinamičkim zakonitostima. Zbog toga je APS u vodi imao veći domet i veću prodornu (ubojitu) moć, nego u vazduhu.

Dakle, i pištolj i puška APS mogli su efikasno i precizno da dejstvuju pod vodom, ali ne i na suvom. Na kopnu se tim oružjem moglo pucati u neprijatelja, ali samo ako je u neposrednoj blizini. Već na rastojanju od 50 m dejstvo nije bilo precizno, a i ubojitost je bila mnogo manja. Osim toga, podvodni automat, na suvom, nakon ispaljenih 180 hitaca više nije bio za upotrebu. Zbog ograničenih mogućnosti komandosi su na zadatak nosili podvodne i klasične „kalašnjikove“ i pištolje „makarov“. Naravno, to ih je sputavalo u dejstvima.

Eksperimentalna amfibijska jurišna puška

APS je imao veću ubojitu moć od pištolja, ali je to bilo glomaznije oružje, koje je zahtevalo više vremena da se usmeri na cilj. Duga cev i masivan okvir sa municijom bili su osetljivi na strujanje vode, što je zahtevalo poseban trening i uvežbavanje za rukovanje ovim oružjem, kao i veliku snagu u rukama.

Prvi poznati pokušaj da se proizvede oružje koje se može efikasno koristiti, „ispod i iznad vode“, bila je eksperimentalna amfibijska jurišna puška ASM-DT. Oružje je razvijeno u Tuli⁵⁷ 2000. godine. Za usavršavanje tog naoružanja angažovan je „Konstruktorski biro za instrumente (i naoružanje)“ KBP (Konstruktorskoe Bu-

Ta puška koristila je, za dejstvo pod vodom, municiju sa dužom čeličnom strelicom, kalibra 5,66 mm. Taj kalibar je specijalno razvijen za ovu pušku. Međutim, tom municijom se nije moglo dejstvovati van vode, jer je oblik projektila bio, po svojim hidrodinamičkim osobinama, prilagođen samo za dejstvo u vodi. Van vode pogoci su bili neprecizni, a domet veoma kratak. Ovaj kalibar za podvodni metak često se zamenjivao kalibrom 5,56 mm i 120 mm (4.75 in), zbog dužine igle koja je štrčala izvan čaure. U okvir za podvodnu municiju stajalo je 26 metaka. Cev oružja nije bila izolučena, a ispaljeni projektil



Municija za podvodnu pušku APS

⁵⁷ Tolski zavod za naoružanje, TOZ (Tulsky Oruzheiny Zavod / Тульский Оружейный Завод) Tula Arms Plant.

ro Priborostroeniya). Oružju je dodato još jedno ležište za klasičnu municiju. Puška je pod vodom, i dalje koristila podvodnu municiju sa dugačkim strelicama.

I ova puška bila je nezgrapna i komplikovana za korišćenje izvan vode. Naime, nakon izlaska iz vode vojnik je morao umetati okvir sa standardnom municijom i menjati režim vatre. To nije bilo prikladno za borbenu upotrebu i usporavalo je specijalca prilikom brzih akcija.

Iako su specijalne pomorske snage dugo koristile ovu podvodnu pušku, postavljano je više zahteva da se ona poboljša tako da se njome može efikasnije dejstvovati na kopnu.

Da bi se otklonili problemi dvojnog dejstva, u vodi i van nje, razvojni tim je usmerio svoju aktivnost u razvoj i usavršavanje municije.

Do 2005. godine razvojni tim u KBP je uspešno razvio efikasnu podvodnu municiju koja zadržava kompaktnu celinu u podvodnoj i „vazdušnoj“ varijanti. Nije menjana veličina i ona je ostala ista kao kod standardnog metka kalibra 5.45x39 7N6, kojim se dejstvuje iz puške AK-74. Time je postignuto da se za dejstvo podvodnom municijom i municijom za dejstvo na kopnu koristi isto ležište metka, što nije zahtevalo promenu konstrukcije naoružanja.

Novi podvodni metak dobio je oznaku 5.45x39 PSP, a spolja je sličan standardnom 5.45x39 metku. Dužina strelice na podvodnom metku nije problem za ubacivanje u ležište, s obzirom na to da je strelica utisnuta u čauru sve do dna, pa i podvodni metak ima dužinu 53 mm, kao i standardni. Ukupna dužina okvira je 57 mm.

Dakle, puška koristi dve vrste municije, i to metak 5.45 PSP (borbena municija) od kaljenog čelika mase 16 g, koji ima početnu brzinu u vazduhu oko 330 m/s, i metak 5.45 PSP (municija za obuku i borbena dejstvo) sa bronzanim projektilom od 8 g. Početna brzina ovog zrna na ustima cevi je 430 m/s. Efektivni domet metka sa strelicom varira od 25 m, na dubini 5 m do 20 m na dubini od 18 m. Municija za uvežbavanje ima upola manje punjenje i domet.



Automatska puška APS 5,45 mm, sa punim okvirom, teška je 3,6 kg

Automatska puška APS, sa punim okvirom, teška je 3,6 kg, kapacitet okvira je 26 metaka, dužina puške sa sklopljenim teleskopskim kundakom je 620, a sa rasklopljenim 840 mm. Puška radi na principu pozajmice barutnih gasova, koji pomoću samopodešavajućeg ventila na gasnom cilindru omogućavaju njeno funkcionisanje na različitim dubinama pod vodom i na kopnu. U okvir puške staje 30 metaka, dok su u pištolju četiri metka.

Bulpup koncept

Prototip ruske podvodne puške ADS 5,45 mm sa bulpup sistemom i standardnim okvirom za dve vrste municije

Međutim, nadležno ministarstvo je, nakon opitovanja u korišćenju dve vrste municije, ustanovilo da je puška kompleksna i složena, te je dao nalog da se nastavi sa savršavanjem. Razvojni tim KBP, na osnovu iskustva i praktičnih prove-
ra, počeo je da razvija novi model oružja, zasnovan na bulpup konceptu. Ovaj

Jedinstvena tehnologija

Ruska tehnologija izrade automatskog podvodnog oružja je jedinstvena u svetu. Ideju i osnovnu konstrukciju razradio je pokojni ruski konstruktor streljačkog oružja Vasilij Petrovič Grazjev. Njegovo započeto delo dovršili su saradnici i učenici iz Centralnog konstruktorskog istraživačkog biroa za sportsko i lovačko oružje, u sastavu Konstruktorskog biroa za instrumente. Oni su, 2007. godine, usavršili podvodni metak, tako što su u čauru za običan metak, kalibra 5,45 mm, umesto zrna umetnuli strelicu, koja se protezala celom dužinom i oslanjala na dno. Barut je bio raspoređen oko strelice. Ležište metka na oružju nije se moralo menjati, niti režim vatre, osim što je vojnik morao zameniti okvir.

koncept podrazumeva rukohvat sa mehanizmom za okidanje ispred okvi-
ra sa municijom i nekim drugim konstruktivnim osobenostima. Nova pu-
ška je označena kao ADS (Avtomat Dvuh srednykh Special'nykh – automat dvostruke namene – specijalni). Isko-
rišćena je „91m bulpup puška“, kao polazni model. Cev je zadržala istu dužinu, ali su izmenjeni ležište metka i zatvarač. Zadržan je koncept dej-
stva povratnog klipa na koji deluje sila gasa u gasnom cilindru i rotacio-
na glava zatvarača. Neki delovi oruž-
ja nužno su promenjeni, kao i materi-
jal koji omogućava da oružje pouzda-
no deluje i kad je potopljeno u vodi. Modifikovan je sistem za gas, tako da se sam podešava kada oružje deluje u vodi ili u vazduhu.

Na oružje je integrisan bacač granata 40 mm VOG – 25, koji ispalju-
je projekte pritiskom na dodatni pred-
nji okidač unutar štitnika. Potcevn ba-

cač može se ukloniti ukoliko bi predstavljao problem pri određenim dejstvima. Puška je opremljena podesivim mehaničkim nišanom, a sastavni deo za nošenje je ručka sa „pikatin“ šinom. Ona služi za nameštanje durbina, dnevno-noćnih elektronskih nišana ili laserskog merača daljine. Sa municijom kalibra 5.45x39 izvan vode dejstvuje veoma precizno, sa tačnošću i efikasnošću AK-74 / AK-74M jurišne puške. Pod vodom sa 5,45 PSP municijom nadmašuje APS podvodnu pušku, kako po tačnosti dejstva, tako i po lakoći korišćenja i rukovanja.

Sredinom 2009. godine objavljena su opsežna ispitivanja na terenu u ruskim pomorskim specijalnim snagama. Predviđeno je da se ovim modelom zamene APS podvodne jurišne puške u ruskoj mornarici, jedinicama za specijalne operacije i drugim ruskim specijalnim snagama, koje bi mogle biti angažovane u podvodnim operacijama snaga bezbednosti, za borbu protiv terorista u moru ili za podršku u klasičnim pomorskim desantnim dejstvima.

Zahvaljujući ruskim talskim oružarima, problem dejstva istim oružjem pod vodom i van vode rešen je 2013. godine „automat-amfibijom“. Novi model se od prethodnog razlikuje po tome što poseduje samo jedno ležište za okvir i što funkcioniše na bulpup principu. Pod vodom automat dejstvuje mecima kalibra 5,45x39 mm sa

strelicom, a na suvom standardnim mecima sa klasičnim zrnem istog kalibra. Meci se nalaze u različitim okvirima, te je potrebno samo zameniti magacin.

U konstrukciji automata ADS korišćeni su kompozitni materijali, što je smanjilo masu oružja i povećalo otpornost na koroziju. Primenjeno je izbacivanje praznih čaura napred, a ne u stranu, i to bez povlačenja zatvarača. Pored toga, u razvoju te automatske puške realizovano je više originalnih tehnoloških rešenja, koja su omogućila da se smanji veličina automata bez skraćivanja cevi. Kundak ADS ima amortizere koji ublažuju trzaj oružja na rame. Gasnom cilindru dodat je regulator gasova koji omogućava automatsko biranje gasnih režima „voda-vazduh“. Na „podvodnom kalašnjikovu“ to je samopodešavajući ventil na gasnom cilindru koji se prilagođava dubini bez ikakve intervencije ronioca. Za razliku od klasičnog „kalašnjikova“ cev nema žlebove.

Prema taktičko-tehničkim karakteristikama za pušku, hidrodinamička stabilnost projektila omogućava efektivne domete pod vodom i to: na 5 m dubine domet je 30 m, na 20 m ispod površine domet je 20 m, a na 40 m domet je nešto više od 10 m.

Ronilački komplet

Ruski ronilački komplet sadrži autonomni aparat sa zatvorenim sistemom za disanje pod vodom „Amfora“, koji ne obrazuje mehuriće vazduha u vodi i omogućava roniocu da ostane nevidljiv. Ronilačko odelo omogućava spuštanje na dubinu do 40 metara i rad na temperaturi od nule do +35 stepeni. U kompletu su još i specijalni nož, lampa, kompas, peraja kao i uređaj za bezbednu podvodnu daljinsku akustičku vezu.

Svaki ronilac nosi pancir „Korsar-B“ (gusar) sa četvrtim stepenom zaštite koji izdržava hitac iz specijalnog podvodnog vatrenog oružja, kao što su pištolji SPP-1 i automati PS, kao i metke „kopnenog“ kalašnjikova AK-47.

Ministarstvo odbrane Ruske Federacije namerava da potroši 120 miliona rubalja za kupovinu 76 kompleta novih ronilačkih odela „Amfora“ za pripadnike ronilačkih specijalnih jedinica.

Za razliku od klasičnog „kalašnjikova“ cev nema žlebove koji rotiraju zrno po ispaljenju. Projektili za podvodnu pušku (kao i za pištolj) igličastog su hidrodinamičkog oblika, izrađeni od srednjetrovrog čelika. Metak se sastoji od čaure identične standardnoj municiji, dok se igličasti projektil proteže celom dužinom čaure. Pri ispaljivanju metka oseti se blagi trzaj. Međutim, treba obratiti pažnju na talasni udar sa usta cevi, pošto nepripremljenom ronioncu može da skine masku s lica ili izbacii regulator za disanje iz usta. Puška može da puca i rafalno. Čuju se pucnji pri ispaljivanju, dok se na površini čuje prasak poput onoga kada se koristi oružje sa prigušivačem. Model puške ADS 5,45x36 mm predstavljen je na izložbi naoružanja i vojne opreme „Interpolitex 2013“ u Moskvi.

ADS automat nešto je manji od standardnog „kalašnjikova“. Prototip je prošao ceo ciklus probnog testiranja i dobio pozitivne ocene. Tokom 2013. i 2014. godine nastavljaju se opitna ispitivanja i probno korišćenje u delu specijalnih jedinica. Ispostavilo se da je konstrukcija tog oružja izuzetno dobra, a vojni stručnjaci kažu da je univerzalna. Odluka o njegovom uvođenju u operativnu upotrebu može biti doneta tokom 2014. godine kada se završe poligonska testiranja. Iako je to oružje razvijeno za ruske komandose, vojni stručnjaci ukazuju da ono može postati oružje svih specijalnih jedinica Glavne obaveštajne uprave momaričke pešadije i kopnene vojske.

U naoružanju ruskih ljudi žaba i dalje ostaje pištolj SPP-1M. On ima četiri cevi, sa municijom je težak 1.030 g, dugačak je 244 i širok 25 mm. Reč je o vatrenom oružju koje, takođe, ispaljuje igličaste projektele izrađene od srednjetrovrog čelika, hidrodinamičkog oblika. Deklarisani efektivni domet pištolja na kopnu je do 20 m, a pod vodom zavisi od dubine – na 5 m domet je 17, a na 20 m dubine iznosi 11 m.

Podvodno oružje za Vojsku Srbije

Od maja 2012. godine u jedinicima Vojske Srbije takođe se ispituje podvodno naoružanje, puška i pištolj ruske proizvodnje.⁵⁸ Posle ispitivanja oružje će ući u upotrebu jedinica ronilaca Rečne flotile i drugih specijalnih snaga koje imaju ronilačke timove. Na ispitivanju u Tehničkom opitnom centru Vojske Srbije nalaze se podvodni pištolj SPP-1M i puška ruske proizvodnje, model ADS 5,66 mm. U opitovanju učestvuju pripadnici specijalnih jedinica i ronionci, koji nastavljaju tradiciju nekadašnjih pomorskih diverzanata iz 82. pomorskog centra. Za njih je Uprava Generalštaba Vojske Srbije za planiranje i razvoj nabavila i automatske podvodne puške i pištolje. Oružje se testira na dubinama od 5 i 20 m u realnim uslovima.

S tim u vezi, treba znati da je ronjenje u rekama i jezerima daleko teže nego u moru.

Prilikom testiranja nije se desio nijedan zastoj. Tokom 2013. godine ronionci 93. ronilačke čete Vojske Srbije testirali su spomenuto specijalno podvodno rusko oružje i švedsku ronilačku opremu, na dnu Zaovinskog jezera na Tari, u saradnji sa stručnjacima Tehničkog opitnog centra. Dubina testiranja oružja iznosila je 20 m.⁵⁹

⁵⁸ Vojska Srbije testira novo oružje namenjeno ronioncima, Vestinet.rs, <http://www.vestinet.rs/drustvo/vojska-srbije-testira-novo-oruzje-namenjeno-ronioncima> (Pristupljeno 12.12.2013. g.).

⁵⁹ Rafali pod vodom, Ronionci 93. ronilačke čete VS testirali specijalno rusko oružje i švedsku opremu, Politika online 11. 12. 2013. g. <http://www.politika.rs/rubrike/Drustvo/Rafali-pod-vodom.ft.html> (Pristupljeno 13. 12. 2013. g.).



Slično naoružanje razvijano je i u zapadnim zemljama. Poznatiji je podvodni pištolj Hekler i Koh P11 koji ispaljuje potkalibarne čelične projektile. H&K P11. Razvijen je 70-ih godina prošlog veka kao svojevrsan odgovor na sovjetski SPP-1, a namenjen je ličnoj zaštiti podvodnih diverzanata i ronilaca u borbenim dejstvima. Oružje je kontejnerskog tipa i sastoji se od 5 cevi s umetnutim potkalibarnim projektilima, zajedno s potisnim punjenjem, objedinjenim u zajednički doboš. Kalibar municije je 7,62x36 mm, dužina 200 mm, a masa 1200 g. Punjenje sadrži 5 projektila (u kontejnerskom bloku). Efikasan domet na kopnu 30 m pod vodom 10–15 m, što zavisi od dubine dejstva. Svaka cev je samostalna i hermetički zatvorena. Kada se ispali svih 5 projektila, svaki iz zasebne cevi, celi kontejner sa 5 cevi se skida i zamenjuje novim.



Lično podvodno oružje tipa H&K P11

Nema sumnje da će, i u vremenu pred nama, razvoj tog, kako ga nazivaju „amfibijskog“ naoružanja za dvojnu upotrebu, kako pod vodom tako i na kopnu, biti nastavljen. Težište razvoja biće na povećanju dometa (posebno podvodnog), efikasnosti dejstva pod vodom i izvan vode, kao i smanjivanju ukupnih gabarita.

Nikola Ostojić

Hekler i Koh HK XM25, „pametni“ lanser granata*Lanser granata 25 mm Hekler i Koh XM25*

Vojni stručnjaci su još 2012. godine načinili listu 10 oružja budućnosti. Na prvom mestu su elektromagnetska ili energetska, pa kinetička, zatim naoružane bespilotne letelice i projektili brži od zvuka do pet puta. Spominje se metafleks maskima tehnologija, biološki sintetički mikroorganizmi (Bio Design Synthetic Organisms), najnovija generacija protivbalističkih raketa, takođe nadzvučnih brzina i „tihi zastrašujući oružani sistemi“ (Dread Silent Weapon System), pod kojima se podrazumevaju naoružane kopnene robotske platforme.

U tu desetorku spada i „pametni“ lanser granata 25 mm Hekler i Koh XM25 (Heckler & Koch HK XM25 IAWS 25mm Grenade Launcher Smart)⁶⁰. To oružje je prvi put predstavljeno 2012. godine. Nakon toga poslato je u Avganistan, gde je korišćeno u urbanim i taktičkim dejstvima. Jedna od osobina je da dejstvuje iza zidova, prema proračunu na osnovu podataka od laserskog daljinomera. Eksplozija projektila programira se i on može da dejstvuje pre ili iza prepreke.

Kada je 2012. godine prototip programabilnog „pametnog“ bacača granata XM25 mm raspoređen u Avganistanu, vojnici su se uverili da je mikroeksplozivna municija efikasna i na daljinama većim od 750 m, što je čak i dalje nego nišana daljina standardnog pešadijskog oružja. Tada su američki vojnici govorili da je „budućnost stigla u njihove jedinice“.

⁶⁰ Dan Alex: Future weapons, Thursday, January 26, 2012, 10 future weapons are constantly being developed, <http://future-weaponsworld.blogspot.com/>, ažurirano 11/21/2013 (Pristupljeno 19. 12. 2013. g.).

Kad je u pitanju razvoj ovog oružja, treba imati u vidu da je 90-tih godina koncipiran sistem „objektivnog borbenog individualnog oružja“ (Objective Individual Combat Weapon) ili selektivne borbene jurišne puške SABR (Selectable Assault Battle Rifle). Na osnovu prototipa i eksperimentalnog testiranja dalji razvoj je obuhvatao dva modela: poluautomatski individualni (lični) oružni sistem za dejstvo iznad terena (Individual Airburst Weapon System) i XM25 CDTE sistem za dejstvo na ciljeve iza zaklona (Counter Defilade Target Engagement System). Pojam airburst je izveden iz terminologije koja se koristi za lansere, kod kojih je na upaljaču moguće postaviti odloženo aktiviranje municije u vazduhu, iznad cilja, čime je povećana verovatnoća ubojitog dejstva.



Vrste municije za bacač granata XM25

Savremena tehnologija ubrzala je razvoj i postojeće osobine ovog tipa oružja su ujednačene. S obzirom na to da je odobren dalji razvoj tokom 2014. i 2015. godine, za očekivati je objedinjavanje svih funkcija u jednom oružju. Dakle, prema najnovijim specifikacijama to bi trebalo da bude oružje koje će moći da dejstvuje iznad protivnika, kao i po ciljevima koji se nalaze izvan vidokruga strelca, skriveni iza zida, reljefnih neravnina, u rovovima ili jarugama.

Nekoliko komponenti čini ovo oružje efikasnim. To je, pre svega, automatski laserski daljinomer, zatim senzori pokreta sa „smart“ računarom sposobnim da na osnovu brzine kretanja protivnika veoma brzo u nekoliko sekundi ili minuta, proračuna njegov položaj. Pretpostavimo da, na primer, protivnički mitraljezac dejstvuje po jedinici nekoliko trenutaka, a zatim se sakriva iza zida. Laser određuje daljinu do cilja. „Pametni“ računar, koji proračunatu daljinu uzima u ob-

zir za dejstvo, dodaje nekoliko metara iza skrivenog protivnika, kako bi granata bila efikasno prebačena preko zida i eksplodirala. Računar uzima u obzir i kretanje protivnika iza zaklona, tako da prečnik dejstva sigurno mora imati ubojiti efekat. Pri tome računar izračunava i pritisak vazduha, temperaturu i balističke elemente, koje predaje mikročipu u projektilu XM25, pre nego što je lansiran.

XM25 je poluautomatsko oružje sa gasnim cilindrom i klipom, rotirajućim zatvaračem, odnosno bulpup (bullpup) konstrukcijom. Kućište oružja je izrađeno od otpornog polimera. Otvori za izbacivanje čaura su na obe strane oružja, ali se samo jedan koristi za izbacivanje, dok je drugi zatvoren integralnim štitnikom od prašine. To omogućava dejstvo vojnicima i desnom ili levom rukom. Sa gornje strane oružja je šina za elektronski interfejs i dodatke (XM104 TA/FCS nišan). Interfejs omogućava programiranje nišana koji prenosi nameštene podatke do granate, a služi i kao osigurač u trenutku dejstva. XM104 se napaja baterijom. Dodatni režim vatre i kontrolni tasteri nalaze se na prednjem delu proširenog zaštitnika okidača. U okvir staje 6 metaka.

Za ovo oružje razvijeno je više vrsta granata i to klasični projektil koji eksplodira nakon udara u cilj XM1019, „projektil visokoeksplozivnog dejstva u vazduhu iznad cilja“ HM1049 HEAB (High-explosive airbursting ground round), metak neubojitog dejstva i projektil za probijanje oklopa 50 mm penetracijom (Armor

Piercing – 50 mm armor penetration). Četvrti projektil ima ulogu da osmatraču ili snagama za podršku pokaže zonu ciljeva (Spotter detects, observes, and assigns targets and watches for the results of the shot).⁶¹

Prazno oružje je teško približno 6,35 kg, dugačko 74,9 cm a razvijeno je laboratoriji „Alijant Tečsistems“ u Minesoti, SAD (Alliant Techsystems, Minnesota US), a u celokupnom razvoju učestvovala je i nemačka kompanija Hekler i Koh. Municija ima kalibar 25x40 mm, koja staje u magazin (Feed sistem 4). Kada je načinjen prototip 2012. godine, početna brzina projektila bila je 690 m/s, a efektivni domet 550 m za tačkaste ciljeve, 765 m za grupne mete, dok je maksimalni domet bio 1.100 m. Pored toga, gra-

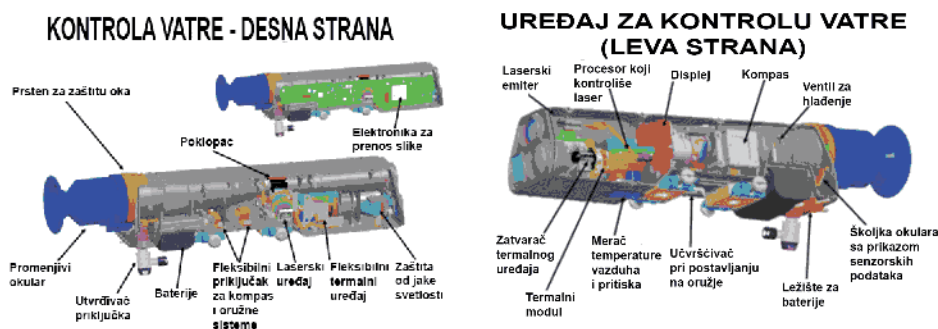


⁶¹ Ova terminologija najčešće se koristi pri dejstvu timova snajperista, gde osmatrač, na osnovu podataka o dejstvu projektila na cilju zaključuje kolika je brzina vetra, izazvana temperatura na mestu pogotka, pomaže u korekturi vatre i uglu dejstva, proračunima za korekciju dejstva u odnosu na atmosferske uslove i pri otvaranju vatre na pokretne mete. Opremljen je malim taktičkim računarom ili tabletom konstruisanim specijalno za obavljanje ovih proračuna.

Korišćenje municije koja dejstvuje iznad protivnika skrivenog iza zida ili u rovu, kod bacača granata, ukazuje na primenu postupaka iz vojne doktrine, gde se za svaki borbeni tim u kom je snajperista dodeljuje osmatrač, poznat kao „flanker“ (bočni član). Njegov zadatak je da posmatra objekte koji nisu vidljivi za strelca i pomaže u preciznosti pogađanja.

nata može da probije oklop debljine 50 mm penetracijom. Oružje je proveravano i testirano u opitnom centru Aberdin. Nišanski i akvizicioni sistem razvili su inženjeri kompanije L-3 IOS Brašer (L-3 IOS Brashear). Poslednja ispitivanja 2012. i tokom 2013. godine pokazala su da krajnji domet može biti i 2.300 m.

Tim bacačem naoružane su patrolne u Avganistanu, koje su slane u izviđačke akcije, učestvovala u napadima na pobunjeničke logore ili se premeštale na nove položaje. Ustanovljeno je da pametni laserski daljinometar i pametni nišanski sistem daje prednost vojnicima u preciznosti i efikasnosti dejstva. Posebno su bili uspješniji nego sa prethodnom generacijom bacača granata 45 mm. Prednost je u tome što se na oružju može podesiti da projektili iz XM25 eksplodiraju u vazduhu, iznad ili sa strane cilja. Laserski daljinomer koristi se za određivanje rastojanje do cilja. Korisnik ručno podešava udaljenost na kojoj će granata eksplodirati i može biti kraća ili duža, a najdalje do 3,0 m. Podešavanje strelca automatski se prenosi do detonatora u granati, još dok je u ležištu. Granata prati rastojanje po broju spiralnih obrtaja koje načini nakon što je izbačena iz cevi. Dakle, ovim oružjem strelac može da programira dejstvo na odgovarajućem rastojanju da proizvede željeni efekat eksplozije. Strelac može da izabere i municiju sa manjim eksplozivnim punjenjem koje ošamućuje protivnike umesto da ih ubija.



Sistemi za upravljanje vatrom XM25, pogled s obe strane

Oružje je počelo da se razvija u okviru programa „individualno borbeno oružje“ (Individual Combat Weapon) kasnih 90. godina prethodnog veka, pod nazivom bacač granata XM29 40 mm. To je trebalo da bude lično borbeno oružje koje bi se postavljalo na pušku. Masa prvog prototipa bila je 8,2 kg. Granata sa upaljačem imala je masu 540 g, ali se nije pokazala dovoljno efikasnom u dejstvu po protivničkoj živoj sili. U avgustu 2003, projekat XM29 nastavlja da se razvija u dva posebna modela, od kojih jedan predstavlja samostalni bacač granata XM25, a drugi se razvija kao potcevni bacač XM8. Kao samostalan lanser granata XM25 trebalo je da postane oružje za podršku pešadije. Šest prototipova tog oružja je 2005. godine testirano u vežbovnim uslovima. Dve godine kasnije, oni su u inostranstvu testirani u borbenim situacijama. Planirano je da to oružje bude poslato na ratište i u 2008, ali na sugestiju korisnika i rezultate testova odlučeno je da se preradi. Tek je u leto 2010. godine vojska SAD počela borbeno testiranje XM25 u Avganistanu.

Pet oružja, sa po 1.000 projektila raspoređeno je u 101. vazduhoplovnu diviziju u Avganistanu u oktobru 2010. Izveštaji iz jedinica potvrdili su da je oružje izuzetno efikasno za neutralisanje protivnika. Američki vojnici nazvali su ga „osvetnik“ (Punisher), a prvo borbena krštenje doživelo je 3. decembra 2010. godine. Od februara 2011. do kraja godine oružje je korišćeno 55 puta u vojnim operacijama, u po dve jedinice na različitim lokacijama. Njime su zaustavljena dva pobunjenička napada na osmatračnice, uništena dva mitraljeza PKM i osujećene četiri zasede. Jedinice sa XM25 nisu imale gubitaka tokom tih dejstava. Bobene aktivnosti su trajale 15 do 20 minuta. Međutim, zahtevalo se da se domet poveća za 1.000 m. Septembra 2012, „Alijant Tečsystems“ dobija 16,8 miliona dolara za modifikaciju XM25.

Naravno, nije sve išlo kako je planirano, pa je 2. februara 2013. godine tokom uvežbavanja gađanja, detonator eksplodirao u cevi, ali je bezbednosni mehanizam sprečio bojevu glavu da ne eksplodira. Oružje je bilo neupotrebljivo posle eksplozije, a strelac je zadobio manje povrede. To oružje je zatim povučeno iz Avganistana, a statistika kaže da je između kvarova ostvareno 5.900 ispaljenja. Uprkos incidentu, Pentagon predlaže još 69 miliona dolara za unapređivanje i nabavku 1.400 komada tog oružja.

Nakon toga nastavljena je modifikacija, izmenjeno je 130 delova na oružju kao i kod municije. Ujedno su promenjene operativne procedure za njegovu upotrebu. Planirano je da se nabavi 10.876 tih borbenih sistema, ali je Odbor za oružane snage senata imao drugačije mišljenje. Ipak, i pored toga naručene su manje količine usavršenog oružja do avgusta 2014. godine, tačnije 1.100 komada sa borbenim kompletom. Oružje je trenutno u proizvodno-razvojnoj fazi, a unapređenja se odnose na poboljšanje sistema za upravljanje vatrom, trajanje baterija, smanjenje mase i veličinu transportnog pakovanja. Nakon avgusta 2014. taj oružani sistem će ponovno proći operativne, a verovatno 2015. i borbene testove. Razvojni timovi imaju još vremena da do kraja 2015. usavrše oružje i pripreme ga za uvođenje u borbenu upotrebu i operativno naoružanje. Oružjem bi bili naoružani borbeni timovi u svim brigadama, kao i jedinice KoV za specijalne operacije, odredi obaveštajnih struktura za specijalne operacije, kao i rendžerski pukovi.



Za bacač granata XM25 „osvetnik“ izrađen je i simulator za uvežbavanje i obuku u gađanju u različitim terenskim i vremenskim uslovima

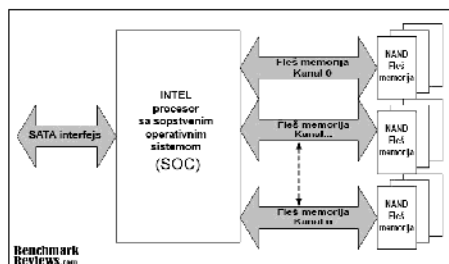
S obzirom na to da je reč o veoma sofisticiranom oružju, izuzetnih taktičko-tehničkih i ubojitih osobina, za njega je sačinjen i simulator za obučavanje.

Bacač granata XM25 sličan je po izgledu drugim bacačima granata Hekler i Koh/Alijant Tečsystems oružjima, s obzirom na to da je razvoj bio zajednički.

Kada je reč o razvoju municije za ovo oružje, planira se da borbeni komplet sadrži granate za neposredno eksplozivno dejstvo po cilju, zatim bojevu glavu sa visoko-eksplozivnim efektom (Heab – snažna eksplozija u vazduhu) i sa rasprskavajućim dejstvom. Predviđena je i granata sa termobaričnim efektom, za dejstvo u zatvorenim prostorima (u zgradama, podzemnim prolazima i pećinama). Pored toga, borbeni komplet će sadržavati i standardne granate za obuku, kao i nesmrtonosne projektele za dejstvo po uličnim demonstrantima i sl.

Sistem za upravljanje vatrom XM25 nosi naziv TAFCS (Target Acquisition Fire Control System), a razvili su ga inženjeri u laboratorijama L-3 Braširove komunikacije (L-3 Communications Brashear). On omogućava strelcu da precizno usmerava vatru na protivničke ciljeve u toku dana i noći (preko termalnog uređaja), u nepovoljnim vremenskim uslovima i na ciljeve iza prirodnih i veštačkih zaklona. Pored toga, oružje može dejstvovati i kroz otvore na zgradama po ciljevima unutar utvrđenih urbanih objekata. Laserski daljinomer omogućava da se izračuna udaljenost do prozora, a strelac programira granatu da eksplodira nekoliko metara nakon što uleti u prostoriju. Pri tome ne izaziva veća oštećenja unutrašnjeg skeleta zgrade. Na prednjoj strani oružja, odnosno na štitniku okidača nalazi se dugme za aktiviranje laserskog daljinomera. Strelac, takođe, ima kontrole za fino podešavanje opsega, za dodavanje ili oduzimanje daljine na kojoj će eksplodirati projektil. U okularu vidi krstić kojim usmerava oružje na cilj, podatke o temperaturi i pritisku, a posebno udaljenost. Sistem za upravljanje vatrom automatski procenjuje uticaj trenutne temperature vazduha i pritiska i uzima u obzir za proračunavanje balističke putanje zrna.

Celokupnim sistemom upravlja procesor Intel X25-M sa SATA memorijskim drajverom SSD (Solid State Drive).⁶² Procesor poboljšava odziv sistema za mobilne aplikacije preko standardnih memorijskih medija. Kombinovanjem Intelove NAND fleš memorije u tehnologiji od 20 nm, procesor preko kontrolera obezbeđuje čuvanje memorije na SATA (Native Serial Advanced Technology Attachment) hard disku, koji nema rotirajuće ploče i pokretnu glavu. Zbog toga procesor Intel preko SATA interfejsa omogućava brzo čitanje i zapisivanje podataka na X18-M/X25-M SSD kartici, što značajno ubrzava vremena pristupa do podataka i brze proračune. Ulazno-izlazni protok (I/O) veoma je brz i omogućava funkcionisanje elektrooptičkih komponenti na sistemu za upravljanje vatrom XM25, u realnom vremenu. Rad



Intelova arhitektura sa NAND i SATA memorijom upravlja sistemom za kontrolu vatre XM25

⁶² Intel X25-M SATA 80GB MLC SSD, Reviews Featured Reviews: Storage Written by Miles Cheatham, Sunday, 18 January 2009, http://archive.benchmarkreviews.com/index.php?option=com_content&task=view&id=283&Itemid=60&limit=1&limitstart=1 (Pristupljeno 20. 12. 2013. g.).

procesora X25-M deklarisan je na 50.000 ciklusa, što se odnosi na brzinu kojom procesor upiše neki podatak na disk, a zatim ga ukloni, pa opet obnovi.

Ova memorija ima veličinu 20 GB, što je sasvim dovoljno za funkcije koje obavlja sistem za upravljanje vatrom. Naravno, umetanjem 3D SSD memorije ona bi se mogla povećati i više od 128 GB. Vek njenog korišćenja veći je od pet godina. Postoje i prenosni gadžeti koji rade sa ovim procesorom, sa SATA HD od 80 GB.

U vojnoj teoriji XM25 je jedno od pametnih oruđa koja otvaraju vrata brojnim inteligentnim sistemima. To što je ovo oružje uvršteno među deset najperspektivnijih u 21. veku ukazuje da ideja poseduje taktički potencijal koji bi mogao promeniti lice modernog bojnog prostora, posebno kada je reč o borbi sa terorističkim snagama, koje primenjuju asimetrična dejstva. Brzina kojom ovo oružje može biti primenjeno, njegova tačnost ili preciznost pogađanja, odnosno efekti kojima se neutrališu protivnički ciljevi skriveni i iza veoma dobro utvrđenih objekata, uz pomoć računara koji koristi savremene rutine i algoritme da predvidi položaj protivničkog borca u nekoliko sekundi, pružaju osnove za dalji razvoj još savremenijih i inteligentnijih oružja. Od prvog korišćenja običnog smartfona na pešadijskom oružju, za izračunavanje balističkih elemenata prošlo je nekoliko godina. One su donele nove ideje koje će, nesumnjivo, uticati na savremenu taktiku oružane borbe.

Statistika iz 2006. godine, iz studije pripremljene za simpozijum o malom oružju i prateću izložbu, može da posluži kao primer za upoređivanje tadašnje i savremene vojne borbene tehnike. U to vreme, kada su još primenjivane standardna i klasična borbena dejstva pešadijskih jedinica, potrošnja municije bila je izuzetno velika.



Podaci o korišćenju municije po određenim vrstama ciljeva na bojištu 2006. godine

Municija koja dejstvuje iznad protivnika i pogađa ga i kada je u prirodnim zaklonima ili iza veštačkih objekata ukazivala je, već tada, na potrebu usavršavanja borbene tehnike. To je još uvek bilo vreme podrške pešadijskih jedinica oruđima sa ubacnom putanjom. Dakle, i mnogo pre nego što je informatička i druga tehnologija omogućila usavršavanje pešadijskog naoružanja, bilo je jasno šta utiče na efikasnost.⁶³ Neki noviji podaci i statistike iz borbenih dejstava Multinacionalnih snaga u Iraku i Avganistanu ukazali bi na značajnu prednost savremenih inteligentnih borbenih sistema.

Nikola Ostojić

⁶³ PM Crew Served Weapons Overview for the Small Arms Symposium & Exhibition, National Defense Industrial Association, 16-19 May 2006, Mr. Peter Errante – Deputy PM Crew Served Weapons; BG James R. Moran – Program Executive Officer Soldier; COL Carl A. Lipsit – PM Soldier Weapons.

POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA CALL FOR PAPERS

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 intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke sistemske 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, nauke i tehnološkog razvoja 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 2013. godinu:

za oblast tehnološki razvoj:

– na listi časopisa za materijale i hemijske tehnologije:

kategorija vodeći naučni časopis nacionalnog značaja (M51),

– na listi časopisa za elektroniku, telekomunikacije i informacione tehnologije:

kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M52),

– na listi časopisa za mašinstvo:

kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M52),

za oblast osnovna istraživanja:

– na listi časopisa za matematiku, računarske nauke i mehaniku:

kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M52).

Usvojene liste domaćih časopisa za 2013. godinu mogu se videti na sajtu Vojnotehničkog glasnika, stranica Kategorizacija časopisa.

Detaljnije informacije mogu se pronaći i na sajtu Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti i na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku).

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).

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 2 boda (kategorija M51) i 1,5 bod (kategorija M52).

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.

Radovi se predaju putem onlajn sistema za elektronsko uređivanje ASEESTANT, koji je razvio Centar za evaluaciju u obrazovanju i nauci (CEON).

Pristup i registracija za servis vrše se na sajtu www.vtg.mod.gov.rs, preko stranice SCINDEKS, opcija ASEESTANT (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

Detaljno uputstvo o registraciji i prijavi za servis nalazi se na sajtu www.vtg.mod.gov.rs, stranica Uputstvo za e-Ur: Elektronsko uređivanje – ASEESTANT.

Vojnotehnički glasnik objavljuje članke na srpskom, engleskom, ruskom, nemačkom ili francuskom jeziku (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, prored Single).

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 oko jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa preredom Single), a najviše 24 stranice.

Članak treba da bude napisan na obrascu za pisanje članka, koji se u elektronskoj formi može preuzeti sa sajta na stranici Obrazac za pisanje članka.

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 sa strane 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 koliciju (godina, volumen, sveska, početna i završna stranica). Naslovi časopisa i članka mogu se dati u skraćenom obliku.

Ime autora

Navodi se puno ime i prezime (svih) autora. Veoma je poželjno da se navedu i srednja slova autora. Imena i prezimena 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, Univerzitet u Beogradu, Vojna akademija, Katedra prirodno-matematičkih nauka, 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 preliminarog 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 stranici sajta 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, 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.

Sistem ASEESTANT u tu svrhu koristi specijalnu alatku KWASS: automatsko ekstrakovanje ključnih reči iz disciplinarnih tezaurusa/rečnika po izboru i rutine za njihov odabir, tj. prihvatanje odnosno odbacivanje od strane autora i/ili urednika.

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.

Tabelami 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.

Vojnotehnički glasnik za referenciranje (citiranje i navođenje literature) primenjuje Harvardski sistem referenci, odnosno Harvardski priručnik za stil (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). U samom tekstu, u običnim zagradama, na mestu na kojem se vrši pozivanje, odnosno citiranje literature nabrojane na kraju članka, obavezno u običnoj zagradi napisati prezime citiranog autora, godinu izdanja publikacije iz koje citirate i, eventualno, broj stranica. Npr. (Petrović, 2012, pp.10–12).

Detaljno uputstvo o načinu citiranja, sa primerima, dato je na stranici sajta Uputstvo za Harvardski priručnik za stil. Potrebno je da se pozivanje na literaturu u tekstu uradi u skladu sa pomenutim uputstvom.

Sistem ASEESTANT u svrhu kontrole navođenja (citiranja) u tekstu koristi specijalnu alatku CiteMatcher: otkrivanje izostavljenih citata u tekstu rada i u popisu referenci.

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 ne prevode na jezik rada i nabrajaju se u posebnom odeljku na kraju članka.

Vojnotehnički glasnik, kao način ispisa literature, primenjuje Harvardski sistem referenci, odnosno Harvardski priručnik za stil (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual).

Literatura se nabraja po abecednom redosledu, navodeći najpre prezimena autora, bez numeracije.

Detaljno uputstvo o načinu popisa referenci, sa primerima, dato je na stranici sajta Uputstvo za Harvardski priručnik za stil. Potrebno je da se popis literature na kraju članka uradi u skladu sa pomenutim uputstvom.

Nestandardno, nepotpuno ili nedosledno navođenje literature u sistemima vrednovanja - časopisa smatra se dovoljnim razlogom za osporavanje naučnog statusa časopisa.

Sistem ASEESTANT u svrhu kontrole pravilnog ispisa liste referenci koristi specijalnu alatku RefFormatter: kontrola oblikovanja referenci u skladu sa Harvardskim priručnikom za stil.

Prpratno pismo

Pored članka dostavlja se prpratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U prpratnom 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, broj lične karte i JMB građana.

Ako je više autora članka, u prpratnom 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,
Braće Jugovića 19, Dom Vojske Srbije,
11000 Beograd.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

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 development 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, Science and Technological Development of the Republic of Serbia classified the Military Technical Courier for the year 2013

in the field technological development:

- on the list of periodicals for materials and chemical technology, category: leading scientific periodical of national interest (M51),
- on the list of periodicals for electronics, telecommunications and IT, category: scientific periodical of national interest (M52),
- on the list of periodicals for mechanical engineering, category: scientific periodical of national interest (M52),

in the field fundamental research:

- on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics, category: scientific periodical of national interest (M52).

The approved lists of national periodicals for the year 2013 can be viewed on the website of the Military Technical Courier, page Journal categorization.

More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition).

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 Education, Science and Technological Development.

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 2 (two) points (category M51) and 1,5 (one and a half) point (category M52).

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.

Manuscripts are submitted online, through the electronic editing system ASEESTANT, developed by the Center for Evaluation in Education and Science – CEON.

The access and the registration are through the Military Technical Courier site <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page SCINDEKS, option ASEESTANT (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

The detailed instructions about the registration for the service are on the website <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page Instructions for e-Ur: Electronic Editing - ASEESTANT.

The Military Technical Courier publishes articles in Serbian, English, Russian, German or French, using Arial and a font size of 11pt with Single 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 24 pages of A4 paper format.

The article should be formatted following the instructions in the Article Form which can be downloaded from Article form.

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 List of referees.

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.

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.

For this purpose, the ASEESTANT system uses a special tool KWASS for the automatic extraction of key words from disciplinary thesauruses/dictionaries by choice and the routine for their selection, i.e. acceptance or rejection by author and/or editor.

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 stated 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. The Military Technical Courier applies the Harvard Referencing System given in the Harvard Style Manual. When citing sources within your paper, i.e. for in-text references of the works listed at the end of the paper, place the year of publication of the work in parentheses and optionally the number of the page(s) after the author's name, e.g. (Petrovic, 2012, pp.10-12). A detailed guide on

citing, with examples, can be found on Military Technical Courier website on the page Instructions for Harvard Style Manual. In-text citations should follow its guidelines.

For checking in-text citations, the ASESESTANT system uses a special tool CiteWatcher to find out quotes left out within papers and in reference lists.

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 are not translated to the language of the article.

In compiling the reference list and bibliography, the Military Technical Courier applies the Harvard System – Harvard Style Manual. All bibliography items should be listed alphabetically by author's name, without numeration. A detailed guide for listing references, with examples, can be found on Military Technical Courier website on the page Instructions for Harvard Style Manual. Reference lists at the end of papers should follow its guidelines.

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 covering letter

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/Military Technical Courier,
Braće Jugovića 19, Dom Vojske Srbije,
11000 Beograd,
Republic of Serbia.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Editor
Nebojša Gaćeša
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

OBAVEŠTENJE SARADNICIMA I ČITAOCIMA INFORMATION FOR CONTRIBUTORS AND READERS

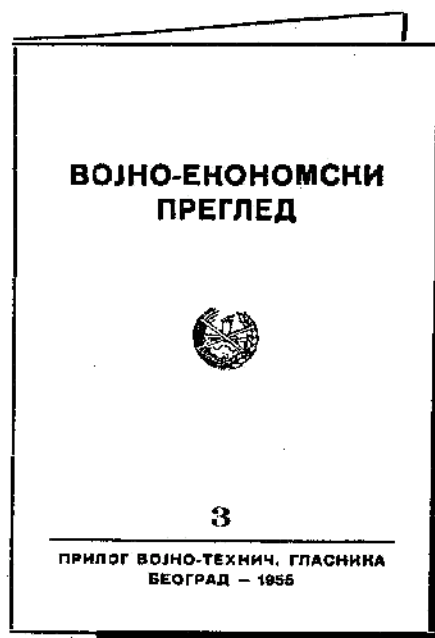
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK PONOVO POKREĆE POSEBAN PRILOG VOJNOEKONOMSKI PREGLED

Redakcija *Vojnotehničkog glasnika* od 2014. godine ponovo, u okviru časopisa, uređuje i objavljuje poseban prilog – sekciju pod nazivom *Vojnoekonomski pregled*.

VOJNOEKONOMSKI *pregled*

Ovaj prilog biće objavljivao jednom godišnje, u broju 4 (oktobar–decembar), svakog godišta (volumena) *Vojnotehničkog glasnika*. Činiće ga radovi iz oblasti ekonomije, odnosno intendantske i finansijske službe, čime će biti upotpunjena logistička sistemska podrška koju *Vojnotehnički glasnik* pruža radi usavršavanja pripadnika svih rodova i službi Ministarstva odbrane i Vojske Srbije. Rubrika *Vojnoekonomski pregled* biće dostupna za saradnju i široj akademskoj zajednici, u skladu sa dosadašnjom uređivačkom koncepcijom *Vojnotehničkog glasnika*.

Vojnotehnički glasnik priređivao je prilog *Vojnoekonomski pregled* od 1953. do 1956. godine.



Nakon toga, *Vojnoekonomski pregled* izlazi kao samostalan časopis od 1957. do 1979 godine, da bi promenio naziv u *Pozadina*, časopis koji je izlazio od 1980. do 1992. godine.



Uredništvo *Vojnotehničkog glasnika* poziva saradnike da svojim naučnim i stručnim radovima za rubriku *Vojnoekonomski pregled* kvantifikuju svoje individualne naučnoistraživačke rezultate. Time će, svakako, doprineti i daljem napretku i uticajnosti *Vojnotehničkog glasnika* – multidisciplinarnog naučnog časopisa Ministarstva odbrane Republike Srbije.

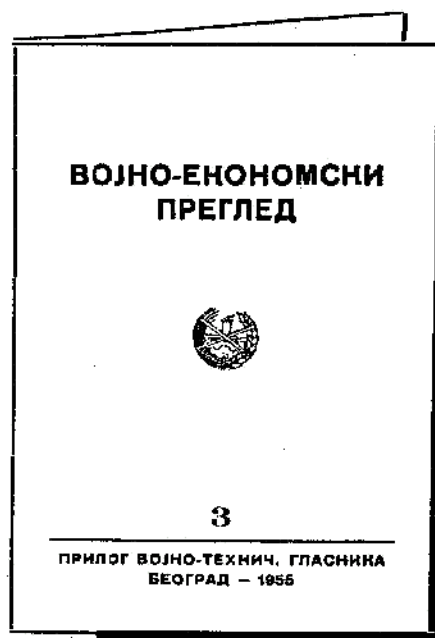
Prvi obnovljeni prilog *Vojnoekonomski pregled* biće objavljen u *Vojnotehničkom glasniku* broj 4/2014.

MILITARY TECHNICAL COURIER REVIVES A SPECIAL SUPPLEMENT MILITARY ECONOMY SURVEY

From 2014, the editorial board of the *Military Technical Courier* resumes the editing and publishing of a special supplement-section entitled *Military Economy Survey*.

MILITARY ECONOMY *Survey*

This supplement is going to be published annually, in issue No4 (October-December) in every volume of the *Military Technical Courier*. Contributions from the field of economy, namely quartermaster and financial service, will add value to the logistics sistem support offered by the *Military Technical Courier* to the members of all branches and services of the Ministry of Defence and the Army of Serbia. The *Military Economy Survey* section will also be open to contributions from academic circles, in line with the editing conception of the *Military Technical Courier*.



After being published as a supplement in the *Military Technical Courier* from 1953 to 1956, the *Military Economy Survey* used to be issued as an independent publication from 1957 to 1979 when it changed the title into *Logistics* and continued to appear until 1992.



The editorial board of the *Military Technical Courier* calls contributors to quantify their individual scientific and research results with their scientific and professional papers in the *Military Economy Survey* section. This will also help toward further improvement and influence of the *Military Technical Courier* – multidisciplinary scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia.

The first renewed *Military Economy Survey* supplement is to be issued in No4/14 of the *Military Technical Courier*.

SPISAK RECENZENATA LIST OF REFEREES

SPISAK RECENZENATA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Pukovnik prof. dr Marko D. Andrejić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik katedre logistike	logistika odbrane	markodandrejic@hotmail.com
Doc. dr Miloš Ž. Arsić	Pukovnik u penziji	menadžment saobraćajnom podrškom	misaarsa@yahoo.com
Vanr. prof. dr Vojislav J. Batinić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, katedra vojnomasinskog inženjerstva	opšte mašinske konstrukcije	beregvojo@yahoo.com vojislav.batinic@va.mod.gov.rs
Vanr. prof. dr Stevan M. Berber	Univerzitet u Oклendу, departman elektrotehnike i računarskog inženjeringa, Oклend, Novi Zeland	telekomunikacije, bežične komunikacije, CDMA, OFDM sistemi, senzorske mreže, računarski sistemi u realnom vremenu, obrada stohastičkih signala	s.berber@auckland.ac.nz
Doc. dr Radivoje M. Biljić	Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, katedra za telekomunikacije	telekomunikacije, napadno navigacijski sistemi vazduhoplova, mikrotalasna tehnika, elektromagnetika, satelitski sistemi	biljic@etf.rs
Prof. dr Branislav A. Borovac	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, katedra za mehatroniku, robotiku i automatizaciju	robotika	borovac@uns.ac.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Vanr. prof. dr Uglješa S. Bugarić	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, katedra za industrijsko inženjerstvo	operaciona istraživanja, terotehnologija-održavanje, transportni i skladišni sistemi	ubugarić@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Ilija Čosić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, dekan fakulteta	industrijsko inženjerstvo i inženjerski menadžment	ftndean@uns.ac.rs
Pukovnik vanr. prof. dr Goran D. Dikić	Ministarstvo odbrane, Univerzitet odbrane, prorektor za međuniverzitetsku i međunarodnu saradnju	sistemi automatskog upravljanja, praćenje ciljeva, sistemi vođenja i upravljanja raketa	goran.dikic@mod.gov.rs
Pukovnik doc. dr Nenad P. Dimitrijević	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, rukovodilac posleddiplomskih studija	bezbednost u saobraćaju, zaštita resursa u saobraćaju i transportu	neshadim@open.telecom.rs
Vanr. prof. dr Radenko S. Dimitrijević	Pukovnik u penziji	eksplozivne materije, municija, ubojna sredstva, pirotehnička bezbednost	radenkod@beotelnet.rs
Pukovnik vanr. prof. dr Boban D. Đorović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, prodekan	procesi i metode u saobraćaju i transportu, transportne mreže, organizacija transporta	lukema@ptt.rs
Prof. dr Vlado P. Đurković	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet Odbrane, Vojna akademija, katedra vojnomasinskog inženjerstva, načelnik odseka zajedničkih predmeta mašinstva	primenjena mehanika krutog i deformabilnog tela	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs djurkovic.vlado@gmail.com
Doc. dr Predrag M. Elek	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, katedra za sisteme naoružanja	balistika na cilju, konstrukcija projektila, fizika eksplozije	pelek@mas.bg.ac.rs
Doc. dr Miljko M. Erić	Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, katedra za telekomunikacije	telekomunikacije, digitalna obrada signala, elektronsko izviđanje, radio-goniometrija, antenski nizovi, mikrofonski nizovi, array processing	meric@open.telekom.rs miljko.eric@etf.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Dr Miloš R. Filipović	naučni savetnik u penziji	energetski materijali (eksplozivi, pirotehnika, baruti i raketna goriva, sagorevanje, detonacija, eksplozija)	milosf321@gmail.com
Doc. dr Zoran Lj. Filipović	Institut Goša, naučni saradnik	elektronika i telekomunikacije (avionika, metrologija, telekomunikacije)	filipovicz@open.telekom.rs
Vanr. prof. dr Vasko G. Fotev	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, katedra za vazduhoplovstvo	pogon letelica (avionski i raketni motori)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Katarina D. Gerić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, departman za proizvodno mašinstvo, katedra za materijale i spajanje materijala	nauka o materijalima, inženjerstvo materijala, ispitivanje materijala	gerick@uns.ac.rs
Potpukovnik doc. dr Ljubomir J. Gigović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, katedra prirodno-matematičkih nauka, rukovodilac grupe nastavnika za vojnu geografiju i topografiju	geonauke, geodetsko inženjerstvo	ljgigovic@yahoo.com
Prof. dr Miro J. Govedarica	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, departman za računarstvo i automatiku, katedra za sisteme, signale i upravljanje, rukovodilac studijskog programa geodezija i geomatika	geodezija, geomatika, geoinformatika	miro@uns.ac.rs
Prof. dr Janko J. Hodolić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka	metrologija, kvalitet, pribori i ekološko-inženjerski aspekti	hodolic@uns.ac.rs
Pukovnik doc. dr Slobodan S. Ilić	Generalštab, Uprava za planiranje i razvoj (J-5), Tehnički opitni centar, direktor	sistemi održavanja, naoružanje	slobodan.ilic@va.mod.gov.rs
Vanr. prof. dr Branislav V. Jakić	Pukovnik u penziji, Alfa Univerzitet Beograd, Univerzitet za poslovne studije Banja Luka	logistika, kvalitet, standardizacija, metrologija, nomenklatura, kodifikacija, tehnološki menadžment, upravljanje kvalitetom	bjakic@yahoo.com

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Prof. dr Slobodan S. Jaramaz	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, šef katedre za sisteme naoružanja	unutrašnja balistika, konstrukcija projektila, fizika eksplozije, balistika na cilju, sagorevanje baruta	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Radun B. Jeremić	Pukovnik u penziji	municija, eksplozivne materije	radjer@open.telecom.rs
Vanr. prof. dr Danko M. Jovanović	General-major u penziji	upravljanje proizvodnjom, logistika, održavanje tehničkih sistema, kvalitet, rizici, standardizacija	danko.jovanovic17@gmail.com
Doc. dr Vukica M. Jovanović	Trajn Univerzitet, Fakultet za inženjerstvo i tehnologiju, departman za konstrukcije i dizajn, Engola, Indijana, SAD	mašinstvo	jovanovic@trine.edu
Potpukovnik doc. dr Radovan M. Karkalić	Ministarstvo odbrane, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, katedra vojnohemijskog inženjerstva	hemijska tehnologija (nuklearno-hemijsko-biološka zaštita, detekcija, identifikacija i dekontaminacija)	rkarkalic@yahoo.com
Prof. dr Vladimir A. Katić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, prodekan fakulteta	energetska elektronika, električne mašine, elektromotorni pogoni, kvalitet električne energije, obnovljivi izvori električne energije	katav@uns.ac.rs
Prof. dr Srđan R. Kolaković	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, prodekan	građevinarstvo – hidrotehnika	kolak@uns.ac.rs
Pukovnik dr Zbyšek Korecki	Univerzitet odbrane Republike Češke, Fakultet za ekonomiku i menadžment, načelnik katedre logistike	logistika odbrane, multinacionalna logistika	zbysek.korecki@unob.cz
Docent dr Mirko S. Kozić, viši naučni saradnik	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut	mehanika fluida, numerička dinamika fluida, aerodinamička opterećenja	mkozioc@open.telekom.rs
Pukovnik doc. dr Nikola L. Lekić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik katedre telekomunikacija i informatike	radarski ciljevi, radarske antene, merenje radarskih ciljeva i antena, radarska tehnika i sistemi	lekicn@ptt.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Prof. dr Rado M. Maksimović	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, rukovodilac studijskih programa inženjerski menadžment	proizvodni sistemi, organizacija preduzeća, razvojni procesi u preduzeću	rado@uns.ac.rs
Naučni savetnik dr Stevan M. Maksimović	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut, načelnik odeljenja čvrstoće	čvrstoća konstrukcija, mehanika loma, zamor, numeričke metode	s.maksimovic@open.telekom.rs
Dr Vasilije M. Manović	Institut CanmetENERGY, Ministarstvo za prirodne resurse, Otava, Kanada	zaštita životne sredine, hemijsko inženjerstvo	vmmanovic@gmail.com
Prof. dr Dejan M. Micković	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, katedra za sisteme naoružanja	konstrukcija klasičnog naoružanja, automatska oružja, unutrašnja balistika	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Momčilo P. Milinović	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, katedra za sisteme naoružanja	raketni sistemi, lanseri, sistemi upravljanja vatrom	mmilinovic@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Zoran Đ. Miljković	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, katedra za proizvodno mašinstvo	tehnologija mašinske obrade, robotika, veštačka inteligencija, autonomni sistemi i mašinsko učenje, veštačke neuronske mreže, inteligentni tehnološki sistemi, metode odlučivanja	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs
Potpukovnik doc. dr Srđan T. Mitrović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, katedra vojnoelektronskog inženjerstva, načelnik odseka za elektrotehniku i elektroniku	mobilni roboti, upravljanje u realnom vremenu, fazi logika, fazi upravljanje, mikroprocesorski sistemi, upravljanje sistemima (automatika), algoritmi navigacije vozila, brodski borbeni i navigacioni sistemi	srđjan.mitrovic@va.mod.gov.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Major doc. dr Slavko R. Muždeka	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, katedra vojnomašinskog inženjerstva, šef odseka za borbena vozila	motorna vozila, borbena vozila	mslavko@beotel.rs
Prof. dr Mladen D. Pantić	Pukovnik u penziji	borbena vozila	emily983@sbb.rs
Pukovnik Zoran S. PatiĆ	Generalštab Vojske Srbije, Uprava za logistiku (J-4), načelnik 3. odeljenja	logistika, održavanje, snabdevanje, projektovanje organizacije logističkih sistema	zpatic@yahoo.co.uk
Potpukovnik doc. dr Sreten R. Perić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, načelnik katedre vojnomašinskog inženjerstva	tehnologija održavanja motornih vozila	sretenperic@yahoo.com
Prof. dr Slavko J. Pokorni	Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije u Beogradu, pomoćnik direktora, pukovnik u penziji	pouzdanost, raspoloživost i održavanje sistema (hardver, softver, čovek), primena infracrvenog zračenja, informacione i komunikacione tehnologije	slavko.pokorni@its.edu.rs
Prof. dr Miroslav V. Popović	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, katedra za računarsku tehniku	računarska tehnika i komunikacije (inženjering sistema zasnovanih na računarima)	miroslav.popovic@rt-rk.com
Vanr. prof. dr Jugoslav R. Radulović	Pukovnik u penziji, Fakultet za menadžment malih i srednjih preduzeća, Beograd	municija, menadžment, kvalitet	jugoslav.radulovic@gmail.com
Naučni savetnik prof. dr Dušan S. Rajić	Pukovnik u penziji	protivhemijska zaštita, oružje za masovno uništavanje (NHB borbena sredstva), teorija rešavanja inovativnih zadataka	rajic.dusan1@gmail.com
Pukovnik doc. dr Zoran M. Rajić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, direktor Vojnotehničkog instituta	aerodinamika	rajic_zoran@yahoo.com

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Pukovnik vanr. prof. dr Miodrag D. Regodić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik katedre prirodno-matematičkih nauka	geonauke, geodetsko inženjerstvo	mregodic62@gmail.com
Dr Milorad D. Savković	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut	raketni motori, raketna i bestrzajna sredstva za PO borbu	savkovic.milorad@gmail.com
Vanr. prof. dr Dragoljub J. Sekulović	Pukovnik u penziji	geonauke, geodetsko inženjerstvo	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Dr Srećko S. Stopić	Tehnički univerzitet u Ahenu, SR Nemačka, Institut za procesnu metalurgiju i recikliranje metala, naučni savetnik, vođa grupe za hidrometalurgiju i nanotehnologiju	hidrometalurgija, nanotehnologija, hemijske sinteze, recikliranje, zaštita životne sredine	stopic2003@yahoo.de
Doc. dr Tomislav B. Šekara	Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, katedra za signale i sisteme	upravljanje procesima sa koncentrisanim i raspoređenim parametrima, optimalni industrijski regulatori, frakcioni zakoni upravljanja sa primenom u industriji, karakterizacija procesa, adekvatna diskretizacija i obrada signala, senzori i aktuatori, kompenzacija i ušteda električne energije u distributivnim elektroenergetskim sistemima	tomi@etf.rs
Prof. dr Dragan D. Šešlija	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, katedra za mehatroniku, robotiku i automatizaciju	mehatronika, robotika, automatizacija	seslija@uns.ac.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Pukovnik doc. dr Goran P. Šimić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik Centra za simulacije i učenje na daljinu	informatika i računarstvo	gshimic@gmail.com
Prof. dr Vladimir S. Škiljaica	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, departman za saobraćaj, katedra za tehnologije transportnih sistema	tehnologija vodnog saobraćaja, brodovi, bezbednost plovidbe	vlaski@uns.ac.rs
Prof. dr Ljubiša K. Tančić	Pukovnik u penziji	unutrašnja balistika, naoružanje	ljtancic@gmail.com
Pukovnik prof. dr Branko M. Tešanović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, katedra logistike, načelnik odseka za opštu logistiku i finansije	opšta logistika, ekonomija	brate@verat.net
Potpukovnik doc. dr Ivan A. Tot	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, rukovodilac grupe za informacione sisteme na katedri telekomunikacija i informatike	baze podataka, informacioni sistemi, zaštita informacionih sistema	totivan@gmail.com
Naučni savetnik prof. dr Dragoljub A. Vujić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut	primenjena mehanika, dijagnostika, sofisticirani sistemi održavanja tehničkih sistema	dragoljub.vujic@vti.rs vujicd@eunet.rs
General major vanr. prof. dr Mladen M. Vuruna	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, načelnik Vojne akademija	vojno-hemijsko inženjerstvo (pogonska sredstva, toksikološka sredstva, zaštita od NHB oružja, zaštita životne sredine)	mladenvuruna@yahoo.com
Brigadni general prof. dr Bojan M. Zmić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, načelnik uprave	senzorski sistemi, strategijsko planiranje	bojan.zmic@vs.rs

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Professor Colonel Marko D. Andrejić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Logistics Department	military logistics	markodandrejic@hotmail.com
Assistant Professor Miloš Ž. Arsić, PhD	Retired Colonel	transportation support management	misaarsa@yahoo.com
Associate Professor Vojislav J. Batinić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering	general mechanical engineering constructions	beregvojo@yahoo.com
Associate Professor Stevan M. Berber, PhD	The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, Senior Lecturer	telecommunications, wireless communications, cdma, ofdm systems, sensor networks, computer systems in real-time, processing of stochastic signals	s.berber@auckland.ac.nz
Assistant Professor Radivoje M. Biljić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Assistant Professor at Department of Telecommunications	telecommunications, navigation/attack systems, electromagnetics, satellite systems	biljic@etf.rs
Professor Branislav A. Borovac, PhD	University in Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Full Professor at Chair for Mechatronics, Robotics and Automation	robotics	borovac@uns.ac.rs
Associate Professor Uglješa S. Bugarić, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Associate Professor at Department for Industrial Engineering	operational research, terotechnology – transportation and storage systems	ubugaric@mas.bg.ac.rs
Professor Ilija Čosić, PhD	University in Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Dean of the Faculty	industrial engineering and engineering management	ftndean@uns.ac.rs

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Associate Professor Colonel Goran D. Dikić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Vice Dean for Interuniversity and International Cooperation	automatic control systems, target tracking, missile guidance and control systems	goran.dikic@mod.gov.rs
Assistant Professor Colonel Nenad P. Dimitrijević, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Director of Postgraduate Studies	traffic safety, protection of resources in traffic and transportation	neshadim@nadlanu.com
Associate Professor Radenko S. Dimitrijević, PhD	Retired Colonel	explosive materials, ammunition, ordnance, pyrotechnic safety	radenkod@beotelnet.rs
Associate Professor Colonel Boban D. Đorović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Vice Dean	processes and methods in traffic and transportation, transportation networks, transport organization	lukema@ptt.rs
Professor Vlado P. Đurković, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Faculty Staff Teaching General Subjects in Mechanical Engineering	applied mechanics of rigid and deformable body	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs djurkovic.vlado@gmail.com
Assistant Professor Predrag M. Elek, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Assistant Professor at Department of Weapon Systems	terminal ballistic, projectile construction, physics of explosion	pelek@mas.bg.ac.rs
Assistant Professor Miljko M. Erić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Assistant Professor at Department of Telecommunications	telecommunications, digital signal processing, electronic reconnaissance, radio direction finding, antenna arrays, microphone arrays, array processing	meric@open.telekom.rs miljko.eric@etf.rs
Scientific Advisor Miloš R. Filipović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Sector for Materials and Protection	ordnance (explosives, pyrotechnics, gunpowders and rocket propellants, combustion, detonation, explosion)	milosf321@gmail.com

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Zoran Lj. Filipović, PhD	Goša Institute Research Fellow	electronics and telecommunications (avionics, metrology, telecommunications)	filipovicz@open.telecom.rs
Associate Professor Vasko G. Fotev, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Aviation	aircraft propulsion (aircraft and rocket engines)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Professor Katarina D. Gerić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Production Engineering, Full Professor at Chair of Materials and Technology of Connection	materials science, materials engineering, materials testing	gerick@uns.ac.rs
Assistant Professor LtColonel Ljubomir J. Gigović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Natural and Mathematical Sciences, Head of Faculty Staff Teaching Military Geography and Topography	geosciences, geodetic engineering	ljgigovic@yahoo.com
Professor Miro J. Govedarica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Computing and Automatics, Head of the study program Geodesy and Geomatics	geodesy, geomatics, geoinformatics	miro@uns.ac.rs
Professor Janko J. Hodolić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences	metrology, quality, tools and ecological-engineering aspects	hodolic@uns.ac.rs
Assistant Professor Colonel Slobodan S. Ilić, PhD	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Planning and Development Directorate (J-5), Technical Test Center, Director	maintenance systems, armament	slobodan.ilic@va.mod.gov.rs
Associate Professor Branislav V. Jakić, PhD	Retired Colonel, Alpha University Belgrade, University of Business studies Banja Luka	logistics, quality, standardisation, metrology, nomenclature, codification, technology management, quality management	bjakic@yahoo.com

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Professor Slobodan S. Jaramaz, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Head of Department of Weapon Systems	internal ballistics, projectile construction, physics of explosion, terminal ballistics, gunpowder combustion	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Professor Radun B. Jeremić, PhD	Retired Colonel	ammunition, ordnance	radjer@open.telecom.rs
Associate Professor Danko M. Jovanović, PhD	Retired Major General	production management, logistics, maintenance of technical systems, quality, risks, standardisation	danko.jovanovic17@gmail.com
Assistant Professor Vukica M. Jovanović, PhD	Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA	mechanical engineering	jovanovic@trine.edu
Assistant Professor LtColonel Radovan M. Karkalić, PhD	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Planning and Development Directorate (J-5), Technical Test Centre, Assistant Director for R&D	chemical technology (nuclear-biological-chemical protection, detection, identification and decontamination)	rkarkalic@yahoo.com
Professor Vladimir A. Katić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	power electronics, electric machines, electric power systems and stations, electric power quality, renewable sources of electric power	katav@uns.ac.rs
Professor Srđan R. Kolaković, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	civil engineering, hydrotechnology	kolak@uns.ac.rs
Colonel Zbyšek Korecki, PhD	University of Defence of the Czech Republic, Faculty of Economics and Management, Head of Department of Logistics	logistics of defence, multinational logistics	zbysek.korecki@unob.cz
Assistant Professor Mirko S. Kozić, PhD, senior scientific associate	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	mechanics of fluids, computational fluid dynamics, aerodynamic load	mkozic@open.telekom.rs

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Colonel Nikola L. Lekić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Department of Telecommunications and Information Science	radar targets, radar antennas, measurement of radar targets and antennas, radar technique and systems	lekicn@ptt.rs
Professor Rado M. Maksimović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Head of Engineering Management program of study	production systems, organization of industrial systems, development processes in industrial systems	rado@uns.ac.rs
Scientific Advisor Stevan M. Maksimović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Laboratory for Strength	structural strength, fracture mechanics, fatigue, numerical methods	s.maksimovic@open.telekom.rs
Senior Research Scientist Vasilije M. Manović, PhD	Canmet ENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada	environmental protection, chemical engineering	vm anovic@gmail.com
Professor Dejan M. Micković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	construction of classic weapons, automatic weapons, internal ballistics	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Professor Momčilo P. Milinović, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Full Professor at Department of Weapon Systems	rocket systems, launchers, fire control systems	mmilinovic@mas.bg.ac.rs
Professor Zoran Đ. Miljković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Full Professor at Department of Production Engineering	manufacturing technology, robotics, artificial intelligence, autonomous systems and machine learning, artificial neural networks, intelligent technological systems, decision-making methods	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor LtColonel Srdjan T. Mitrović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Military Electrical Engineering, Head of the Section of Electrical Engineering and Electronics	mobile robots, real time control, fuzzy logic, fuzzy control, microprocessing systems, system control (automation), vehicle navigation algorithms, naval combat and navigation systems	srđjan.mitrovic@va.mod.gov.rs
Assistant Professor Major Slavko R. Muždeka, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Section for Combat Vehicles	motor vehicles, combat vehicles	msslavko@beotel.rs
Professor Mladen D. Pantić, PhD	Retired Colonel	combat vehicles	emily983@sbb.rs
Colonel Zoran S. Patić	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Logistics Directorate (J-4), Head of 3rd Section	logistics, maintenance, supply, design of logistic system organisation	zpatic@yahoo.co.uk
Assistant Professor LtColonel Sreten R. Perić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Department of Military Mechanical Engineering	technology of motor vehicle maintenance	sretenperic@yahoo.com
Professor Slavko J. Pokorni, PhD	Information Technology School, Retired Colonel	reliability, availability and system maintenance (hardware, software, man) in application, information and communications technology	slavko.pokorni@its.edu.rs
Professor Miroslav V. Popović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Full Professor at Chair of Computer Technology	computer technology and communications (computer-based system engineering)	miroslav.popovic@rt-rk.com
Associate Professor Jugoslav R. Radulović, PhD	Retired colonel, Faculty for management of small and medium companies, Belgrade	ammunition, management, quality	jugoslav.radulovic@gmail.com
Scientific Advisor Professor Colonel Dušan S. Rajić, PhD	Retired Colonel	chemical protection, weapons of mass destruction (nbc weapons), theory of inventive problem solving	rajic.dusan1@gmail.com

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Colonel Zoran M. Rajić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Director of Military Technical Institute	aerodynamics	rajic_zoran@yahoo.com
Assistant Professor Colonel Miodrag D. Regodić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Department of Natural and Mathematics Sciences	geosciences, geodetic engineering	mregodic62@gmail.com
Milorad D. Savković, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	rocket motors, rocket and recoilless at weapons	savkovic.milorad@gmail.com
Associate Professor Dragoljub J. Sekulović, PhD	Retired Colonel	geosciences, geodetic engineering	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Scientific advisor Srećko S. Stopić, PhD	RWTH Aachen University, Germany, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Group leader for hydrometallurgy and nanotechnology	hydrometallurgy, nanotechnology, recycling, environmental science	stopic2003@yahoo.de
Assistant Professor Tomislav B. Šekara, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Assistant Professor at Department for Signals and Systems	control of processes with concentrated and distributed parameters, industrial regulators with optimum performance, fraction laws of control in industrial application, process characterisation, adequate signal discretisation and processing, sensors and actuators, electric energy compensation and saving in electric energy distribution systems	tomi@etf.rs
Professor Dragan D. Šešlija, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Full Professor at Chair of Mechatronics, Robotics and Automation	mechatronics, robotics and automation	seslija@uns.ac.rs

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Colonel Goran P. Šimić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Center for Simulations and Distance Learning	information technology and computing	gshimic@gmail.com
Professor Vladimir S. Škiljaica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Traffic Engineering, Full Professor at Chair of Technology of Transportation Systems	technology of water transportation, ships, navigation safety	vlaski@uns.ac.rs
Professor Ljubiša K. Tančić, PhD	Retired Colonel	internal ballistics, armament	ljtancic@gmail.com
Professor Colonel Branko M. Tešanović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Logistics, Head of Section for General Logistics and Finance	general logistics, economics	brate@verat.net
Assistant Professor LtColonel Ivan A. Tot, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Group for Information Systems at Department of Telecommunications and Information Technology	data bases, information systems, information systems protection	totivan@gmail.com
Scientific Advisor Professor Dragoljub A. Vujić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	applied mechanics, diagnostics, sophisticated systems for technical system maintenance	dragoljub.vujic@vti.rs vujicd@eunet.rs
Associate Professor Brigadier General Mladen M. Vuruna, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Head of Military Academy	military chemical engineering (propellants, toxicology, nbc protection, environmental protection)	mladenvuruna@yahoo.com
Professor Brigadier General Bojan M. Zmić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Head of Department	sensor systems, strategic planning	bojan.zmic@vs.rs

IZJAVA O ETIČKOM POSTUPANJU PUBLICATION ETHICS STATEMENT

IZJAVA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA O ETIČKOM POSTUPANJU

Objavljivanje članaka nakon stručne recenzije osnovna je delatnost naučnog časopisa *Vojnotehnički glasnik*. Neophodno je postići saglasnost o etičkim načelima u postupcima svih učesnika prilikom objavljivanja članaka, od autora, Redakcije časopisa i stručnih recenzenata do izdavača.

Obaveze Redakcije *Vojnotehničkog glasnika*

Redakcija *Vojnotehničkog glasnika* odgovorna je za donošenje odluke koji će od prispelih članaka biti odabran za objavljivanje.

Redakcija treba da postupa u skladu s politikom Uređivačkog odbora *Vojnotehničkog glasnika* kao i u skladu sa zakonskim propisima koji se odnose na klevetu, kršenje autorskih prava i plagijate. Redakcija može da se konsultuje sa članovima Uređivačkog odbora ili recenzentima pri donošenju odluke.

Redakcija procenjuje sadržaj rukopisa nezavisno od rase, pola, polne orijentacije, religijskih uverenja, etničkog porekla, političkih uverenja i državne pripadnosti autora.

U svom radu, prema preporuci Centra za evaluaciju u obrazovanju i nauci (CEON), Redakcija koristi elektronski sistem uređivanja ASEESTANT, koji omogućava transparentnost i javnost rada, podrazumevajući punu odgovornost za prihvatanje i objavljivanje članka.

Pre slanja na recenziju Redakcija proverava sadržaj rukopisa na plagijarijam, korišćenjem servisa iThenticate (CrossRef i CrossCheck).

Niko iz uređivačke kuće ne sme da otkrije nijednu informaciju o pristiglom rukopisu ikome, osim autoru, recenzentima, potencijalnim recenzentima, drugim savetnicima uređivačke kuće i izdavaču, prema potrebi.

Neobjavljen materijal iz pristiglih rukopisa ne sme da se koristi za istraživački rad uređivača, osim sa izričitim pismenim odobrenjem autora.

Obaveze recenzenata

Stručni recenzent pomaže Redakciji u donošenju odluke, a posredstvom kontakata sa autorima preko Redakcije može da pomaže i autorima na poboljšavanju teksta rada.

Ukoliko izabrani recenzent smatra da nije dovoljno kvalifikovana da izvrši recenziju istraživanja u rukopisu ili je pak sprečen da završi i dostavi recenziju u dogovorenom roku, o tome treba blagovremeno da obavesti Redakciju.

Svaki rukopis prihvaćen na recenziju mora da se tretirati kao poverljiv dokument. Ne sme se pokazivati trećim licima niti diskutovati sa njima, osim kada to odobri Redakcija.

Recenzija treba da bude objektivna. Neprihvatljiva je lična kritika autora. Recenzenti treba jasno da obrazlože svoje stavove i potkrepe ih argumentima.

Recenzenti treba da identifikuju relevantne postojeće radove koje autor nije citirao. Svaka prethodno javno saopštena tvrdnja ili argument treba da budu praćeni odgovarajućim citatom. Dužnost recenzenta je da skrene pažnju uredniku na značajna poklapanja ili sličnost rukopisa sa već objavljenim radom, ukoliko o tome ima lična saznanja.

Informacije i ideje do kojih se došlo stručnom recenzijom poverljivog su karaktera i ne smeju se koristiti za sopstvene potrebe. Recenzenti ne bi trebalo da primaju rukopise koji ih dovode u sukob interesa na osnovu konkurencije, zajedničkog rada ili drugih odnosa s bilo kojim autorom, kompanijom ili institucijom povezanim s radom.

Obaveze autora

Kada autori pišu o originalnom istraživanju treba precizno da prikažu objavljeni rad i da objektivno izlože njegov značaj. Podaci treba da budu precizno navedeni. Članak treba da sadrži dovoljno detalja i referenci da bi mogao da se reprodukuje. Lažne ili namerno netačne tvrdnje predstavljaju neetičko postupanje i neprihvatljive su.

Autori treba da obezbede neobrađene podatke u vezi sa člankom i pruže ih na uvid Redakciji, kao i javni pristup tim podacima, ako je to moguće, i da, u svakom slučaju, budu spremni da sačuvaju te podatke u razumnom roku posle objavljivanja.

Autori treba da napišu potpuno originalne radove, a ako su koristili radove i/ili formulacije drugih, onda to treba da navedu na odgovarajući način.

U principu, autori bi trebalo da objave rukopis koji se suštinski bavi istim istraživanjem samo u jednom časopisu ili primarnoj publikaciji. Slanje istog rukopisa u više redakcija časopisa u isto vreme predstavlja neetičko ponašanje i neprihvatljivo je.

Obavezno je da autor navede radove koje je koristio u pisanju rukopisa, kao i da citira publikacije koje su uticale na njegov rad.

Autorstvo treba da bude ograničeno na one koji su značajno doprineli ideji, njenom oblikovanju, izvođenju ili interpretaciji u datom istraživanju. Svi koji su značajno doprineli radu treba da budu navedeni kao koautori. Ako su pojedinci bili bitni u pojedinim aspektima istraživačkog projekta, treba im u zahvalnici odati priznanje za doprinos.

Autor treba da se postara da svi koautori budu navedeni kao takvi, kao i da među navedenim nema onih koji to ne zaslužuju. Autorova dužnost je da svi koautori vide i odobre finalnu verziju rada, kao i da odobre njegovo objavljivanje.

Ako se u istraživanju pojavljuju hemijska jedinjenja, postupci ili oprema koji su opasni po zdravlje ljudi ili životinja, autor to mora jasno da naznači u rukopisu.

Svaki autor treba da navede u rukopisu sve vrste finansijskih i ostalih značajnih konflikata interesa koji bi mogli da utiču na rezultate ili interpretaciju njegovog rada. Svi izvori finansijske podrške treba da budu takođe navedeni.

Kada autor otkrije materijalnu grešku ili netačnost u svom objavljenom radu, njegova je dužnost da odmah obavesti Redakciju časopisa ili izdavača i da sarađuje sa Redakcijom pri povlačenju ili korigovanju rada.

PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The publication of an article in this peer reviewed journal is an essential model for the scientific journal *Military Technical Courier*. It is necessary to agree upon standards of expected ethical behavior for all parties involved in the act of publishing: the author, the journal editor, the peer reviewer and the publisher.

Duties of the Military Technical Courier editor

The editor of the Military Technical Courier is responsible for deciding which of the articles submitted to the journal should be published.

The editor should be guided by the policies of the journal's editorial board and constrained by such legal requirements as shall then be in force regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The editor may confer with the members of the editorial board or reviewers in making this decision.

The editor should evaluate manuscripts for their intellectual content without regard to race, gender, sexual orientation, religious belief, ethnic origin, citizenship, or political philosophy of the authors.

Following the recommendations of the CEON Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES), the editor applies the electronic editing system ASEESTANT which enables transparency and public access to work and accepts a full responsibility for the acceptance and publishing of articles.

Before sending articles for peer reviews, the editor checks the content of the submitted manuscripts for plagiarism using the iThenticate service (CrossRef and CrossCheck).

The editor and any editorial staff must not disclose any information about a submitted manuscript to anyone other than the corresponding author, reviewers, potential reviewers, other editorial advisers, and the publisher, as appropriate.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in an editor's own research without the express written consent of the author.

Duties of reviewers

A peer reviewer assists the editor in making editorial decisions and through the editorial communications with the author may also assist the author in improving the paper.

Any selected referee who feels unqualified to review the research reported in a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should notify the editor and excuse himself from the review process.

Any manuscripts received for review must be treated as confidential documents. They must not be shown to or discussed with others except as authorized by the editor.

Reviews should be conducted objectively. Personal criticism of the author is inappropriate. Referees should express their views clearly with supporting arguments.

Reviewers should identify relevant published work that has not been cited by the authors. Any statement that an observation, derivation, or argument had been previously reported should be accompanied by the relevant citation. A reviewer should also call to the editor's attention any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other published paper of which they have personal knowledge.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in a reviewer's own research without the express written consent of the author. Privileged information or ideas obtained through peer review must be kept confidential and not used for personal advantage. Reviewers should not consider manuscripts in which they have conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships or connections with any of the authors, companies, or institutions connected to the papers.

Duties of authors

Authors of reports of original research should present an accurate account of the work performed as well as an objective discussion of its significance. Underlying data should be represented accurately in the paper. A paper should contain sufficient detail and references to permit others to replicate the work. Fraudulent or knowingly inaccurate statements constitute unethical behavior and are unacceptable.

Authors may be asked to provide the raw data in connection with a paper for editorial review, and should be prepared to provide public access to such data if practicable, and should in any event be prepared to retain such data for a reasonable time after publication.

The authors should ensure that they have written entirely original works, and if the authors have used the work and/or words of others, that this has been appropriately cited or quoted.

An author should not in general publish manuscripts describing essentially the same research in more than one journal or primary publication. Submitting the same manuscript to more than one journal concurrently constitutes unethical publishing behavior and is unacceptable.

Proper acknowledgment of the work of others must always be given. Authors should cite publications that have been influential in determining the nature of the reported work.

Authorship should be limited to those who have made a significant contribution to the conception, design, execution, or interpretation of the reported study. All those who have made significant contributions should be listed as co-authors. Where there are others who have participated in certain substantive aspects of the research project, they should be acknowledged or listed as contributors.

The corresponding author should ensure that all appropriate co-authors and no inappropriate co-authors are included on the paper, and that all co-authors have seen and approved the final version of the paper and have agreed to its submission for publication.

If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the author must clearly identify these in the manuscript.

All authors should disclose in their manuscript any financial or other substantive conflict of interest that might be construed to influence the results or interpretation of their manuscript. All sources of financial support for the project should be disclosed.

When an author discovers a significant error or inaccuracy in his/her own published work, it is the author's obligation to promptly notify the journal editor or publisher and cooperate with the editor to retract or correct the paper.

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 2014. 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. 2014. 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
Dobriša Miletić, profesor
e-mail: dobriša.miletic@mod.gov.rs

Prevod na engleski
Jasna Višnjić, profesor
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com

Prevod na ruski
Olivera Hajduković, profesor
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

Prevod na nemački
Gordana Bogdanović, profesor
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Prevod na francuski
Dragan Vučković
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs

CIP – Каталогизacija у публикацији:
Народна библиотека Србије, Београд

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

Cena: 350,00 dinara
Tiraž: 500 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.
UDK: 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: dobrila.miletic@mod.gov.rs

English translation and polishing
Jasna Višnjić BA
e-mail: jasnavisnjic@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@kbcnet.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 500 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 Technical Courier* is a
publication of special interest for science.
UDC: National Library of Serbia, Belgrade