

ISSN 0042-8469

e-ISSN 2217-4753



3

2014

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

NAUČNI ČASOPIS
MINISTARSTVA ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE



UDC 623 + 355/359

3 2014

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
COBISS.SR-ID 4423939



www.vtg.mod.gov.rs

3

UDC 623 + 355/359

GODINA LXII JUL-SEPTEMBAR 2014.

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
COBISS.SR-ID 4423939

MILITARY TECHNICAL

Courier

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

www.vtg.mod.gov.rs

3

UDC 623 + 355/359

VOLUME LXII JULY-SEPTEMBER 2014.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE
UNIVERZITET ODBRANE U BEOGRADU

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

Direktor
Slavojub 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

- general-major 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 Vojnogeoграфskog 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* Gaćeša MSc

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

EDITORIAL BOARD

- Major 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, Prorector 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; academician 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 Engineering 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 Radojčić, 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. Stojić, 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 Gaćeša, 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://aseeistant.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>	
Uticaj protoka plazma gasa helijuma na svojstva WC-12 tež.%Co prevlake naprskane sa atmosferskom plazmom	7–25
<i>Leonid I. Gretchihin (Леонид Иванович Гречихин)</i>	
Gasna dinamika pri kretanju kugle u nepokretnoj gasnoj sredini (Газовая динамика при движении шара в неподвижной газовой среде)	26–36
<i>Stevan M. Berber</i>	
Teorijska analiza i simulacija sistema sa kodnom raspodelom kanala (CDMA) za zaštićeni prenos signala u širokopojasnim kanalima	37–58
<i>Vojkan M. Radonjić, Danko M. Jovanović, Milenko P. Ćirić</i>	
Optimalni model koncepta održavanja radio-relejnih uređaja	59–79
<i>Predrag S. Dobratić, Mileta R. Ristivojević</i>	
Uticaj parametara cilindričnih zupčastih parova na stepen sprežanja profila zubaca	80–100

PREGLEDNI ČLANCI

<i>Miodrag D. Regodić, Željana Ž. Benić</i>	
Daljinska opažanja prirodnih pojava	101–120

KRATKA SAOPŠTENJA

<i>Alexander I. Golodyaev (Александр Иванович Голодяев)</i>	
Poboljšanje efikasnosti prenosnih protivavionskih raketnih sistema i raketa „vazduh-vazduh“ i novi načini borbene upotrebe ovih raketa (Повышение эффективности ракет переносных зенитных комплексов и ракет «воздух-воздух» и новые средства борьбы с этими ракетами)	121–127

STRUČNI ČLANCI

<i>Muhamed H. Pašić</i>	
Upravljanje mašine (prese) za štancanje lima	128–151
<i>Paun J. Bereš, Kristian P. Bereš</i>	
Heuristika i operaciona istraživanja u funkciji edukacije subiekata sistema civilne odbrane za vanredne situacije	152–164
<i>Slobodan M. Starčević, Aleksandar M. Gošić</i>	
Metodologija za izbor trase za transport opasnog tereta – studija slučaja	165–184

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

<i>Dragan M. Vučković, Mladen R. Tišma, Nikola M. Ostojić,</i>	185–244
POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA	245–254

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

<i>Mihailo R. Mrdak</i>	
Effect of helium plasma gas flow rate on the properties of WC-12 wt.%Co coatings sprayed by atmospheric plasma	7–25
<i>Leonid I. Gretchihin (Леонид Иванович Гречихин)</i>	
Gas dynamics during the sphere moving in the stationary gaseous environment (Газовая динамика при движении шара в неподвижной газовой среде)	26–36
<i>Stevan M. Berber</i>	
Theoretical analysis and simulation of a code division multiple access system (cdma) for secure signal transmission in wideband channels	37–58
<i>Vojkan M. Radonjić, Danko M. Jovanović, Milenko P. Ćirić</i>	
Optimal model of the concept of radio-relay equipment maintenance	59–79
<i>Predrag S. Dobratić, Mileta R. Ristivojević</i>	
Influence of the cylindrical gear pairs parameters to the transverse contact ratio	80–100

REVIEW PAPERS

<i>Miodrag D. Regodić, Željana Ž. Benić</i>	
Remote sensing of natural phenomena	101–120

SHORT REPORTS

<i>Alexander I. Golodyaev (Александр Иванович Голодяев)</i>	
Improving the efficiency of portable anti-aircraft missile systems and air-to-air missiles and new combat use of these missiles (Повышение эффективности ракет переносных зенитных комплексов и ракет «воздух-воздух» и новые средства борьбы с этими ракетами)	121–127

PROFESSIONAL PAPERS

<i>Muhamed H. Pašić</i>	
Control of machines (presses) for sheet metal stamping	128–151
<i>Paun J. Bereš, Kristian P. Bereš</i>	
Heuristics and operational research in emergency situations and civil defence education	152–164
<i>Slobodan M. Starčević, Aleksandar M. Gošić</i>	
Methodology for choosing a route for transport of dangerous goods - case study	165–184

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

<i>Dragan M. Vučković, Mladen R. Tišma Nikola M. Ostojić,</i>	
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	185–244
	245–254

ORIGINALNI NAUČNI ČLANCI ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

EFFECT OF HELIUM PLASMA GAS FLOW RATE ON THE PROPERTIES OF WC-12 wt.%Co COATINGS SPRAYED BY ATMOSPHERIC PLASMA

Mihailo R. Mrdak
Research and Development Center IMTEL,
Communications a.d., Belgrade

DOI: 10.5937/vojtehg62-3962

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

The cermet coatings of WC-12wt.%Co are extensively used to improve the wear resistance of a wide range of technical components. This paper analyses the influence of the plasma gas flow of helium on the microstructure and mechanical properties of WC-12wt.%Co coatings deposited by plasma spraying at atmospheric pressure (APS). In order to obtain homogeneous and denser coatings, three different flows of He (8 l/min., 16 l/min. and 32 l/min.) were used in the research. With the application of He, coatings achieved higher values of hardness due to less degradation of the primary WC carbides. The main goal was to deposit dense and homogeneous layers of WC-12wt.%Co coatings with improved wear resistance for different applications. The test results of the microstructure of the layers were evaluated under a light microscope. The analysis of the microstructure and the mechanical properties of the deposited layers was made in accordance with the standard of Pratt-Whitney. The morphology of the powder particles and the microstructure of the best coating was examined on the SEM (scanning electron microscope). The evaluation of the mechanical properties of the layers was done by applying the HV_{0.3} method for microhardness testing and by applying tensile testing to test the bond strength. The research has shown that the flow of He plasma gas significantly affects the microstructure, the mechanical properties and the structure of WC-12 wt.%Co coatings.

Key word: *plasmas, microstructures, mechanical properties, layers, gas flow, flow rate, coatings, Co.*

ACKNOWLEDGEMENT: The author is thankful for the financial support from the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia (national projects OI 174004, TR 34016).

Introduction

WC-Co cermet coatings are groups of coatings designed for wide-spectrum abrasion resistance. Thermal spray processes such as plasma spraying APS, VPS and HVOF processes are commonly used for their deposition. These technological processes have proven to be good for the production of WC-Co cermet coatings as a replacement for electrolytic hard chromium, especially in the aerospace industry (Berger, et al., 1996, pp.89-96), (Dorfman, et al., 2000, pp.471-478), (Sartwell, et al., 2002), (Savarimuthu, et al., 2000, pp.1095-1104). Thermally sprayed WC-Co coatings are used extensively to improve the abrasion resistance of technical components. WC-Co coatings deposited with thermal spraying are widely used in the cases when high resistance to abrasion and erosion resistance are requested. These coatings exhibit higher phase microstructures which are formed from the WC primary carbides such as W_2C , W and amorphous phases of Co-based binders (Li, et al., 1996, p.785), (Verdon, et al., 1998, p.11). The microstructure of WC-Co coatings has three crystalline phases (WC, W_2C and W). The WC carbide phase is present in the initial powder but the other two phases are formed during the spraying process through decarburization of WC carbide particles. The share of the secondary phases (W_2C and W) was higher in the coatings sprayed using hydrogen H_2 as plasma gas. Hydrogen has a high heat content – enthalpy and therefore there is greater decarburization of WC carbide particles. The porosity of the coatings produced is about 10%. In these coatings, the presence of a matrix rich in Co was identified. This Co-rich phase represents the areas with different composition. The bright fields belong to the matrix areas with a high percentage of W. WC grains are within the splats where the temperature achieved is not high enough to produce the collapse of grains. The W_2C carbide phase was identified around WC grains. The metal W was discovered in the outer part of the splats where decarburization is higher. The reason for this may be a larger share of W_2C and higher strengthening of the Co matrix with the desintegration of WC carbides. When He is used as plasma gas, coatings achieve higher hardness values due to a higher content of primary non decomposed WC carbide grains. The He gas has a lower enthalpy value than H_2 and makes denser plasma which absorbs less oxygen (Mrdak, 2012, pp.71-89), (Mrdak, 2013, pp.68-88), which results in the smaller decomposition of WC grains; therefore, the coating in the structure retains a higher number of primary WC grains. The increase of the coating microhardness is expected when the proportion of WC grains in the microstructure is higher. The highest values of hardness and toughness of the coating are achieved when He is used as plasma gas. These values are similar to those obtained in the coatings sprayed

with the HVOF process (Khameneh Asl, Heydarzadeh Sohi, 2006, pp.1203-1208). With the development of the cold spray, there is a possibility for carbide decarburization to be eliminated, completely or partially, since the spraying of particles takes place at lower temperature (Jodoin, et al., 2006, pp.4424-4432), (Kim, et al., 2005, pp.243-248), (Lima, et al., 2002), (Li, et al., 2007, pp.1011-1020), (Papyrin, 2001, pp.49-51), (Stoltenhoff, et al., 2002, pp.542-550). Using powders with a reduced WC grain size improves the properties such as hardness and toughness, even resistance to sliding (Jia, Fischer, 1996, pp.206-214) and resistance to wear (Jia, Fischer, 1997, pp.310-318). A significant effort has been devoted to studying the effect of the percentage of binder phase and spraying conditions on the properties of coatings (Dent, et al., 2002, pp.551-558), (Qiao, et al., 2003, pp.24-41), (Marple, Lima, 2003, pp.273-282). In these studies, it was found that the adhesion and the level of decarburization affect significantly the microstructure and properties of coatings. Decarburization affects not only hardness, but also wear, as suggested by Qiao et al.; therefore, the optimization of parameters it is very important (Qiao, et al., 2003, pp.24-41). The reaction of the WC carbide decomposition takes place during thermal spraying (Guilemany, et al., 1999, pp.1913-1921), by the reaction:

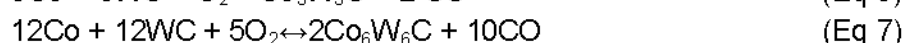
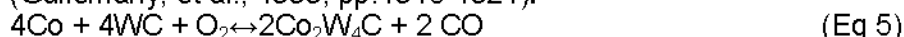


Chemical reactions take place in WC carbide primary grains that interact with oxygen. Also, WC carbide primary grains can be degraded in the atmosphere without oxygen in accordance with equation 4:



According to some authors (Guilemany, et al., 1999, pp.1913-1921), (Verdon, et al., 1998, pp.11-24), two types of W_2C carbide can be formed. The first type is formed when the primary grains of WC carbides decompose in accordance with equations Eq 1 or Eq 4. The second mechanism occurs during the solidification of the Co-rich matrix, which leads to the precipitation of the W_2C phase on the WC grain boundaries. Later, W_2C phases appear as globular edges around WC grains. As a result of the decomposition reactions, some carbon is dissolved in the matrix, and some reacts with oxygen from the surface to form CO/CO_2 , thus losing a part of carbon from the starting powder. The retained C in the matrix, together with W present in the liquid, enriches the Co matrix forming amorphous compounds and nanocrystalline regions (Verdon, et al., 1998, pp.11-24), (He, Schoenung, 2002, pp.274-319). Depending on the

decarburization degree, metal W can be deposited near the lamella boundaries (Qiao, et al., 2003, pp.24-41) where the carbon envelope is, due to the reaction with oxygen. Also, depending on the degree of decarburization, the precipitation of the η - phase can also occur in the following way (Guilemany, et al., 1999, pp.1913-1921):



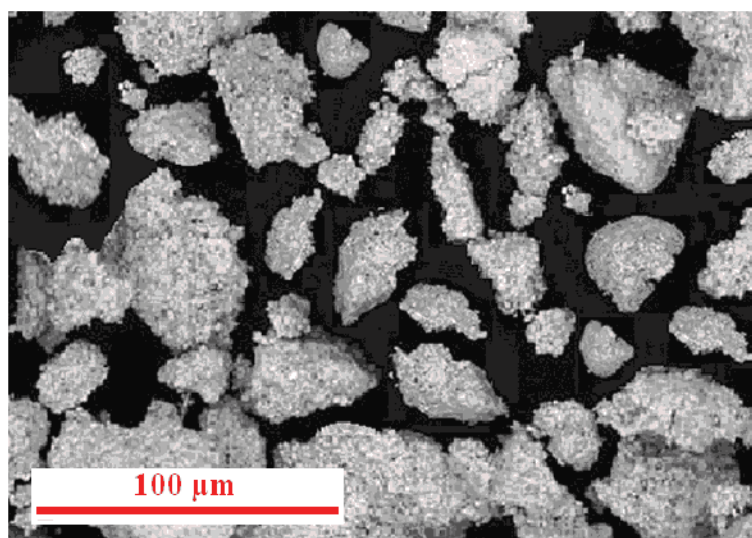
This experimental observation has been confirmed in the coatings with a higher content of decarburization and cracks (Sobolev, et al., 2004).

Sintered and crushed powder of WC- 12wt.%(88WC/12Co) is most often deposited by atmospheric plasma spraying – APS process or by HVOF for the production of very dense WC coatings. These coatings provide excellent resistance to most forms of abrasive wear at temperatures $\leq 500^\circ\text{C}$ (Material Product Data Sheet, 2012, Metco 72F- NS Tungsten Carbide – 12% Cobalt Sintered and Crushed Powders, DSMTS-0115.0, Sulzer Metco). These coatings contain fine WC carbide grains for abrasive resistance against abrasive impact of hard particles, hard surfaces, erosive particles and mechanisms of wear by friction. Coatings are intended for use in dry non-corrosive environments. In comparison with the WC coatings with 17 wt% of cobalt, the reduced Co content in the coating reduces toughness while increasing hardness and resistance to friction and wear. WC-12wt.%(88WC/12Co) coatings are used on parts such as: conveyor screws, compressor stators, impeller shafts, fan blade midspan supports, exhaust fans, etc. (Material Product Data Sheet, 2012, Metco 72F- NS Tungsten Carbide – 12% Cobalt Sintered and Crushed Powders, DSMTS-0115.0, Sulzer Metco). Mann and al. showed that WC-12wt.%Co coatings significantly increase the erosion resistance of components in the oil industry, such as valves and valve rings (Mann et al., 2006, pp.75-82).

The main objective of this study was to deposit, by atmospheric plasma spraying – APS, dense and homogeneous layers of WC - 12wt.%Co coatings with high resistance to wear and erosion for different applications. When choosing the parameters, He was used as plasma gas; unlike H_2 , He does not react with the powder. It produces denser plasma with a lower heat content which reduces the temperature of decomposition and decarburization of WC carbide. Three groups of samples were made with a secondary plasma gas flow rate He of 8 l/min., 16 l/min. and 32 l/min. The microstructure and mechanical properties of coating layers were analysed and studied. The best performance was found in layers deposited with a flow rate of He 32 l/min.

Materials and experimental details

WC-12wt.%Co coatings were made with powder Metco 72F – NS (Material Product Data Sheet, 2012, Metco 72F - NS Tungsten Carbide – 12% Cobalt Sintered and Crushed Powders, DSMTS-0115.0, Sulzer Metco). The powder is produced by sintering WC mono carbide particles and metal Co particles and subsequent crushing of sintered particles to obtain specific granulation. The powder used in the experiment had a grain size range of 11 - 45 μm . The melting temperature of the powder is 1250°C. Fig. 1 shows a (SEM) scanning electron micrograph of the morphology of powder particles. Irregularly shaped grains of powder WC-12 wt.%Co can be seen.



Slika 1 – (SEM) Skening elektronska mikrografija čestica praha WC – 12 tež.%Co
Figure 1 – (SEM) Scanning electron micrograph of WC – 12 wt.%Co powder particles

The substrates for depositing coatings for testing microhardness and assessing their structure are made of steel Č.4171 (X15Cr13 EN10027) in the thermally unprocessed state, with the dimensions 70x20x1.5mm (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA). The substrates for testing bond strength are also made of steel Č.4171(X15Cr13EN10027) in the thermally unprocessed state, with the dimensions Ø25x50 mm (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA).

The mechanical properties of the layers were evaluated by testing hardness using the $HV_{0.3}$ method and by testing their bond strength using tensile testing. Microhardness measurement was performed in the direction along the lamellae, in the middle and at the ends of the samples. Five values were obtained and averaged. Bond strength was tested by tensile testing. The testing was done at room temperature with a tensile speed of 1cm/60s. For each group of samples, three test specimens were tested, and in this paper the mean values are presented.

The microstructural analysis of the coatings was performed under a light microscope. The morphology of the powder particles and the best coating microstructure were done on the SEM (Scanning Electron Microscope).

Layers were applied on the metal substrate using the APS method. The coatings were deposited on steel bases roughed with white electrocorundum with a grain size of 0.7 mm to 1.5 mm. For the production of coatings, the atmospheric plasma spray (APS) system of the company Plasmadyne was used. The system consists of: cathode K1083 -129, anode A 2083 -129 and gas injector GI 2083 -130. The main parameter when choosing powder deposition parameters was the plasma gas flow of He (l/min.). Helium was used in a combination with argon gas and an arc power supply of 40 kW. Three groups of samples with three He flows of 8 l/min., 16 l/min. and 32 l/min were made. The layers were deposited on the substrates of a total thickness of 0.15 to 0.18 mm. The detailed values of the plasma spray deposition parameters are shown in Table 1.

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

Deposition parameters	Values		
Plasma current, I (A)	800	800	800
Plasma Voltage, U (V)	32	32	32
Primary plasma gas flow rate, Ar (l/min)	47	47	47
Secondary plasma gas flow rate, He (l/min)	8	16	32
Carrier gas flow rate, Ar (l/min)	7	7	7
Powder feed rate (g/min)	50	50	50
Stand-off distance (mm)	80	80	80

Results and discussion

The measured values of the microhardness of the WC - 12 wt.% Co coating depending on the flow of helium are presented in Fig. 1. The values of the microhardness of the layers of WC- 12 wt.%Co are directly related to the flow of helium. The layers deposited at a flow rate of helium of 8 l/min. had the lowest values of microhardness in the range of 598 - 876HV_{0.3}. The highest microhardness values of 997 - 1420HV_{0.3} were observed in the layers with the highest helium flow of 32 l/min. The values of the microhardness of the WC - 12 wt.%Co coatings deposited with a helium flow of 16 l/min. and 32 l/min. were in accordance with the values set by the standard PWA(min. 700HV_{0.3}) for this type of coatings (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA). The helium flow affected the density of the deposited layers. A small flow of helium resulted in less melting and lower deformation of hard particles during the impact with a previously deposited layer. Limited deformation of particles in the impact with the substrate, which is also less deformed under the impact of depositing particles due to its hardness, causes more porous coating layers. Layers deposited with a high flow of helium are denser as confirmed by the metallographic examination of the samples. Higher values of the microhardness of the WC - 12wt.%Co layers deposited with a higher flow of helium indicate a higher cohesive strength of the layers, as confirmed by the results of tensile bond strength.

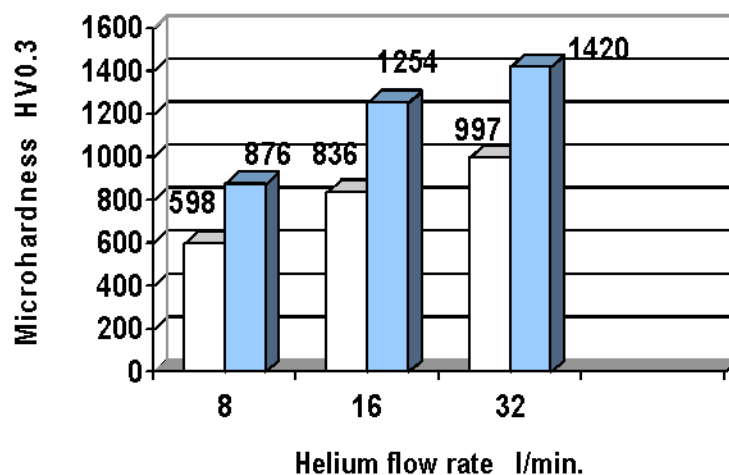


Figure 2 – Microhardness of WC – 12 wt.%Co layers
Slika 2 – Mikrotvrdoća WC – 12tež. %Co slojeva

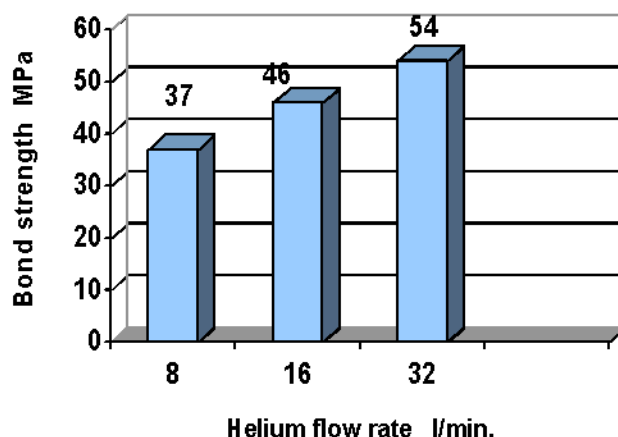


Figure 3 – Bond strength of WC – 12 wt.%Co layers
Slika 3 – Čvrstoća spoja WC – 12tež. %Co slojeva

The tensile bond strength values of WC - 12wt.%Co coatings directly depend on the flow of helium (Fig. 2). As seen in the figure, the helium flow rate affects the values of tensile bond strength. The coatings deposited with the highest helium flow rate of 32 l/min. which had the highest values of microhardness of 997 - 1420HV_{0.3}, had the highest tensile bond strength of 54MPa. The layers deposited with the smallest helium flow of 8 l/min. have the smallest minimum tensile bond strength of 37MPa. The tensile bond strength values of the coatings deposited with a helium flow rate of 16 l/min. and 32 l/min. were in accordance with the values set by the standard PWA (45MPa)(Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA). During the testing of the samples, a fracture occurred along the coating / substrate interface in all samples. This suggests that the WC – 12wt.%Co coating has a good cohesive strength.

Fig. 4 shows the microstructure of WC -12wt.%Co coatings deposited with the smallest helium flow rate of 8 l/min. The boundaries on the interface between the substrate and the coating layers are very clean, indicating a good substrate surface preparation. The bond of the coating with the substrate is uniform, without separation of coating layers from the substrate. The layers were deposited without the presence of microcracks and macrocracks. In the microstructure of the coatings, black micro pores of irregular shape were most pronounced, due to which the coating has the lowest value of microhardness of 598 - 876HV_{0.3}. The coating shows a structure with a limited inter-lamellar bonding, because of volume errors which, in operational conditions, can cause the appearance of micro-cracks and accelerate coating wear.

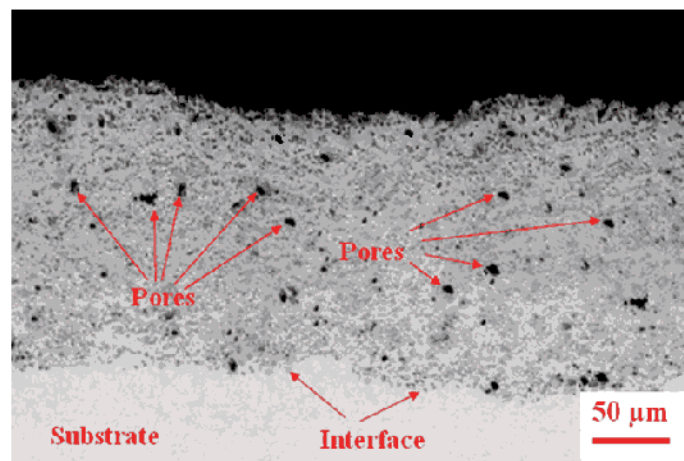


Figure 4 – Microstructure of the WC – 12wt.%Co coating deposited with a helium feed rate of 8 l/min

Slika 4 – Mikrostruktura WC-12tež.%Co prevlake deponovane sa protokom helijuma 8 l/min

Figs. 5 and 6 show the microstructures of the layers of WC-12wt.%Co coatings deposited with a helium flow of 16 l/min. Because of the higher flow of helium, powder particles melt better and deform plastically during their impact with the substrate, resulting in lower porosity in the coating layers. Fig. 6 clearly shows the black fields of pores. Unmelted powder particles are not present in the microstructure. In the deposited state, powder particles of WC-12wt.%Co are well melted and mutually interconnected to make continual and continuous coating layers (Fig. 6).

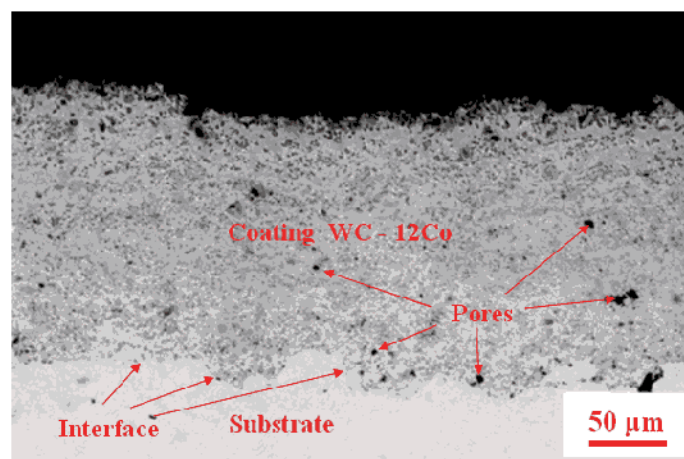


Figure 5 – Microstructure of the WC – 12wt.%Co coating deposited with a helium feed rate of 16 l/min

Slika 5 – Mikrostruktura WC – 12tež.%Co prevlake deponovane sa protokom helijuma 16 l/min

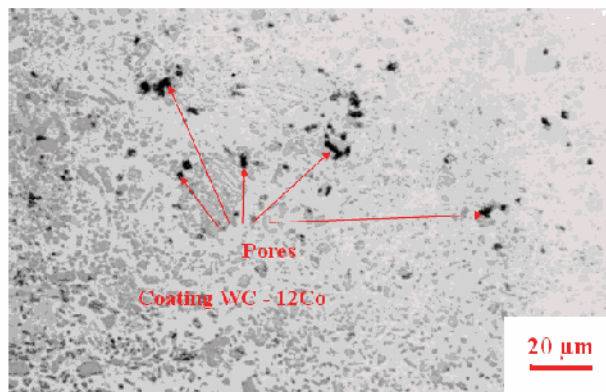


Figure 6 – Microstructure of the WC – 12wt.%Co coating deposited with a helium feed rate of 16 l/min

Slika 6 – Mikrostruktura WC – 12tež.%Co prevlake deponovane sa protokom helijuma 16 l/min

Figs. 7 and 8 show the layers of WC-12 wt.%Co coatings deposited with the highest helium flow of 32 l/min. These layers had the best microstructure and mechanical properties. The photomicrograph 7 shows the interface between WC-12wt.% Co layers and the substrate indicating a very good layer-substrate bond, which is consistent with the values of tensile bond strength. Through the coating layers fine micro pores are observed without the presence of coarse pores, which is consistent with the mechanical characteristics of the layers. Unmelted powder particles are not present in the microstructure. In the deposited state, the WC-12wt.% Co powder particles are well melted and interconnected to make continual and continuous coating layers. The WC-12 wt.% Co powder particles are evenly melted and properly deposited in the coating layers.

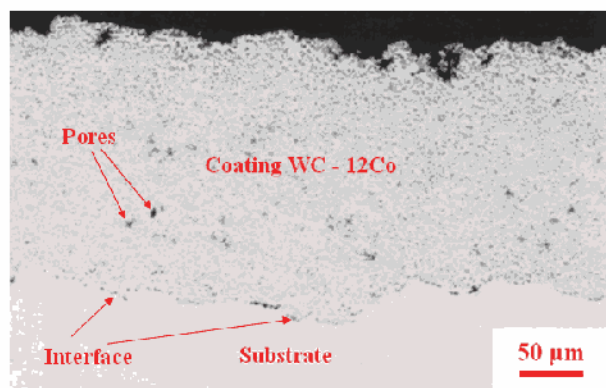


Figure 7 – Microstructure of the WC – 12wt.%Co coating deposited with a helium feed rate of 32 l/min.

Slika 7 – Mikrostruktura WC – 12tež.%Co prevlake deponovane sa protokom helijuma 32 l/min.

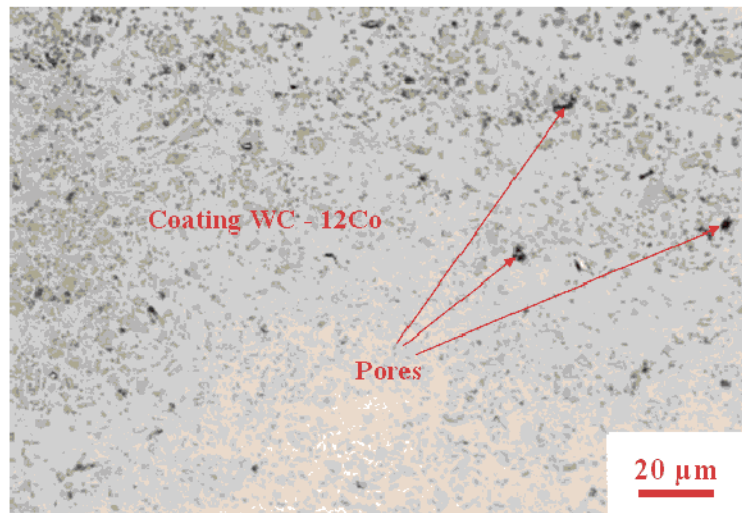


Figure 8 – Microstructure of the WC– 12wt.%Co coating deposited with a helium feed rate of 32 l/min

Slika 8 – Mikrostruktura WC – 12tež.%Co prevlake deponovane sa protokom helijuma 32 l/min

Fig. 8 shows the SEM micrographs of WC-12wt.%Co coatings deposited with a helium flow of 32 l/min. with visible phases present in the microstructure.

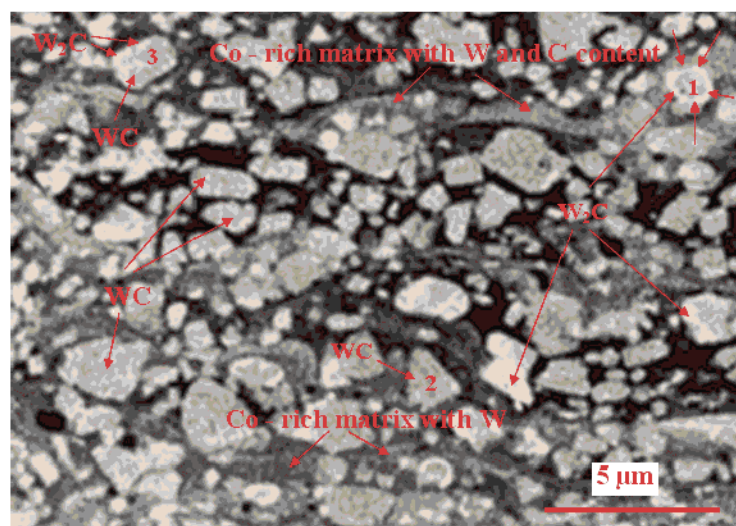


Figure 9 – SEM microstructure of the WC– 12wt.%Co coating deposited with a helium feed rate of 32 l/min

Slika 9 – (SEM) Mikrostruktura WC – 12tež.%Co prevlake deponovane sa protokom helijuma 32 l/min

Due to the decomposition of the primary WC carbide, which cannot be avoided in the process of deposition, the coating shows a multiphase microstructure. In the microstructure, there are angularly shaped grains of the undecomposed primary WC carbide WC (point 2). Decomposition of primary WC carbides results in grains obtaining smoother edges. The formed W_2C carbide concentrates in the form of globules on the edges or the surface of the primary WC carbide grains (point 3). Some primary WC carbide grains can be completely surrounded by W_2C carbide (point 3). The primary WC carbide is dark gray, and the W_2C carbide is light white (Li, et al., 1996, p.785), (Verdon, et al., 1998, p.11). Three crystalline phases (WC, W_2C and W dissolved in Co binder base) are present in the microstructure. As a result of the decomposition reaction, some carbon C dissolves in the Co base, and some reacts with oxygen to form CO/CO₂; a share of carbon C from the initial powder is therefore lost. The retained C in the Co base with W enriches the Co base (He, Schoenung, 2002, pp.274-319), (Verdon, et al., 1998, pp.11-24). Depending on the decarburization, metal W can be deposited near the lamella boundary (Qiao, et al., 2003, pp.24-41).

Conclusion

WC-12wt.% Co coatings were deposited by APS - atmospheric plasma spraying with three helium flows of 8 l/min., 16 l/min. and 32 l/min. The microstructure and the mechanical properties of the deposited coatings were analysed and the following conclusions were made.

The mechanical properties and the microstructure of WC-12wt.%Co coatings were directly dependent on the flow rate of helium plasma gas. The increased helium flow led to the deposition of the coatings with higher values of microhardness and tensile bond strength. The coatings deposited with the highest helium flow of 32 l/min. had the highest values of microhardness and tensile bond strength. In all coatings, fractures occurred at the interface between the coating and the substrate. The microhardness and tensile strength values of the bonds were consistent with their microstructures.

Black pores were present in the coating microstructures. The pores were least pronounced in the layers of the coating deposited with a helium flow of 32 l/min. In these layers, fine micro pores are present without the presence of coarse pores, which is consistent with the microstructure and mechanical properties of the layers. The most prominent and the roughest micro pores were in the layers deposited with a helium flow of 8 l/min.

In the microstructure there are the crystalline phases of WC, W_2C and W dissolved together with C in the Co binder base. The dissolved W with C in the Co binder base enriches the Co base. The coatings deposited with a helium flow of 32 l/min. showed the best mechanical properties and microstructure.

Literature

- Berger, L.M., Hermel, W., Vuoristo, P., Mantyla, T., Lengauer, W., & Ettmayer, P. 1996. Structure, properties and potentials of WC-Co, Cr₃C₂-NiCr and TiC-Ni-based hard metallike coatings. In: Proc. 9th Natl Thermal Spray Conf., Thermal spray: practical solutions for engineering problems, Cincinnati, OH, USA. ASM International. pp. 89-96 October.
- Dent, A.H., Depalo, S., & Sampath, S. 2002. Examination of the Wear Properties of HVOF Sprayed Nanostructured and Conventional WC-Co Cermets With Different Binder Phase Contents. *J. Therm. Spray Technol*, 11(4), pp. 551-558. doi:10.1361/105996302770348691
- Guilemany, J.M., Paco, J.M., Miguel, J.R., & Nutting, J. 1999. Characterization of the W2C phase formed during the high velocity oxygen fuel spraying of a WC + 12 pct Co powder. *Metall. Mater. Trans. A*, 30(8), pp. 1913-1921. doi:10.1007/s11661-999-0002-3
- He, J., & Schoenung, J.M. 2002. Nanostructured coatings. *Mater. Sci. Eng. A*, 336(1-2), pp. 274-319. doi:10.1016/S0921-5093(01)01986-4
- Jodoin, B., Raletz, F., & Vardelle, M. 2006. Cold Spray Modeling and Validation Using an Optical Diagnostic Method. *Surf. Coat. Technol*, 200(14-15), pp. 4424-4432.
- Jia, K., & Fischer, T.E. 1996. Abrasion resistance of nanostructured and conventional cemented carbides. *Wear*, 200(1-2), pp. 206-214. doi:10.1016/S0043-1648(96)07277-8
- Jia, K., & Fischer, T.E. 1997. Sliding Wear of Conventional and Nanostructured Cemented Carbides. *Wear*, 203-204, pp. 310-318.
- Khameneh, A.S., Sohi, H.M., Hokamoto, K., & Uemura, M. 2006. Effect of heat treatment on wear behavior of HVOF thermally sprayed WC-Co coatings. *Wear*, 260(11-12), pp. 1203-1208. doi:10.1016/j.wear.2005.07.013
- Kim, H.J., Lee, C.H., & Hwang, S.Y. 2005. Superhard Nano WC-12%Co Coating by Cold Spray Deposition. *Mater. Sci. Eng. A*, 391(1-2), pp. 243-248.
- Li, C.J., Ohmori, A., & Harada, Y. 1996. Effect of powder structure on the structure of thermally sprayed WC-Co coatings. *Journal of Materials Science*, 31(3), pp. 785-794. doi:10.1007/BF00367900
- Li, C.J., Yang, G.J., Gao, P.H., Ma, J., Wang, Y.Y., & Li, C.X. 2007. Characterization of Nanostructured WC-Co Deposited by Cold Spraying. *J. Therm. Spray Technol*, 16(5-6), pp. 1011-1020.
- Lima, R.S., Karthikeyan, J., Kay, C.M., Lindemann, J., & Berndt, C.C. 2002. Microstructural Characteristics of Cold Sprayed Nanostructured WC-Co Coating. *Thin Solid Films*, 416(1-2), pp. 129-135.
- Material Product Data Sheet, 2012, Metco 72F- NS Tungsten Carbide – 12% Cobalt Sintered and Crushed Powders, DSMTS-0115.0, Sulzer Metco.
- Mann, B.S., Arya, V., Maiti, A.K., Rao, M.U.B., & Joshi, P. 2006. Corrosion and erosion performance of HVOF/TiAlN PVD coatings and candidate materials for high pressure gate valve application. *Wear*, 260(1-2), pp. 75-82. doi:10.1016/j.wear.2004.12.045

Marple, B.R., & Lima, R.S. 2003. Process Temperature-Hardness-Wear Relationships for HVOF-Sprayed Nanostructured and Conventional Cermet Coatings. In: C. Moreau & B. Marple Ur., Thermal Spray 2003: Advancing the Science and Applying the Technology, Orlando, FL. ASM International., pp. 273-282

Mrdak, M. 2013. Characterization of sealing nickel - graphite coating in the system with bonding of nickel-aluminum coating. *Vojnotehnički glasnik*, 61(1), pp. 68-88. doi:10.5937/vojtehg61-1574

Mrdak, M. 2012. Study of the characteristics of plasma spray sealing aluminum silicon-polyester coatings. *Vojnotehnički glasnik*, 60(3), pp. 71-89. doi:10.5937/vojtehg1203071M

Papayrin, A. 2001. Cold Spray Technology. *Adv. Mater. Process*, 159(9), pp. 49-51.

Qiao, Y., Fischer, T.E., & Dent, A. 2003. The effects of fuel chemistry and feedstock powder structure on the mechanical and tribological properties of HVOF thermal-sprayed WC-Co coatings with very fine structures. *Surf. Coat. Technol.*, 172(1), pp. 24-41. doi:10.1016/S0257-8972(03)00242-1

Sartwell, B.D., Dull, D., Falkowski, J., Legg, K.O., Bretz, P., Schell, J., . . . Parker, D. 2002. *Validation of WC/Co and WC/CoCr HVOF thermal spray coatings as a replacement for hard chrome plating on aircraft landing gear*. Washington, DC: NRL. NRL report No. XYZ.

Savarimuthu, A.C., Megat, I., Taber, H.F., Shadley, J.R., Rybicki, E.F., Emery, W.A., . . . Somerville, D.A. 2000. Sliding wear behavior as a criterion for replacement of chromium electroplate by tungsten carbide (WC) thermal spray coatings. U: Proc. 20th Oklahoma AIAA/ASME Symposium: Aircraft applications, Stillwater, OK, USA. AIAA/ASEM., pp. 1095-1104 February.

Stoltenhoff, T., Kreye, H., & Richter, H.J. 2002. An Analysis of the Cold Spray Process and Its Coatings. *J. Therm. Spray Technol.*, 11(4), pp. 542-550. doi:10.1361/105996302770348682

Sobolev, V.V., Guilemany, J.M., & Nutting, J. 2004. *High Velocity Oxy-Fuel Spraying*. Leeds, UK: W.S. Maney and Son Ltd..

Verdon, C., Karimi, A., & Martin, J.L. 1998. A study of high velocity oxy-fuel thermally sprayed tungsten carbide based coatings. Part 1: Microstructures. *Mater. Sci. Eng. A*, 246(1-2), pp. 11-24. doi:10.1016/S0921-5093(97)00759-4

UTICAJ PROTOKA PLAZMA GASA HELIJUMA NA SVOJSTVA WC-12 WT.%CO PREVLAKA NAPRSKANE ATMOSFERSKOM PLAZMOM

OBLAST: hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Kermet prevlake WC-12 tež.%Co intenzivno se koriste za poboljšanje otpornosti na habanje širokog spektra tehničkih komponenti. U radu je analiziran uticaj protoka plazma gasa helijuma na mikrostrukturu i me-

hantičke karakteristike WC-12tež.%Co prevlake deponovanih plazma-sprej postupkom na atmosferskom pritisku (APS). Radi dobijanja homogenih i gušćih prevlaka u istraživanju su se koristila tri različita protoka He od 8 l/min., 16 l/min. i 32 l/min. Sa primenom He prevlake postižu veće vrednosti mikrotvrdoće zbog manje razgradnje primarnog karbida WC. Glavni cilj bio je da se deponuju gusti i homogeni slojevi WC-12tež.%Co prevlake sa poboljšanom otpornošću na habanje za različite aplikacije. Rezultati ispitivanja mikrostrukture slojeva procenjeni su na svetlosnom mikroskopu. Mikrostrukturna analiza i mehaničke karakteristike deponovanih slojevima urađene su u skladu sa standardom Pratt-Whitney. Morfologija čestica praha i mikrostruktura najbolje prevlake urađena je na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu). Procena mehaničkih karakteristika slojeva urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom $HV_{0.05}$ i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Istraživanje je pokazalo da protok plazma gasa He bitno utiču na mikrostrukturu i mehaničke osobine i strukture WC-12tež.%Co prevlake.

Uvod

Kermet prevlake WC-Co jesu grupe prevlaka namenjene za otpornost na habanje širokog spektra. Za deponovanje se najčešće koriste termički postupci prskanja, kao što su plazma prskanje APS, VPS i postupak HVOF. Ovi tehnološki procesi pokazali su se dobrim za izradu kermet prevlaka WC-Co kao zamena elektrolitičkom tvrdom hromu, posebno u vazduhoplovnoj industriji (Berger, et al., 1996, pp.89-96), (Dorfman, et al., 2000, pp.471-478), (Sartwell, et al., 2002), (Savarimuthu, et al., 2000, pp.1095-1104). U mikrostrukтури preprevlaka WC-Co su prisutne tri kristalne faze (WC, W_2C i W). Karbidna faza WC prisutna je u početnom prahu, ali druge dve faze se formiraju tokom procesa prskanja kroz dekarburizaciju čestica karbida WC. Udeo sekundarnih faza (W_2C i W) veći je u prevlakama naprskanim korišćenjem vodonika H_2 kao plazma gasa. Vodonik ima visok sadržaj toplote – entalpiju, pa zbog toga dolazi do veće dekarburizacije čestica karbida WC. Kada se He koristi kao plazma gas, prevlake postižu veće vrednosti mikrotvrdoće zbog većeg sadržaja primarnih nerazgrađenih karbidnih zrna WC. Gas He ima manju entalpiju od H_2 i pravi gušću plazmu koja manje usisava kiseonik (Mrdak, 2012, pp.71-89), (Mrdak, 2013, pp.68-88), što utiče na manje raspadanje zrna WC, pa prevlaka u strukturi zadržava veći broj primarnih WC zrna. Dekarburizacija ne utiče samo na tvrdoću, već i na habanja, kao što navodi Qiao et al., i zbog toga je optimizacija parametara od velikog značaja (Qiao, et al., 2003, pp.24-41). Reakcija razgradnje karbida WC odvija se tokom termičkog prskanja (Guilemany, et al., 1999, pp.1913-1921), po reakciji:

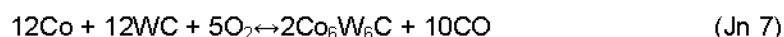
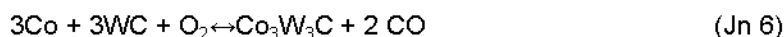
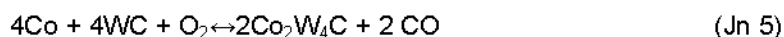


Hemijske reakcije odvijaju se u zrnima primarnog karbida WC koji je u interakciji sa kiseonikom. Takođe, zrna primarnog karbida WC mogu biti degradirana u atmosferi bez kiseonika po jednačini 4:



Prema autorima (Guilemany, et al., 1999, pp.1913-1921), (Verdon, et al., 1998, pp.11-24) mogu se formirati dve vrste karbida W_2C . Prvi tip se formira kada se primarna zrna WC karbida razlažu po jednačinama 1 ili 4. Drugi mehanizam se odvija tokom očvršćavanja matrice bogate Co, što dovodi do taloženja W_2C faze na granicama WC zrna. Kasnije se W_2C faze pojavljuju kao globularne ivice oko WC zrna. Kao posledica ovih reakcija razlaganja nešto ugljenika se rastvara u matrici, a nešto reaguje sa kiseonikom iz površine formirajući CO/CO_2 , čime se gubi deo ugljenika iz polaznog praha. Zadržani C u matrici sa W, prisutnim u tečnosti, obogaćuje matricu Co, stvarajući amorfna jedinjenja i nanokristalne regione (Verdon, et al., 1998, pp.11-24), (He, Schoenung, 2002, pp.274-319).

Takođe, u zavisnosti od stepena dekarburizacije, može se odvijati i taloženje η -faza na sledeći način Guilemany, et al., 1999, pp.1913-1921):



Ovo eksperimentalno zapažanje potvrdilo se u prevlakama sa povećanom dekarburizacijom i većim sadržajem prskotina (Sobolev, et al., 2004).

Prah WC-12tež.% (88WC/12Co) sinterovani i mleveni se najčešće deponuje atmosferski plazma-sprej postupkom – APS ili HVOF za proizvodnju veoma gustih volframkarbid prevlaka. Ove prevlake pružaju odličnu otpornost na većinu oblika abrazionog habanja na temperaturama $\leq 500^\circ C$ (Material Product Data Sheet, 2012, Metco 72F- NS Tungsten Carbide – 12% Cobalt Sintered and Crushed Powders, DSMTS-0115.0, Sulzer Metco).

Glavni cilj rada bio je da se atmosferskim plazma-sprej postupkom – APS deponuju gusti i homogeni slojevi WC – 12tež.%Co prevlake sa visokom otpornošću na habanje i eroziju za različite aplikacije. Pri izboru parametara kao plazma gasa se koristio He, koji za razliku od H_2 ne reaguje sa prahom, proizvodi gušću plazmu sa manjim toplotnim sadržajem što smanjuje temperaturno razlaganje i dekarburizaciju karbida WC. Urađene su tri grupe uzoraka sa protokom sekundarnog plazma gasa He od 8 l/min, 16 l/min i 32 l/min. Analizirane su i proučavane mikrostrukture i mehaničke karakteristika slojeva prevlaka. Najbolje performanse su pokazali slojevi deponovani sa protokom He od 32 l/min.

Materijali i eksperimentalni detalji

Za izradu WC-12tež.%Co prevlaka upotrebljen je prah Metco 72F – NS (Material Product Data Sheet, 2012, Metco 72F – NS Tungsten Carbide – 12% Cobalt Sintered and Crushed Powders, DSMTS-0115.0, Sulzer Metco). Prah je proizveden tehnikom sinterovanja čestica monokarbida WC i metalnih čestica Co i naknadnim mlevenjem sinterovanih čestica na određenu granulaciju. Prah koji se koristio u eksperimentu imao je raspon granulacije od 11 do 45 μm .

Osnove na koje su deponovane prevlake za ispitivanje mikrotvrdoće i za procenu strukture su napravljeni 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). Za ispitivanje čvrstoće spoja su osnove takođe napravljene od čelika Č.4171(X15Cr13EN10027) u termički neobrađenom stanju dimenzija Ø25x50 mm (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA).

Procena mehaničkih osobina slojeva urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom HV_{0,3} i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Merenje mikrotvrdoće izvršeno je u pravcu duž lamela, u sredini i na krajevima uzoraka. Urađeno je pet očitavanja vrednosti koje su usrednjene. Metoda ispitivanja čvrstoće spoja je metoda ispitivanja na zatezanje. Ispitivanje je urađeno na sobnoj temperaturi sa brzinom zatezanja 1 cm/60 s. Za svaku grupu uzoraka ispitane su po tri epruvete, a u radu su prikazane srednje vrednosti.

Mikrostrukturna analiza prevlaka urađena je na svetlosnom mikroskopu. Morfologija čestica praha i mikrostruktura najbolje prevlake urađena je na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu).

Proces nanošenja slojeva na metalne osnove urađen je plazma-sprej postupkom na atmosferskom pritisku (APS). Prevlake su deponovane na čelične osnove koje su ohrapavljene belim elektrokorundom granulacije od 0,7mm do 1,5 mm. Za proizvodnju prevlaka koristio se atmosferski plazma-sprej sistem (APS) firme Plasmadyne, koji se sastojao od: katode tip K1083 -129, anode tip A 2083 -129 i gas injektora tip GI 2083 -130. Pri izboru parametara depozicije praha kao osnovni parameter uzet je protok plazma gasa He (l/min). Helijum je korišćen u kombinaciji sa lučnim gasom argon uz snagu napajanja od 40 KW. Urađene su tri grupe uzoraka sa tri protoka He od 8 l/min, 16 l/min i 32 l/min. Slojevi su deponovani na supstratima ukupne debljine od 0,15 do 0,18 mm.

Rezultati i diskusija

Slojevi deponovani sa protokom helijuma od 8 l/min imali su najniže vrednosti makrotvrdoće u rasponu od 598 do 876HV_{0,3}. Najviše vrednosti mikrotvrdoće od 997 do 1420HV_{0,3} izmerene su u slojevima sa najvećim protokom helijuma od 32 l/min. Vrednosti mikrotvrdoće WC – 12tež.%Co prevlaka deponovanih sa protokom helijuma od 16 l/min i 32 l/min bile su u skladu sa vrednostima koje propisuje standard

PWA(min. 700HV_{0.3}) za ovaj tip prevlake (Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA). Protok helijuma uticao je na gustinu deponovanih slojeva. Mali protok helijuma uticao je na slabije topljenje i slabiju deformaciju tvrdih čestica u sudaru sa prethodno deponovanim slojem. Prevlake deponovane sa najvećim protokom helijuma od 32 l/min koji su imali najveće vrednosti mikrotvrdoće od 997 do 1420HV_{0.3} imali su najveću zateznu čvrstoću spoja od 54MPa. Slojevi deponovani sa najmanjim protokom helijuma od 8 l/min imaju najmanju zateznu čvrstoću spoja od 37MPa. Vrednosti zatezne čvrstoće spoja prevlaka deponovanih sa protokom helijuma od 16 l/min i 32 l/min bile su u skladu sa vrednostima koje propisuje standard PWA (45MPa)(Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN 582005), 2002, Pratt & Whitney, East Hartford, USA). Tokom testiranja uzoraka za sve uzorke prelom se dešavao duž interfejsa prevlaka/supstrat. To ukazuje da je dobra kohezijska čvrstoća WC – 12tež.%Co prevlaka.

Granice na interfejsu između substrata i slojeva prevlake izuzetno su čiste, što ukazuje na dobru pripremu površine substrata. Veza prevlake sa substratom je uniformna bez odvajanja slojeva prevlake sa substrata. Slojevi su deponovani bez prisustva mikropukotina i makropukotina. U mikrostrukтури prevlake deponovane sa protokom helijuma od 8 l/min ima najizraženije mikropore crne boje nepravilnog oblika, koje su uticale na to da prevlaka ima najniže vrednosti mikrotvrdoće od 598 do 876HV_{0.3}. Prevlaka pokazuje strukturu sa ograničenom interlamelarnim vezivanjem, zbog zapreminskih grešaka koje u radnim uslovima mogu uzrokovati pojavu mikropukotina i ubrzati habanje prevlake. Slojevi WC-12 tež.%Co prevlake deponovane sa najvećim protokom helijuma od 32 l/min imali su najbolju mikrostrukтуру i mehaničke karakteristike. Kroz slojeve prevlaka uočavaju se fine mikropore bez prisustva grubih pora, što je u skladu sa mehaničkim karakteristikama slojeva. U mikrostrukтури nisu prisutne nestopljene čestice praha. U deponovanom stanju čestice praha WC-12tež.%Co su dobro istopljene i međusobno povezane i prave kontinualne i neprekidne slojeve prevlake. Zbog razlaganja primarnog karbida WC, koje se ne može izbeći u procesu depozicije, prevlaka pokazuje višefaznu mikrostrukтуру. U mikrostrukтури su prisutna zrna uglastog oblika nerazgrađenog primarnog karbida WC. Razlaganjem primarnog karbida WC zrna se zaobljavaju po ivicama. Formirani karbid W₂C izdvaja se u obliku globula po ivicama ili površini primarnih zrna karbida WC. Neka primarna zrna WC karbida mogu biti potpuno okružena W₂C karbidom (tačka 3). Primarni karbid WC je tamnosive boje, a W₂C karbid svetlo- bele boje (Li, et al., 1996, p.785), (Verdon, et al., 1998, p.11). U mikrostrukтури su prisutne tri kristalne faze WC, W₂C i W rastvoren u osnovi veziva Co. Kao posledica reakcija razlaganja, nešto ugljenika C rastvara se u osnovi Co, a nešto reaguje sa kiseonikom formirajući CO/CO₂, čime se gubi deo ugljenika C iz polaznog praha. Zadržani C u osnovi Co sa W obožuje osnovu Co (He, Schoenung, 2002, pp.274-319), (Verdon, et al.,

1998, pp.11-24). U zavisnosti od stepena dekarburizacije, metalni W može da se taloži blizu granica lamela (Qiao, et al., 2003, pp.24-41).

Zaključak

Atmosferskim plazma-sprej postupkom (APS) deponovane su WC-12tež.%Co prevlake sa tri protoka helijuma 8 l/min, 16 l/min i 32 l/min. Analizirane su mehaničke i mikrostrukture osobine deponovanih prevlaka na osnovu čega se došlo do određenih zaključaka.

Mehaničke osobine i mikrostrukture WC-12tež.%Co prevlaka bile su u direktnoj zavisnosti od protoka plazma-gasa helijuma. Sa povećanjem protoka helijuma dopinovale su se prevlake sa većim vrednostima mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja. Prevlaka deponovana sa najvećim protokom helijuma od 32 l/min imala je 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 bile su u skladu sa njihovim mikrostrukturama.

U mikrostrukтури prevlaka prisutne su pore crne boje. Pore su bile najmanje izražene u slojevima prevlake deponovane sa protokom helijuma od 32 l/min. U tim slojevima prisutne su fine mikropore bez prisustva grubih pora, što je u skladu sa mehaničkim karakteristikama i mikrostrukturom slojeva. Najizraženije i najgrublje mikropore imali su slojevi deponovani sa protokom helijuma od 8 l/min.

U mikrostrukтури su prisutne kristalne faze WC, W_2C i W koji je sa C rastvoren zajedno u osnovi veziva Co. Rastvoreni W sa C u osnovi veziva Co, obogaćuje osnovu Co. Prevlaka deponovana sa protokom helijuma od 32 l/min pokazala je najbolje mehaničke karakteristike i mikrostrukтуру.

Ključne reči: plazma, mikrostrukture, mehanička svojstva, slojevi, protok gasa brzina toka, prevlaka, Co.

Datum prijema članka/Paper received on: 31. 05. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 15. 02. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 17. 02. 2014.

ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА ПРИ ДВИЖЕНИИ ШАРА В НЕПОДВИЖНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

Леонид И. Гречихин

Минский государственный высший авиационный колледж,
Минск, Республика Беларусь

DOI: 10.5937/vojtehg62-5368

ОБЛАСТЬ: механика, аэродинамика, газодинамика

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

Краткое содержание:

Разработана молекулярно-кинетическая модель газодинамического обтекания шара. Установлены три области разных механизмов взаимодействия движущегося шара с неподвижной газовой средой. Показано, что срывное течение является решающим при малых скоростях движения шара, а при скоростях движения близких к скорости звука решающую роль выполняет ударное взаимодействие шара на молекулы окружающей среды в передней полусфере. Срывное течение за шаром создает конус с неподвижной газовой средой. Установлен закон, определяющий размер срывного конуса.

Ключевые слова: срывное течение, газодинамика, срывной конус, закон срывного течения.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) микро и мини обладают малыми размерами и совершают полет при скоростях заведомо меньших скорости звука. Поэтому для таких летательных аппаратов срывное течение играет заметную роль. В авиации срывное течение изучалось преимущественно экспериментально. Срывное течение порождает возникновение вихрей. Подробные исследования возникновения вихрей в срывном течении выполнены Теодором фон Карманом (*фон Карман*, 2001, стр.208). Анализируя экспериментальные факты, им были обоснованы условия возникновения вихрей. Поэтому шлейф вихрей за движущимся телом был назван «Вихревая дорожка Кармана». Подробное описание экспериментальных фактов возникновения срывного течения дано в работе (*Беляев, Червяков*, 2010, стр.38). Полный гидродинамический анализ обтекания шара газовым потоком в континуальном режиме выполнен в работе (*Симаков*, 2013, стр.16). Общее теоретическое обоснование срывного течения без конкретного приложения описано в работе (*Гречихини др.* 2012, стр.285). Получат-

ся, что в ряде случаев возникает срывное течение, но причины его образования остаются не достаточно ясны. В этой связи возникает цель: разработать физическую модель срывного течения путем применения молекулярно-кинетической теории и получить лобовое сопротивление шара при его движении в неподвижной среде и на этой основе обосновать причину возникновения срывного течения. Поставленная цель может быть достигнута путем решения следующих задач:

- рассмотреть динамику обтекания шара с применением молекулярно-кинетической теории;
- создать модель газодинамического обтекания шара с учетом формирования срывного течения;
- разработать программное обеспечение для проведения компьютерного моделирования;
- провести конкретный расчет газодинамического обтекания шара, совершающего движение в неподвижной атмосфере путем компьютерного моделирования.

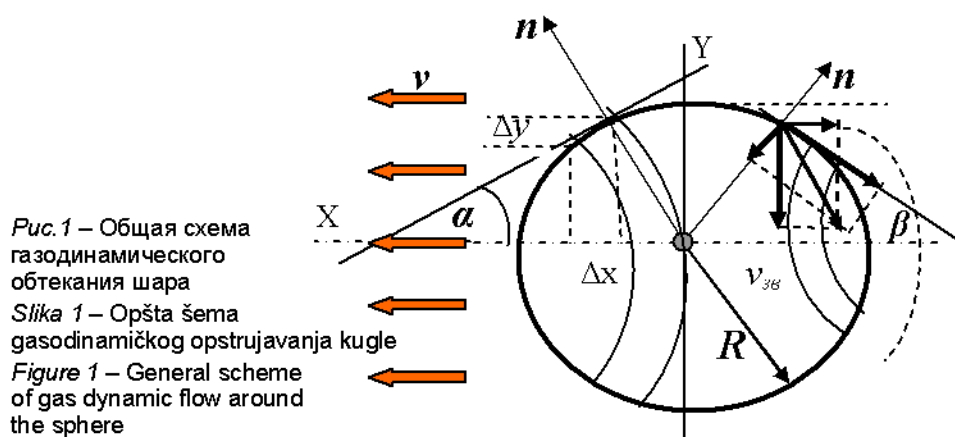
Рассмотрим последовательно поставленные задачи.

Молекулярно-кинетическое обоснование обтекания газовым потоком шара

Пусть шар (рис.1) движется в воздушной среде со скоростью v вдоль оси X-в. Выделенный элемент поверхности на шаре

$$\Delta S = 2\pi R \Delta l, \quad (1)$$

где $\Delta l = \Delta x / \cos \alpha$, R – радиус шара и $\alpha = \arctg \left(\frac{x}{R} \frac{1}{\sqrt{1 - x^2/R^2}} \right)$.



Скорость движения воздуха по нормали и вдоль поверхности шара соответственно равны

$$v_n = v \sin \alpha \text{ и } v_\tau = v \cos \alpha \quad (2)$$

Элемент поверхности в виде шарового слоя ΔS , нормального по отношению к направлению движения возмущает массу воздуха

$$\Delta m \approx 2\pi \rho x \Delta x v \Delta t$$

$$\text{Здесь } \Delta t = \Delta x / v \cos^2 \alpha$$

Масса возмущенного воздуха Δm приобретает импульс нормально поверхности

$$\Delta p = \Delta m v_n = \Delta m v \sin \alpha \quad (3)$$

Изменение импульса происходит за время Δt . Тогда нормально действующая сила на элемент поверхности ΔS составит

$$\Delta F_{y\partial, n} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = 2\pi \rho v^2 x \sin \alpha \Delta x \quad (4)$$

а вдоль оси X-в

$$\Delta F_{y\partial, x} = 2\pi \rho v^2 x \sin^2 \alpha \Delta x \quad (5)$$

Так как вдоль поверхности выделенного шарового слоя воздух движется со скоростью отличной от нуля, то возникают дополнительно еще две силы: центробежная сила и сила, обусловленная действием закона Бернулли. Обе эти силы нормально поверхности шарового слоя соответственно равны

$$\Delta F_{ц, n} = 2\pi \rho v^2 x \frac{\Delta x^2}{R}; \quad (6)$$

$$\Delta F_{Б, n} = \pi \rho x v^2 \cos \alpha \Delta x$$

Результирующая сила, которая действует на движущийся шар вдоль оси X-в

$$F_x = \int_0^R (dF_{y\partial, x} - dF_{ц, x} - dF_{Б, x}). \quad (7)$$

Газодинамический анализ срывного течения

За шаром возникает срывное течение. В соответствии с законом сохранения массы, какое количество массы возмущает передняя полусфера, а это

$$M = \rho_0 \pi R^2 v \Delta t, \quad (8)$$

то такое же количество массы газа должно возвратиться в заднюю полусферу.

Возмущенный поток массы в передней полусфере составляет

$$\Delta \dot{m} = \frac{M}{\pi R^2 \Delta t} = \rho_0 v, \quad (9)$$

а в задней полусфере заполнение зоны разрежения происходит со скоростью звука, т.е.,

$$\Delta \dot{m}' = \rho v_{\text{зв.}}, \quad (10)$$

где $v_{\text{зв.}} = \sqrt{\frac{\gamma k_B T}{m_a}}$ – скорость звука и $\gamma = C_p / C_v$ – отношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме; k_B – постоянная Больцмана, m_a – средняя масса молекул воздуха.

За шаром каждая молекула воздуха относительно движущегося тела вдоль оси Y-ов совершает движение со скоростью звука ($v_{\text{зв.}}$), а вдоль оси X-ов скорость движения молекул воздуха равна скорости движения шара с обратным знаком ($-v$). Результирующая скорость заполнения зоны разрежения

$$v_1 = \sqrt{v_{\text{зв.}}^2 + v^2} \quad (11)$$

Нормальная и тангенциальная составляющие на основании рис. 1 соответственно равны

$$v_n = v_1 \cos(\beta + \delta) \text{ и } v_t = v_1 \sin(\beta - \delta), \quad (12)$$

где угол $\beta = \arctg\left(\frac{x}{R} \frac{1}{\sqrt{1 - x^2/R^2}}\right)$, а угол $\delta = \arctg\left(\frac{v_1 - v}{v_1}\right)$

На основании закона сохранения массы количество расталкиваемой массы передней полусферой за время прохождения фронта заполнения расстояния $R - b$, равного (рис. 2) $\Delta t = (R - b) / v_{\text{зв.}}$ составляет

$$\Delta m = \rho v \pi R^2 \frac{R - b}{v_{\text{зв.}}} \quad (13)$$

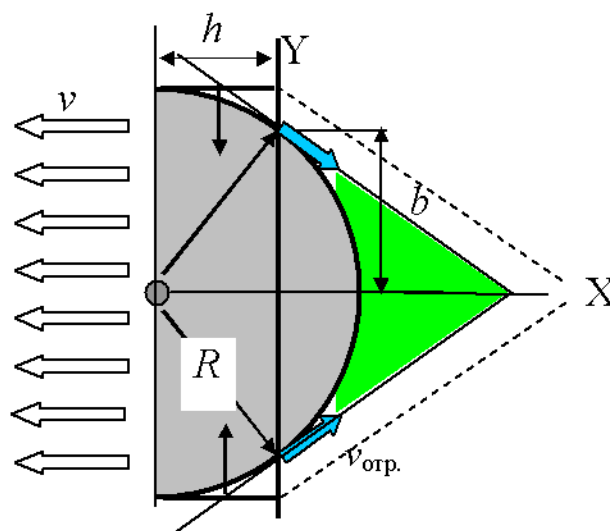


Рис. 2 – Характер срывного течения за движущимся шаром
 Slika 2 – Karakter otcepljene struje na aerodinamičkoj izlaznoj ivici kugle koja se kreće
 Figure 2 – Character of the shear flow on the aerodynamic outward contour of the moving sphere

Эта же масса содержится в объеме

$$\Delta V = \pi R^2 h - \frac{1}{6} \pi h (3R^2 + 3b^2 + h^2) \quad (14)$$

На основании (13) и (14) следует, что $h \cong R \operatorname{tg} \alpha$. (15)

Из рис. 2 получаем следующее равенство

$$\Delta t = \frac{h}{v} = \frac{R}{v_{\text{отп}}}.$$

Отсюда

$$h = \frac{Rv}{v_{\text{отп}}} \quad (16)$$

Приравнявая (15) и (16) получаем для угла, при котором масса воздуха заполняет тыльную область за шаром, приобретает значение

$$\delta = \arctg \left(\frac{v}{v_{\text{отп}}} \right) \quad (17)$$

До критического угла $\alpha_{cp.} = \arctg\left(\frac{h}{r} \frac{1}{\sqrt{1 - h^2/R^2}}\right)$ течение воздуха частично компенсирует лобовое взаимодействие шара со средой. После критического угла формируется срывное течение. По мере движения потока воздуха под углом $\alpha_{cp.}$ возникающая центробежная сила постепенно компенсируется газодинамической силой, т.е.,

$$\rho \Delta S v_1 \cos(\alpha + \delta) \frac{h}{v} \frac{v_1^2}{R} \sin^2(\alpha - \delta) = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \sin^2(\alpha - \delta) \Delta S \quad (18)$$

Отсюда

$$\cos(\alpha + \delta) = \frac{Rv}{2hv_1} = 0,5 \frac{v_{ср.}}{v_1}. \quad (19)$$

С учетом (16) получаем $v_1 \cong v_{ср.} \alpha + \delta - 60^\circ$, т.е., независимо от скорости движения, радиуса шара и скорости звука конус срывного течения обладает углом раскрытия $2\alpha - 2(60^\circ - \delta)$. Это является законом для газодинамического обтекания шара. Отсюда следует интересный вывод: чем больше скорость движения шара, тем дальше от тела удаляется вершина конуса.

В тыльной стороне до критического угла масса воздуха, которая взаимодействует нормально с поверхностью $\Delta S = 2\pi y \Delta l = 2\pi \sqrt{R^2 - x^2} \Delta x / \cos \beta$, определяется по (10). Эта масса ударно воздействует на элемент поверхности ΔS нормальной силой

$$\Delta F'_{y\partial,n} = 2\rho v_1^2 \cos^2(\beta + \delta) \Delta S \quad (20)$$

Центробежная сила нормально поверхности ΔS за время взаимодействия потока воздуха на ширине шарового слоя Δl составляет

$$\Delta F_{ц,n} = \rho v_1^2 \cos(\beta + \delta) \sin(\beta - \delta) \frac{\Delta x}{R \cos(\beta)} \Delta S \quad (21)$$

Сила газодинамического воздействия за счет закона Бернулли

$$\Delta F'_{\delta,n} = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \sin^2(\beta - \delta) \Delta S \quad (22)$$

Результирующая сила, возникающая при заполнении зоны разрежения до расстояния h по оси X-ов, равна

$$F'_{рез.} = \int_0^h \sin \beta (-dF'_{\gamma\delta, n} + dF'_{\zeta, n} + dF'_{\varepsilon, n}) \quad (23)$$

Скорость в точке начала отрыва потока

$$v_{cp.} = v_1 \sin \alpha_{cp.} \quad (24)$$

В конусе срывного течения воздух покоится, т.е., пребывает без движения. Поэтому на тыльную поверхность шара действуют две силы – ударное воздействие хаотического движения молекул воздуха и сила сдерживания движущегося шара вследствие пониженного давления в конусе срывного течения. Обе силы направлены нормально поверхности шара.

Газодинамическое давление за шаром в конусе срывного течения определяется следующим образом

$$P_{omp.} = P_{\infty} \exp\left(-\frac{m_a v_3^2 \sin^2 \alpha}{2k_B T}\right) \exp\left(\frac{m_a v_1^2 \sin^2 (\alpha + \delta)}{2k_B T}\right) \quad (25)$$

Сила газодинамического давления неподвижного газа в срывном конусе, которая сдерживает движение шара соответственно равна

$$F_{з.д.} = (P_{\infty} - P_{omp.}) \pi (R - h')^2 \quad (26)$$

Общее лобовое сопротивление шара является суммой

$$\bar{P}_x = F_X + F'_{рез.} + F'_{\gamma\delta, \gamma} + F_{з.д.} \quad (27)$$

Получается, что обтекание газовым потоком тел шарообразной формы достаточно сложный процесс. Поэтому возникает необходимость в создании программного обеспечения для расчета динамики обтекания шара с учетом всех процессов взаимодействия движущегося шара с окружающим неподвижным газом.

Программное обеспечение для компьютерного моделирования.

Программное обеспечение разработано в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 3.

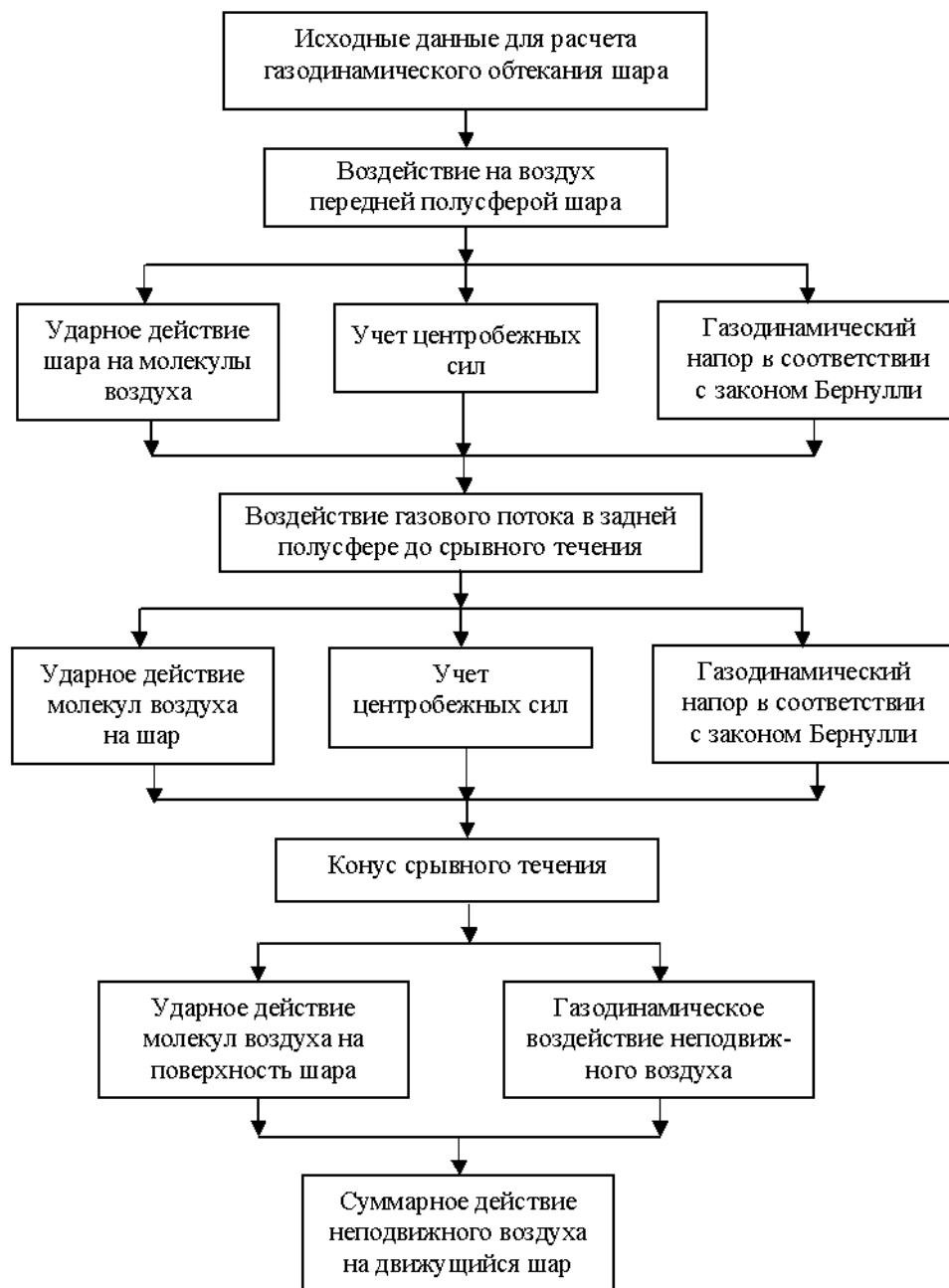


Рис. 3 – Алгоритм расчета газодинамического обтекания шара
 Slika 3 – Algoritam proračuna gasodinamičkog opstrujavanja kugle
 Figure 3 – Algorithm for calculating gas dynamic flow around the sphere

По разработанной программе выполнен конкретный расчет для шара диаметром 1 м в зависимости от скорости его движения. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость лобового сопротивления шара (H) диаметром 1 м от скорости его движения

Tabela 1 – Zavisnost čeonog otpora kugle prečnika 1 m od brzine njenog kretanja
Table 1 – Dependence of the frontal resistance of the sphere with radius 1m on its velocity

Параметры	Скорость движения, м/с							
	0,5	1	5	10	50	100	200	250
$F_{\text{лоб.}}$	0,20	0,79	19,8	79,2	1980	7920	31700	49500
$F_{\text{тыл.}}$	-0,69	-2,76	-68,8	-274	-6100	-17000	-17100	-11000
$F_{\text{срывн.}}$	0,64	2,55	63,2	249	5250	15000	22300	19600
$F_{\text{рез.}}$	0,15	0,59	14,2	54,0	1130	5860	36900	58200
$\rho_{\infty} v^2 S, H$	0,25	1,01	25,3	101	2530	10100	40500	63300

Компьютерное моделирование

Разработанное программное обеспечение позволяет осуществить анализ разных режимов движущегося шара в зависимости от скорости движения в неподвижной атмосфере, радиуса шара, состояния атмосферы и высоты полета. В качестве примера в таблице приведены результаты расчета разных действующих сил в сравнении с газодинамическим напором на мидель движущегося шара.

Выводы и предложения

Таким образом, молекулярно-кинетический анализ газодинамического обтекания шара свидетельствует о следующем. При движении шара в неподвижной атмосфере возникают три области разного механизма взаимодействия с молекулами окружающей среды:

1 – воздействие шара своей передней полусферой путем ударного действия на молекулы окружающей атмосферы со скоростью движения шара, а возникающие тангенциальные скорости движения воздуха вокруг шара формируют центробежные силы и газодинамические силы, обусловленные действием закона Бернулли.

2 – заполнение зоны разрежения до образования срывного течения происходит со скоростью звука, где возникают силы ударного действия потока молекул воздуха нормальной составляющей, а тангенциальная составляющая потока создает центробежную силу, а также газодинамическую силу в соответствии с законом Бернулли.

3 – образующийся срывной конус неподвижного воздуха создает силу газодинамического давления, обусловленного разностью давлений окружающей среды и давлением в срывном конусе.

В таблице приведены результирующие силы, возникающие в трех областях разного механизма взаимодействия движущегося шара с окружающей атмосферой. При сравнительно малых скоростях движения шара передняя полусфера ударным своим действием не компенсирует обратного действия потока воздуха в задней полусфере до образования срывного течения. Эту роль выполняет область срывного течения, т.е., парадокс корпускулярной теории Ньютона имеет место, но только частично.

По мере приближения скорости движения шара к скорости звука, наоборот, ударное действие передней полусферы в основном определяет лобовое сопротивление шара. Полеты беспилотных летательных аппаратов реализуются со скоростями не более 100 м/с. Следовательно, газовая динамика полета этих аппаратов определяется в основном срывным течением, т.е., задней полусферой. Тогда как пилотируемые большие летательные аппараты совершают полет вблизи скорости звука, где газовая динамика полета определяется в основном механизмом взаимодействия передней полусферы с окружающим воздухом. Вот почему разработанную аэродинамику для пилотируемых летательных аппаратов нельзя применять для беспилотных летательных аппаратов.

Особо следует отметить, что для движущегося шара в неподвижной атмосфере имеет место закон: *Сумма угла срыва потока и угла между результирующей скоростью и скоростью звука при выполнении неравенства $v_{зв.} \gg v$ равна примерно 60°* . Этот закон определяет размер конуса срывного течения.

Обычно полагают, что в передней полусфере давление возрастает примерно в два раза. Поэтому максимальное значение газодинамического давления составляет $\rho_{св} v^2 S_{мид.}$ Эти значения в качестве сравнения приведены в таблице. Лобовое сопротивление шара меньше максимального газодинамического давления, а по мере приближения скорости движения шара к скорости звука эти давления становятся соизмеримыми.

Литература

- Беляев, Е.Н., & Червяков, В.В. 2010. Срывные течения жидкостной и газовой фазы. *Двигатель*, 69(3), стр. 38.
- Гречихин, Л.И., Лапцевич, А.А., & Кузь, Н.Г. 2012. *Аэродинамика летательных аппаратов*. Мн: ИООО «Право и экономика», стр. 285.
- Симаков, Н.Н. 2013. Расчет обтекания и сопротивления шара в ламинарном и сильно турбулентном потоке. *Журнал технической физики*, 83(4), стр. 16-20.
- фон Карман, Т. 2001. *Аэродинамика: Избранные темы в их историческом развитии*. Ижевск., стр. 208.

GASNA DINAMIKA PRI KRETANJU KUGLE U NEPOKRETNOSTI GASNOJ SREDINI

Leonid Ivanovič Grečihin

Državni viši koledž za vojno vazduhoplovstvo u Minsku,
Republika Belorusija

OBLAST: mašinstvo, aerodinamika, gasna dinamika

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U radu je razrađen matematički model gasodinamičkog opstrujavanja kugle. Postoje tri područja različitih mehanizama uzajamnog dejstva pokretne kugle i nepokretne gasne sredine. Pokazalo se da je otcepljena struja presudna pri malim brzinama kretanja kugle, a pri brzinama kretanja kugle koje su bliske brzini zvuka presudnu ulogu ispoljava udarno uzajamno dejstvo kugle sa sredinom u prednjoj polusferi. Otcepljena struja iza kugle čini konus sa nepokretnom gasnom sredinom. Utvrđena je zakonitost koja definiše razmere tog konusa.

Ključne reči: otcepljena struja, gasna dinamika, otcepljeni konus, zakon otcepljene struje.

GAS DYNAMICS DURING THE SPHERE MOVING IN THE STATIONARY GASEOUS ENVIRONMENT

Leonid Ivanovich Gretchihin

Minsk State Higher Aviation College, Department of Natural Science
Disciplines, Minsk, Republic of Belarus

FIELD: Mechanics, Aerodynamics, Gas Dynamics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Abstract:

This paper developed a mathematical model of the gas dynamic fluid flow around the sphere. There are three areas of different mechanisms of the interaction of moving spheres and stationary gaseous environment. It has been proved that shear flow plays a decisive role at sphere low velocities, while at sphere velocities close to the speed of sound the critical role is exerted by the impact interaction of the sphere with the center in the front hemisphere. The shear flow behind the sphere makes a cone with stationary gaseous environment. The principle which defines the size of the cone has been established.

Key words: shear flow, gas dynamics, stalling cone, law of shear flow.

Дата получения работы/Paper received on: 21. 01. 2014.

Дата получения исправленной версии работы/Manuscript corrections submitted on:
02. 04. 2014.

Дата окончательного согласования работы /Paper accepted for publishing on: 04. 04. 2014.

TEORIJSKA ANALIZA I SIMULACIJA SISTEMA SA KODNOM RASPODELOM KANALA (CDMA) ZA ZAŠTIĆENI PRENOS SIGNALA U ŠIROKOPOJASNIM KANALIMA

Stevan M. Berber

The University of Auckland, ECE Department, New Zealand

DOI: 10.5937/vojtehg62-5487

OBLAST: telekomunikacije, bežični komunikacioni sistemi
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Haotične kodne sekvence mogu da povećaju otpornost na presretanje i obezbede tajnost u prenosu signala. Sistemi sa kodnom raspodelom kanala (CDMA), bazirani na primeni haotičnih sekvenci, u slučaju prisutnosti ravnog fadinga i šuma u kanalu prenosa, jako su dobro ispitani. Međutim, ovi sistemi u slučaju rada u širokopojasnim kanalima, koji u sebi imaju frekvencijski selektivni fading i beli Gausov šum, nisu ispitani na nivou na kojem bi se razumela njihova praktična primenljivost. Ovaj članak prezentira detaljan matematički model CDMA sistema koji je baziran na haotičnim kodnim sekvencama. Pri teorijskoj analizi sistema svi signali su predstavljani u diskretnom vremenu. Koristeći teoriju stohastičkih procesa diskretnog vremena izvedeni su izrazi za verovatnoću greške bita u zatvorenom obliku. Radi upoređenja uskopojasnih i širokopojasnih sistema posebno su izvedeni ovi izrazi za oba ova sistema. Ispitana je mogućnost primene tehnike interleavinga, što je pokazalo da ova tehnika može znatno da poboljša verovatnoću greške bita u sistemu. Sistem je simuliran i dobijeni nalazi simulacije potvrdili su teorijski očekivane rezultate. Moguća poboljšanja verovatnoće greške bita u širokopojasnom kanalu, u prisustvu i odsustvu interleavinga, kvantitativno su izražena u zavisnosti od slučajnog kašnjenja i broja učesnika u sistemu. Za analizu sistema korišćen je pojednostavljeni model širokopojasnog kanala koji je preporučen za moderne bežične mreže.

Ključne reči: sistemi bazirani na haosu; siguran prenos signala; CDMA sistemi; širokopojasni kanali; primena „interleavinga“.

Uvod

Poslednjih godina došlo je do velikog povećanja zahteva za bežičnim komunikacijama zahvaljujući napretku u razvoju mobilnih komunikacionih sistema i mreža i potrebama korisnika ovih sistema. Sledeći ove zahte-

ve, na moderne komunikacione sisteme postavljaju se strogi uslovi da istovremeno opslužuju veliki broj učesnika i da uz to obrađuju i prenose širokopojasne signale kroz složene frekvencijski selektivne komunikacione kanale.

Jedna od tehnika prenosa višeučesničkih signala zasnovana je na kodnoj raspodeli kanala, poznata pod engleskim nazivom „Code Division Multiple Access (CDMA)“, koja omogućava komunikaciju više učesnika u istom sistemu. To je ostvareno tako što je svakom učesniku dodeljena jedinstvena kodna sekvenca (engl. code or spreading sequence), koja se koristi na prijemniku datog učesnika da se izdvoji njemu namenjena informacija. Ovakvi sistemi pripadaju grupi komunikacionih sistema za prenos u proširenom spektru baziranih na primeni direktne sekvence. Za ove kodne sekvence tradicionalno se koriste binarne ortogonalne sekvence.

U ovom članku biće razvijen matematički model i simulacija CDMA sistema koji je zasnovan na primeni nebinarnih, precizno govoreći – haotičnih kodnih sekvenci. Ove sekvence po prirodi svog generisanja pripadaju slučajnim sekvencama sa beskonačnom periodičnošću, te su stoga pogodne za primenu u sistemima gde se želi povećati zaštita u prenosu učesničkih informacija. Posebno su pogodne za primenu u sistemima koji podrazumevaju povećanu tajnost i zaštitu od presretanja u prenosu informacija.

Moderni komunikacioni sistemi zahtevaju prenos signala velikim bit-skim brzinama, odnosno širokopojasnih signala. Ovaj trend u razvoju komunikacionih sistema i mreža će se nastaviti i biti jedan od glavnih pokretača istraživanja u budućnosti. Sledstveno tome, postavlja se zahtev za kanal prenosa koji treba da bude širokopojasan. Ovaj zahtev je posebno izražen u sistemima bežičnih veza u zatvorenom prostoru, gde je kanal prenosa kompleksan i karakterisan frekvencijskom selektivnošću (Saleh, Valencuela, 1987), (Balakrishnan, i dr, 2006). Primeri ovakvih sistema predstavljaju bežične senzorske mreže i višeučesnički sistemi primenjeni u zatvorenim prostorima kao što su zgrade, industrijska postrojenja ili rudnici, gde je kanal prenosa širokopojasan zbog prirode složenog prostiranja signala, kao što je potvrđeno istraživanjima u poslednjim godinama (Brennan, 1959), (Ochsner, 1978), (Kyro i dr, 2012), (Qilian, 2011).

Sistemi sa proširenim spektrom i sistemi sa kodnom raspodelom kanala, zasnovani na primeni haotičnih sekvenci, bili su predmet posebnog interesa u poslednje dve dekade. Ova istraživanja rezultirala su značajnim doprinosima u dizajnu ovih sistema (Heidari-Bateni, 1994), (Mazzini i dr, 1997), (Rovatti i dr, 1998), (Lau, Tse, 2004), (Tam i dr, 2004, pp.1868-1878), (Jovic i dr, 2006), (Kaddoum i dr, 2010), (Kaddoum i dr, 2009). Posebni problem u realizaciji ovih sistema je ostvarenje sinhronizacije kodnih sekvenci, što je pokrenulo intenzivne istraživačke aktivnosti sa naučnim doprinosima prezentiranim u brojnim publikacijama (Kolumban i dr, 1997), (Kolumban i dr, 1998), (Kolumban i dr, 2000), (Parlitz i dr, 1992), (Setti i dr, 1999), (Berber, Jovic, 2006), (Berber, 2006), (Jović i dr, 2007), (Kaddoum i dr, 2009), (Vali i dr, 2010, pp.1924-1939), (Yu-Nan, Lin, 2003), (Yu-Nan, Lin, 2005).

Sva ova istraživanja bila su osnovana na pretpostavci da je kanal prenosa informacija karakterizovan belim Gausovim šumom i ravnom fedingom. Problem razvoja sistema u proširenom spektru sa direktnom sekvencom za širokopojasni prenos signala bio je predmet analize u Oknerovom radu (Ochsner, 1978). On je razvio sistem za prenos širokopojasnog signala u osnovnom opsegu učestanosti kroz komunikacioni kanal koji je predstavljen sa M kašnjenja, gde svako kašnjenje odgovara trajanju jednog čipa u kodnoj sekvenci. Pokazano je da je moguće ostvariti smanjenje verovatnoće greške bita odgovarajućim korišćenjem potencijalno postojećeg diverziteta u ovakvom kanalu prenosa. Detaljna analiza sistema sa haotičnim sekvencama u širokopojasnim kanalima i konstrukcija prijemnika koji kombinuje zakasnele verzije signala (Rake prijemnici) prezentirana je u brojnim radovima (Rovatti i dr, 2001), (Kaddoum i dr, 2009), (Kaddoum i dr, 2012), (Rovatti i dr, 2001). Širokopojasni CDMA sistem sa direktnom sekvencom je analiziran u radu (Chen, Chen, 2001), pri čemu su koeficijenti kašnjenja kanala estimirani korišćenjem Kalmanovog filtera što je omogućilo da se izvede izraz za verovatnoću greške u opštem obliku. Sistem sa haotičnim sekvencama je prezentiran u (Cimatti i dr, 2007), gde je usvojena pretpostavka o prisutnosti termalnog šuma u kanalu prenosa i izvršeno upoređenje sistema sa klasičnim i haotičnim sekvencama.

Sistem CDMA sa direktnom sekvencom i kanalom prenosa sa kašnjenjima i fedingom definisanim Relijevim koeficijentima, bio je predmet detaljne analize u poslednje vreme (Xiao, Strom, 2010). Ovaj rad pretpostavlja poznavanje karakteristika kanala koje su dobijene pomoću estimatora kanala. Slična analiza ovog sistema prezentirana je u radu (Torrieri i dr, 2010) za slučaj kada širokopojasni kanal sadrži tri razdvojive komponente primljenog signala koje se mogu kombinovati u prijemniku radi ostvarenja diverzitet prijemnika signala. U literaturi se često koriste Proakisovi modeli kanala. Jedna varijanta ovog kanala, Proakis C kanal, korišćen je u analizi CDMA sistema (Yue i dr, 2010). Sistem sa haotičnim sekvencama i prenosom u osnovnom opsegu učestanosti je analiziran nedavno (Kaddoum, Gagnon, 2012) u slučaju kanala sa belim Gausovim šumom, a zatim je analiza proširena na sistem prenosa sa modulisanim nosiocima. U (Kaddoum i dr, 2013) izvršena je analiza sistema sa više nosilaca u širokopojasnom kanalu koji je predstavljen koeficijentima fedinga i višestrukim kašnjenjima signala.

Većina referenciranih CDMA sistema baziranih na haotičnim sekvencama analizirana je u slučaju prenosa signala u osnovnom opsegu učestanosti kroz feding kanal sa belim Gausovim šumom. Sistemi sa prenosom signala u širokopojasnom kanalu praktično nisu analizirani u smislu izvođenja ključnih izraza za verovatnoću greške bita kao mere kvaliteta prenosa informacija u sistemu. Imajući na umu ove nedostatke, u ovom članku prezentirane su sledeće analize CDMA širokopojasnih sistema sa odgovarajućim doprinosima.

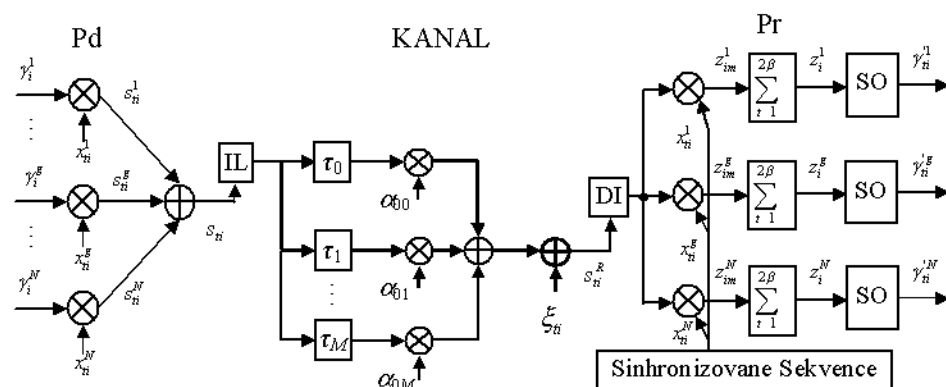
Pre svega, CDMA sistem analiziran je pod pretpostavkom da se multi-učesnički signal prenosi kroz širokopojasni kanal u kojem je prisutan Gausov šum i frekvencijski selektivni fading. Statističke karakteristike haotičnih sekvenci prezentirane su radi osnovnog razumevanje njihove primerljivosti u CDMA sistemu. Osnovne karakteristike uskopojasnog kanala u bežičnim komunikacijama prezentirane su u vezi sa karakteristikama širokopojasnog kanala. Posebni doprinos predstavlja izvod teorijskih izraza za verovatnoću greške bita u sistemu koji su potvrđeni simulacijama sistema.

Jedna od metoda eliminacije fadinga u sistemu jeste primena blokova za interleaving čipova u kodnim sekvencama (engl. chip interleaving). Za ovaj slučaj izvedeni su teorijski izrazi za verovatnoću greške koji su nedvosmisleno pokazali da ova metoda znatno smanjuje greške u kanalu sa fadingom.

Osnovna struktura komunikacionog sistema i princip rada

Blok-šema CDMA sistema sa haotičnim kodnim sekvencama za proširenje spektra signala prikazana je na slici 1. Binarni signal g -tog učesnika označen je sa γ_i^g , i predstavljen nizom binarnih vrednosti iz skupa $\{+1, -1\}$, gde $+1$ predstavlja binarnu jedinicu, a -1 predstavlja binarnu nulu. Svakom učesniku dodeljena je jedinstvena haotična čip-sekvencica označena sa x_{ti}^g . Broj čipova koji se koristi za proširenje spektra jednog bita za učesnike poruke predstavlja procesno pojačanje sistema, koje je označeno sa 2β .

U ovom radu korišćene su kodne sekvence generisane posredstvom Čebiševljevih mapa. Dobijene sekvence normalizovane su tako da imaju srednju snagu jednaku jedinici radi mogućeg upoređenja haotičnih i binarnih sistema.



Slika 1 – Blok-šema CDMA sistema sa haotičnim kodnim sekvencama
Figure 1 – Block-schematic of a CDMA system with chaotic code sequences

Preciznije govoreći, korišćena je logistička mapa koja definiše čipove sekvence sledećom rekurzivnom formulom:

$$x_n(n+1) = 1 - 2x_n(n).$$

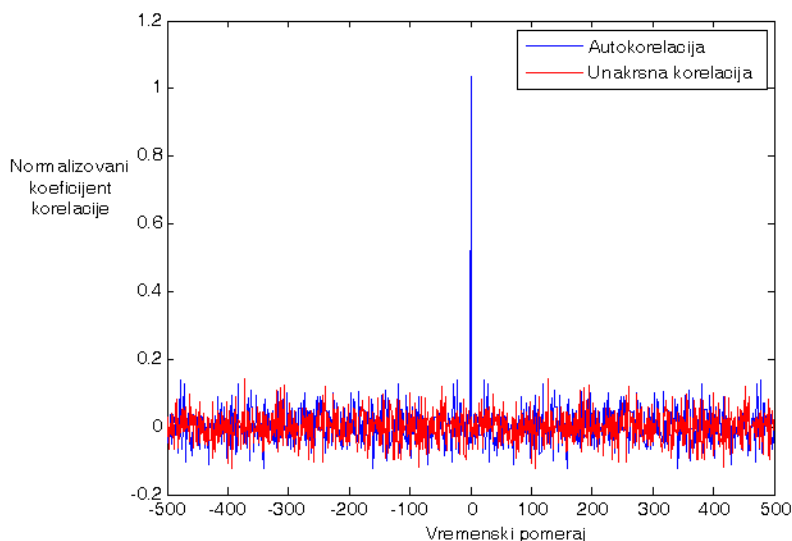
Funkcija gustine ove mape, sa normalizovanim vrednostima generisanih vrednosti čipova da se obezbedi jedinična snaga signala, definisana je izrazom (Berber, Feng, 2013)

$$f_{x_n}(x_n) = \frac{1}{\pi\sqrt{2-x_n^2}}, \text{ for } -\sqrt{2} \leq x_n \leq \sqrt{2},$$

koja se može predstaviti grafom simetričnim u odnosu na koordinatni početak i ima sledeće momente: $E\{x_n\}=0$, $E\{x_n^2\}=1$ and $E\{x_n^4\}=3/2$ (Berber, Feng, 2013). Za različite početne vrednosti dobijaju se različite sekvence koje su međusobno ortogonalne. Dakle, sekvence čipova koje mapa generiše imaju izražen maksimum u korelacionoj funkciji i male vrednosti u funkciji unakrsne korelacije. Na slici 2 prikazane su ove dve funkcije koje potvrđuju navedene korelacione osobine.

Množenjem učesničkih bita γ_i^g sa kodnim sekvencama x_{ti}^g za svaki g dobijaju se učesnički signali s_{ti}^g prema sledećem izrazu:

$$s_{ti}^g = \gamma_i^g x_{ti}^g = \begin{cases} -1 \cdot x_{ti}^g & \gamma_i^g = -1 \\ +1 \cdot x_{ti}^g & \gamma_i^g = +1 \end{cases}$$



Slika 2 – Korelaciona funkcija i funkcija unakrsne korelacije haotične sekvence definisane početnim uslovom logističke mape

Figure 2 – Correlation and crosscorrelation functions for a chaotic sequence that is defined by the initial condition of a logistic map

gde je kodna sekvenca jednog bita g -tog korisnika izražena u ovom vidu $x_i^g = (x_1^g, x_2^g, \dots, x_{2\beta^g})$. Signali svih N učesnika sabrani su na nivou čipova, produkujući predajni signal

$$S_b = \sum_{g=1}^N S_b^g = \sum_{g=1}^N \gamma_i^g x_b^g, \quad (1)$$

koji se prenosi kroz komunikacioni kanal sistema, kao što se vidi na slici 1. Ovde t označava poziciju čipa u i -tom bitu poslanih poruka svih učesnika.

Komunikacioni kanal definisan je koeficijentima fedinga, kašnjenjima i belim Gausovom šumom. Impulsni odziv ovog kanala, u najopštijem obliku, predstavljen je izrazom:

$$h(n) = \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_{kj} e^{j\phi_{kj}} \delta(n - \tau_j - T_{kj}) \quad (2)$$

gde je α_{kj} koeficijent Rejljevog fedinga, ϕ_{kj} je fazni pomeraj, τ_{kj} je kašnjenje klastera i T_{kj} je kašnjenje signala unutar klastera. Indeks j određuje broj klastera prema notaciji za širokopojasne kanale (Saleh, Valencuela, 1987), (Balakrishnan, i dr., 2006), odnosno broj primarnih i sekundarnih kanala prema notaciji u ovom radu, dok k označava broj primljenih signala u svakom klasteru prema notaciji za širokopojasne kanale (Saleh, Valencuela, 1987), (Balakrishnan, i dr., 2006), odnosno broj potkanala prema notaciji u ovom radu. U sledećoj analizi kanal će se pojednostaviti i predstaviti jednim primarnim i jednim sekundarnim kanalom bez potkanala, kao što je prikazano na slici 1.

Koeficijenti fedinga imaju Relijevu rapodelu definisanu funkcijom gustine:

$$f_{\alpha}(\alpha) = \frac{\alpha}{b^2} e^{-\alpha^2 / 2b^2}$$

sa srednjom vrednošću $\eta_{\alpha} = b(\pi/2)^{1/2}$, $\eta_{\alpha^2} = 2b^2$ varijansom (disperzijom) $\sigma_{\alpha^2}^2 = b^2(4-\pi)/2$. Kašnjenje u kanalu ima eksponencijalnu distribuciju:

$$f_{\tau}(\tau) = \lambda e^{-\lambda\tau}$$

sa srednjom vrednošću $1/\lambda$ i srednjom kvadratnom vrednošću $1/\lambda^2$. Ove distribucije definisane su u radovima (Saleh i Valencuela, 1987), (Balakrishnan, i dr., 2006).

U prijemniku se primljeni multiučesnički signal koreliše sa lokalno generisanom i sinhronizovanom haotičnom sekvencom koja odgovara željenom korisniku. Rezultat ove korelacije je slučajna vrednost z_i^g , koja teorijski predstavlja jednu realizaciju diskretne slučajne varijable Z_i^g , na osnovu čije vrednosti se donosi odluka o poslanom binarnom simbolu. Ako je ova varijabla odluke $z_i^g > 0$ (pozitivna korelacija) onda je estimirani primljeni bit +1, dok je za $z_i^g \leq 0$ (negativna korelacija) estimirani primljeni bit -1. Iako su signali svih učesnika sadržani u prijemnom signalu, korelacija sa lokalnom učesničkom kodnom sekvencom daće dovoljno veliku vrednost koja će voditi korektnoj odluci zbog osobine ortogonalnosti haotičnih sekvenci. Međutim, postojaće, takođe, deo varijable odluke Z_i^g koji je rezultat unakrsne korelacije lokalno generisane učesničke sekvence i sekvenci koje koriste ostali učesnici u sistemu. Ovaj deo varijable odluke zove se međuučesnička interferencija, koja će biti posebno ispitana u toku prezentacije rada prijemnika sistema.

Sistem sa ravnim fedingom u uskopojasnom kanalu

Radi kompletnosti prezentacije problema prenosa signala u CDMA sistemima, analiza sistema počće prezentacijom prenosa u kanalu sa ravnim fedingom. Kanal je uskopojasan u slučaju kada frekvencijski opseg signala ne prelazi koherentni opseg kanala. I pored toga što i u ovom slučaju postoji višestazno prostiranje signala (engl. multipath), kašnjenja komponenta signala u sekundarnim kanalima mnogo su kraća od trajanja čipova, te ne dolazi do izražene međusimbolske interferencije u kanalu. Ovakav kanal se modeluje kao kanal sa ravnim fedingom α_i i Gausovim šumom ξ_{ti} sa srednjom vrednošću nula i varijansom jednakoj snazi šuma. Promene fedinga su spore, tako da se u proseku uzima da je svaki bit pogođen istim koeficijentom Rejljevog fedinga $\alpha = \alpha_{00}$ i da im je srednja snaga koeficijenata jednaka jedinici, tj. $\eta_{\alpha 2} = 2b^2 = 1$. U ovom slučaju kanal na slici 1 ima samo jedan množač za feding i jedan sabirač za šum.

Nakon korelacije, slučajni odmerak bita na izlazu korelatora je:

$$z_i^g = \sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{n=1}^N \alpha_i x_n^g x_{ti}^g + \sum_{t=1}^{2\beta} \xi_{ti} x_{ti}^g = \sum_{t=1}^{2\beta} \alpha_i (x_{ti}^g)^2 + \sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{n=1, n \neq g}^N \alpha_i x_n^g x_{ti}^g + \sum_{t=1}^{2\beta} \xi_{ti} x_{ti}^g$$

što predstavlja slučajnu funkciju za koju se može naći srednja vrednost i varijansa i uvrstiti u opšti izraz za verovatnoću greške bita:

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\eta_z^2}{2\sigma_z^2}} \quad (3)$$

čime se dobija izraz za verovatnoću greške bita u zatvorenom obliku

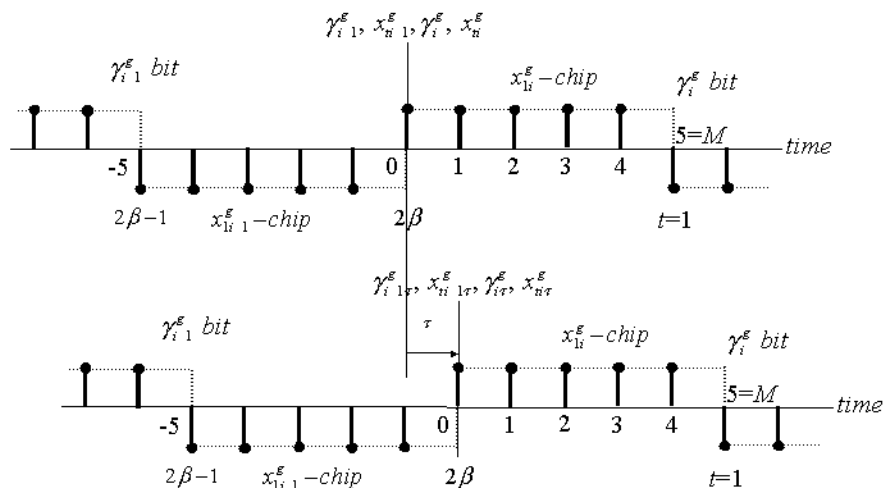
$$p_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\eta_z^2}{2\sigma_z^2}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{2\beta(4-\pi) + 4N - 2}{\beta\pi} + \frac{2}{b^2\pi} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

gde je 2β procesno pojačanje, srednja snaga fedinga se uzima da je jedan, tj. $2b^2 = 1$, N je najveći mogući broj učesnika u sistemu, a E_b/N_0 je odnos signala i šuma u sistemu.

Na osnovu izvedenog izraza mogu se doneti sledeći zaključci: kada se povećava broj učesnika N u sistemu povećava se i verovatnoća greške, što je razumljivo, jer u tom slučaju dolazi do povećanja međuučesničke interferencije. U slučaju da se povećava procesno pojačanje 2β dolazi do smanjenja verovatnoće greške, jer se poboljšavaju statističke karakteristike kodne sekvence. Posledica ovog povećanja jeste i povećanje spektra signala.

Teorijski model CDMA sistema sa frekvencijski selektivnim fedingom i širokopojasnim kanalom

Kanal je širokopojasan u slučaju kada frekvencijski opseg signala prelazi koherentni opseg kanala, radi čega kašnjenja komponenta signala u sekundarnim kanalima mogu da budu čak veća od trajanja pojedinog čipa, pa je pojava međusimbolske interferencije značajna i mora se uzeti u obzir pri analizi sistema.



Slika 3 – Prijemne sekvence na izlazu primarnog i sekundarnog kanala.

Indeks τ pokazuje kašnjenje sekvenci

Figure 3 – Received sequences at the output of the primary and secondary channel.

The index τ represents the delay of the sequence

Ovde će se prezentirati slučaj kada u sistemu postoji primarni kanal karakterisan feding koeficientom α_{00} i sekundarni kanal karakterisan kašnjenjem $\tau_j = \tau$ i koeficijentom fedinga α_{01} . U kanalu je prisutan Gausov šum sa varijansom σ_ξ^2 . Za ovaj slučaj, kanal na slici 1 predstavljen je podebljanim linijama. Radi jasnoće objašnjenja rada prijemnika, svaki čip primljenog signala predstavljen je sa M odmeraka jednake amplitude, kao što je prikazano na slici 3 za $M = 5$.

Primljena sekvenca u primarnom kanalu predstavljena je sa nultim kašnjenjem, dok je sekvenca u sekundarnom kanalu prikazana sa kašnjenjem $\tau_j = \tau = 1$. Dakle, usvojena je pretpostavka da su kašnjenja čipova u pojedinim kanalima jednaka delu trajanja čipa τ , što odgovara odzivu kanala gde su pojedini impulsi blizu jedan drugoga i sa vremenskim razmakom manjim od trajanja čipa.

Princip rada prijemnika

U slučaju kada se ne koriste blokovi interlivera (IL) i deinterlivera (DI), koji su prikazani na slici 1, primljeni čip na izlazu iz množača u korelatoru sekvence prijemnika može se predstaviti u ovom vidu

$$E_{corr} = E_{corr}^x + E_{corr}^d + E_{corr}^s$$

pri čemu je

$$E_{corr}^x = s\alpha_{00} \sum_{n=1}^N x_{in}^n x_{in}^g + \tau\alpha_{01} \sum_{n=1}^N x_{in}^n x_{in}^g,$$

$$E_{corr}^d = (s-\tau)\alpha_{01} \sum_{n=1}^N x_{in}^n x_{in}^g, \quad i$$

$$E_{corr}^s = \xi_{in} x_{in}^g.$$

Nakon obrade u sabiraču korelatora dobija se diskretni odmerak koji sadrži signal, međuučesničku interferenciju, međusimbolsku interfeferenciju i šum, koji se može predstaviti sledećim izrazom:

$$z_i^g = \sum_{t=1}^{2\beta} \left[s\alpha_{00} + (s-\tau)\alpha_{01} \right] \sum_{n=1}^N x_{in}^n x_{in}^g + \sum_{t=1}^{2\beta} \tau\alpha_{01} \sum_{n=1}^N x_{in}^n x_{in}^g + \sum_{t=1}^{2\beta} \xi_{in} x_{in}^g = A+B+C \quad (5)$$

Ovaj odmerak predstavlja primljeni bit i dovodi se na ulaz sklopa odluke (SO). Niz ovih odmeraka predstavlja jednu realizaciju stohastičkog procesa u diskretnom vremenu. Izraz (3) realizacija je slučajne varijable Z_i^g koja ima Gausovu distribuciju prema centralnoj graničnoj teoremi (Papoulis, Pillai, 2002), pošto je predstavljena zbirom nezavisnih i identičnih slučajnih varijabli. Radi toga je dovoljno naći srednju vrednost i varijansu ove distribucije, što omogućava da se izvede izraz za verovatnoću greške u sistemu. Srednja vrednost je

$$\eta_z = E\{z_i^g\} = E\{A+B+C\} = E\{Y\} \cdot 2\beta P_c \quad (6)$$

gde je $E\{Y\} = E\{s\alpha_{00} + (s-\tau)\alpha_{01}\}$ i P_c srednja snaga čipova. Zbog statističke nezavisnosti varijabli A, B i C, srednja kvadratna vrednost za z_i^g je $E\{(z_i^g)^2\} = E\{A^2\} + E\{B^2\} + E\{C^2\}$. Navedena matematička očekivanja, zbog statističke nezavisnosti fedinga, kašnjenja, šuma i kodnih sekvenci, mogu se izračunati na sledeći način:

$$E\{A^2\} = 2\beta E\{Y^2\} E\{(z_i^g)^4\} + E\{Y^2\} 2\beta(2\beta-1)P_c^2,$$

$$E\{B^2\} = 2\beta P_c^2 E\{(\alpha_{01}\tau)^2\},$$

$$E\{C^2\} = 2\beta s^2 \sigma^2 P_c.$$

Varijansa se sada može predstaviti u sledećem obliku:

$$\sigma_z^2 = E\{(z_i^g)^2\} - \eta_z^2 = 2\beta E\{Y^2\} E\{(z_i^g)^4\} + E\{Y^2\} 2\beta(2\beta-1)P_c^2 + 2\beta P_c^2 E\{(\alpha_{01}\tau)^2\} + 2\beta s^2 \sigma^2 P_c - (2\beta E\{Y\}P_c)^2 \quad (7)$$

Koristeći relacije (6) i (7), verovatnoća greške bita sada se može naći prema sledećem izrazu:

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\eta_z^2}{2\sigma_z^2}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{E\{Y^2\}}{\beta E^2\{Y\}} (\Psi + 2\beta + N - 2) - 2 + \frac{E\{(\alpha_{01}\tau)^2\}N}{\beta E^2\{Y\}} + \frac{s^2}{E^2\{Y\}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

gde je $\Psi = E\{(x_i^g)^4\} / P_c^2$ član koji odražava nebinarnu strukturu haotičnih kodnih sekvenci. Usvaja se pretpostavka da su srednje snage svih čipova međusobno jednake. Uprkos statističkoj strukturi čipova ova pretpostavka je validna, pošto se u ovakvim sistemima prenosa koriste relativno velika procesna pojačanja.

Princip rada prijemnika sa interlivingom

Feding u kanalu degradira prenos digitalnog signala i znatno povećava greške bita na prijamnoj strani. Jedna od metoda zaštite prenosa signala u uslovima fedinga je primena interlivinga (Berber, 2008), (Zhan, Berber, 2008). U ovom radu biće analiziran slučaj kada je blok inteliving tehnika primenjena u prenosu signala. Dakle, na predajnoj strani je blok intelivera matrice strukture, koji upisuje sve čipove prvog bita u prvi red, a poslednjeg od 2β bita u poslednji red matrice. Zatim se čipovi prvog stupca iščitavaju i prenose u kanalu, a zatim slede i ostali čipovi po stupcima. Na prijemnoj strani čipovi se učitavaju u odgovarajuće stupce prijemne matrice, a zatim iščitavaju po redovima, tako da se ponovo formiraju bitovi poslanske poruke. Pošto feding u kanalu pogađa bitove sa različitim koeficijentima, primljeni bitovi sadrže čipove koji sadrže različite statistički nezavisne koeficijente fedinga. Radi toga se može očekivati da uticaj fedinga bude umanjen i da se verovatnoća greške poboljšava, tako da teži vrednosti koja se dobija kada je samo šum prisutan u kanalu.

Koristeći identičnu proceduru izvođenja izraza za verovatnoću greške bita, koja je korišćena u slučaju sistema bez interlivinga, diskretni odmerak na izlazu sabirača korelatora je realizacija slučajne funkcije Z_i^g , koji se može izraziti na sledeći način:

$$Z_i^g = [2s - \tau] \sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{n=1}^N \alpha_t x_{in}^g x_{in}^g + \sum_{t=1}^{2\beta} \alpha_{01} \sum_{n=1}^N x_{in}^g x_{in}^g + \sum_{t=1}^{2\beta} s \xi_{in}^g x_{in}^g = A + B + C \quad (9)$$

Feding koeficijent označen je indeksom t koji pokazuje redosled čipova u okviru jednog bita, dok indeks d označava kašnjenje čipova. Broj jednakih odmeraka u jednom čipu označen je sa s , a kašnjenje u sekundarnom kanalu sa τ . Odnos s/τ specificira deo vremena za koje signal u sekundarnom kanalu kasni u odnosu na primarni kanal. Srednja vrednost ove slučajne varijable, zbog statističke nezavisnosti slučajnih funkcija A , B i C , jeste:

$$\eta_z = E\{Z_i^g\} = E\{A\} + E\{B\} + E\{C\} \quad (10)$$

Pojedinačna očekivanja računaju se na sledeći način. Očekivanje slučajne funkcije A može se predstaviti u ovom vidu:

$$\begin{aligned} E\{A\} &= E\left\{(2s - \tau) \sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{n=1}^N \alpha_t x_{in}^g x_{in}^g\right\} = E\left\{(2s - \tau) \left[\sum_{t=1}^{2\beta} \alpha_t x_{in}^{g2} + \sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq g}}^N \alpha_t x_{in}^g x_{in}^g \right] \right\} \\ &= E\{(2s - \tau)\} \cdot E\left\{\sum_{t=1}^{2\beta} \alpha_t x_{in}^{g2}\right\} + E\{(2s - \tau)\} \cdot E\left\{\sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq g}}^N \alpha_t x_{in}^g x_{in}^g\right\} \end{aligned}$$

Zbog statističke nezavisnosti slučajnog kašnjenja, fedinga i generisanih haotičnih sekvenci, ovaj izraz može se pojednostaviti, čime se dobija:

$$E\{A\} = E\{(2s - \tau)\} \cdot \sum_{t=1}^{2\beta} E\{\alpha_t\} E\{x_{tt}^{s^2}\} = E\{Y\} \cdot E\{\alpha\} 2\beta P_c = \eta_z$$

gde je $E\{Y\} = E\{2s - \tau\}$ i P_c srednja snaga čipova. Ova srednja vrednost jednaka je srednjoj vrednosti slučajne varijable Z_i^g , pošto su očekivanja od B i C jednaka nuli. I u ovom slučaju, zbog statističke nezavisnosti varijabli A, B i C, srednja kvadratna vrednost za z_i^g je $E\{(z_i^g)^2\} = E\{A^2\} + E\{B^2\} + E\{C^2\}$. Navedena matematička očekivanja mogu se izračunati na sledeći način:

$$\begin{aligned} E\{A^2\} &= E\left\{\left[(2s - \tau) \sum_{t=1}^{2\beta} \sum_{n=1}^N \alpha_t x_{tn}^s\right]^2\right\} \\ &= 2\beta P_c^2 E\{Y^2\} \cdot \left[E\{\alpha^2\} E\{(x_t^s)^4\} / P_c^2 + E^2\{\alpha\}(2\beta - 1) + (N - 1)E\{\alpha^2\}\right] \end{aligned}$$

$$E\{B^2\} = 2\beta N P_c^2 E\{\tau^2\} E\{\alpha^2\}, \text{ i}$$

$$E\{C^2\} = 2\beta s^2 \sigma^2 P_c.$$

Varijansa se sada može izračunati na sledeći način:

$$\begin{aligned} \sigma_z^2 &= E\{(z_i^g)^2\} - \eta_z^2 \\ &+ 2\beta P_c^2 E\{Y^2\} \cdot \left[E\{\alpha^2\} E\{(x_t^s)^4\} / P_c^2 + E^2\{\alpha\}(2\beta - 1) + (N - 1)E\{\alpha^2\}\right] \quad (11) \\ &+ 2\beta N P_c^2 E\{\tau^2\} E\{\alpha^2\} + 2\beta s^2 \sigma^2 P_c - (2\beta E\{Y\} E\{\alpha\} P_c)^2 \end{aligned}$$

Izraz (1) može da se pojednostavi i iskoristi da se dobije izraz za verovatnoću greške bita na osnovu izraza (3), (10) i (11) u ovom vidu

$$p_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{4E\{Y^2\}}{\beta \pi E^2\{Y\}} \cdot \left(\Psi + \frac{\pi(2\beta - 1)}{4} + N - 1 \right) - 2 + \frac{4E\{\tau^2\}N}{\beta \pi E^2\{Y\}} + \frac{2s^2}{\pi b^2 E^2\{Y\}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} \right]^{1/2} \quad (12)$$

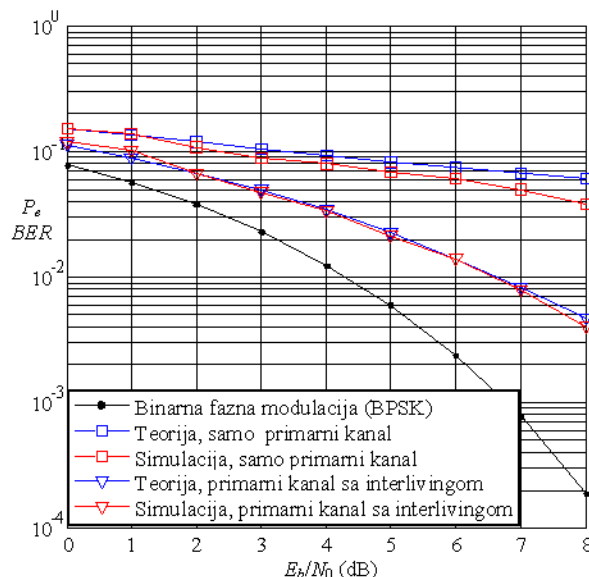
gde je $\Psi = E\{(x_t^s)^4\} / P_c^2$ član koji odražava nebinamu strukturu haotičnih kodnih sekvenci i $Y = 2s - \tau$.

Simulacioni model CDMA sistema i rezultati simulacije

Sistem prikazan na slici 1, koji je matematički modelovan u prethodnom poglavlju, simuliran je u Matlabu. Simulator je izrađen tako da omogućava promene parametara sistema, kao i detaljno ispitivanje njegovih karakteristika. Generisane su krive učestanosti grešaka bita (engl. bit error rate, BER) i upoređivane sa teorijskim krivama za verovatnoću greške bita P_e definisane relacijama (4), (8) i (12). Naporedo sa ovim grafovima za CDMA sistem prikazani su i grafovi za verovatnoću greške bita u sistemu sa binarnom digitalnom faznom modulacijom (engl. binary phase shift keying, BPSK) radi upoređenja ova dva sistema, pri čemu su dijagrami za binarnu faznu modulaciju korišćeni kao reference.

Simulacija sistema sa uskopojasnim kanalom i ravnim fadingom

Na slici 4 prikazani su grafovi dobijeni simulacijom uskopojasnog sistema naporedo sa teorijskim grafovima dobijenim na osnovu izraza (4), za slučaj kada je procesno pojačanje $2\beta = 100$ i $N = 4$ korisnika aktivno u sistemu, dok je blok interlvinga definisan matricom dimenzija $2\beta \times 2\beta$. Zbog uticaja međuučesničke interferencije, verovatnoća greške u CDMA sistemu je veća od verovatnoće greške koja bi se dobila u binarnom sistemu.



Slika 4 – Verovatnoća greške bita kao funkcija odnosa signal – šum u slučaju kada postoji samo primarni kanal sa ravnim fadingom, za $N = 4$ ušesnika i procesnim pojačanjem $2\beta = 100$
Figure 4 – Probability of error as a function of the signal to noise ratio in the case when only the primary channel with flat fading exists, for $N = 4$ users and the processing gain $2\beta = 100$

Teorijske krive, u slučaju prisustva fedinga, veoma su blizu simulacionim krivama (gomja dva grafa). Razlika u položaju krivih može se objasniti usvojenim pretpostavkama da je distribucija slučajnog odmerka na ulazu u sklop odluke (SO) aproksimirana Gausovom distribucijom u svim teorijskim razmatranjima.

U slučaju korišćenja interlivinga ove krive se spuštaju niže (smanjuje se verovatnoća greške bita) težeći krivoj definisanoj prisustvom isključivo šuma u kanalu, kao što se i vidi na slici 4. U ovom slučaju su teorijska i simulaciona kriva identične. Razlog tome je činjenica da je postupkom interlivinga uticaj fedinga „slučajno raspoređen u prijemnom signalu“, te je simulacija veoma bliza teoriji.

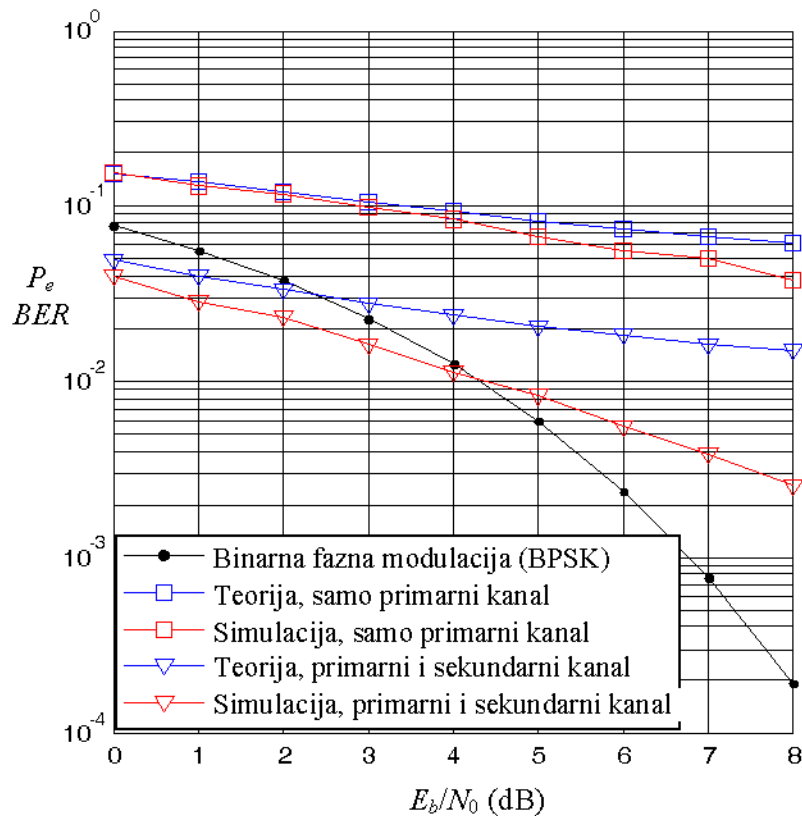
Verovatnoća greške u ovom sistemu može se smanjiti povećanjem procesnog pojačanja. Negativna posledica ovog postupka jeste da se povećava frekvencijski opseg predajnog signala, što se u svakom slučaju želi izbeći. Do ovog smanjenja verovatnoće greške dolazi radi smanjenja međuučesničke interferencije. Naime kada se poveća broj čipova u datom bitu, unakrsna korelacija učesničkih sekvenci se smanjuje, a autokorelacija date učesničke sekvence se povećava.

Postoji još jedna prednost uzrokovana povećanjem procesnog pojačanja. Tajnost prenosa i zaštita od presretanja korisničke informacije se povećava, jer predajni signal postaje „više“ slučajan i, samim tim, sličniji šumu u kanalu.

Simulacija sistema sa širokopojasnim kanalom i frekvencijski selektivnim fedingom bez interlivinga

Na slici 5 prikazani su grafovi za verovatnoću greške u slučaju kada je frekvencijski selektivni feding prisutan u kanalu, koji su dobijeni na osnovu izraza (8). Radi komparacije dodati su grafovi dobijeni u kanalu sa ravnim fedingom (gornji grafovi).

U ovom slučaju mora se dodati uticaj sekundarnog kanala na karakteristike prijemnog signala. Kašnjenje signala sekundarnog kanala izraženo je u diskretnim jedinicama i označeno sa τ kao i u teorijskoj analizi. Simulirani broj identičnih odmeraka u jednom čipu bio je 40 dok je srednja vrednost kašnjenja definisana da bude $\tau = 5$, što znači da se približno 80% zakašnjenog čipa u sekundarnom kanalu nalazi unutar trajanja odgovarajućeg čipa u primarnom kanalu. Radi konstruktivnog dodavanja signala iz sekundarnog kanala, verovatnoća greške bita je manja nego u slučaju kada se prima samo signal iz primarnog kanala. Tako se za odnos signal i šum od 8 dB, teorijska verovatnoća greške smanji sa 6×10^{-2} na verovatnoću greške $1,3 \times 10^{-2}$, dok se greška u simulacionom sistemu smanji sa 4×10^{-2} na vrednost $2,3 \times 10^{-3}$.



Slika 5 – Grafovi zavisnosti verovatnoće greške od odnosa signal–šum u kanalu sa ravnim fedingom i sa frekvencijski selektivnim fedingom, za 4 korisnika, procesno pojačanje $2\beta = 100$ i srednju vrednost kašnjenja $\tau = 5$

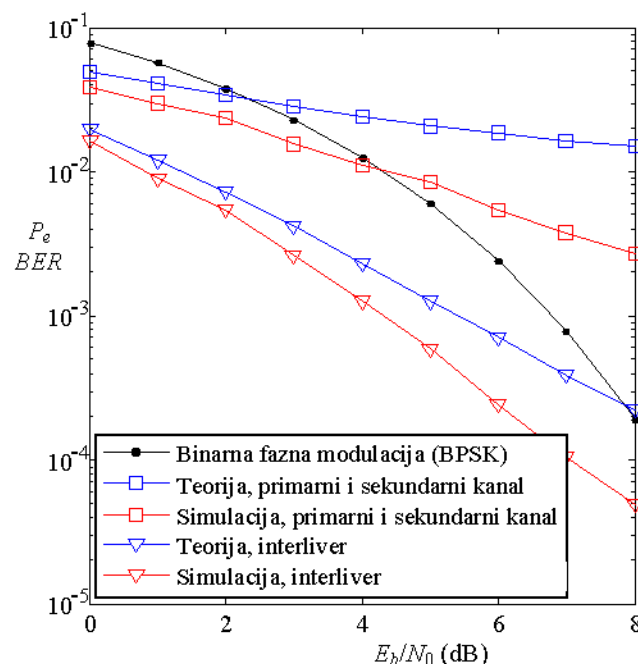
Figure 5 – Graphs of the probability of error as a function of the signal to noise ratio in the channel with both flat fading and frequency selective fading, for 4 users, the processing gain $2\beta = 100$ and the average delay $\tau = 5$

Pokazuje se da je očekivana greška dobijena simulacijom znatno manja od greške koja se očekuje prema teorijskom izrazu. Razlog za to treba tražiti u načinu generisanja kašnjenja u sistemu. Naime, teorijski model uključuje srednju vrednost kašnjenja. U simulaciji, u skladu sa funkcijom gustine verovatnoće kašnjenja, mnogo češće se generišu kašnjenja manja od srednje vrednosti. Samim tim, i očekivana verovatnoća greške dobijena simulacijom je manja. Dakle, u analizi ovih sistema potrebno je uvek imati na umu pretpostavke uzete u toku teorijske analize i procedure koje su korišćene za generisanje signala u toku simulacije.

Simulacija sistema sa širokopojasnim kanalom i frekvencijski selektivnim fedingom sa interlivingom

Interliving tehnika koristi se da se smanji uticaj feding u sistemu. Teorijski grafovi, koji su dobijena na osnovu izraza (12), i grafovi dobijeni simulacijom prikazani su na slici 6. Smanjenje greške bita u ovom slučaju slično je odgovarajućem smanjenju dobijenom u sistemu sa ravnim fedingom koji je predstavljan samo sa primarnim kanalom.

Zbog konstruktivnog kombinovanja signala u prijemniku, krive na slici 6 padaju ispod krive za binarnu faznu modulaciju (BPSK). Dva razloga su uzrokovala ovakvo ponašanje sistema. Prvo, uticaj fedinga je interlivingom dekorrelisan, te se feding ponaša kao šum u sistemu. Drugo, signal iz sekundarnog kanala doprinosi snazi signala iz primarnog kanala, te se ukupna snaga prijemnog signala povećava. Time, za istu snagu šuma, raste odnos signala i šuma i pada verovatnoća greške. Primenom interlivinga smanjuje se razlika između teorijske i simulirane krive u odnosu na istu razliku u sistemu bez interlivinga, što je posledica dekorrelacije uticaja fedinga u sistemu.



Slika 6 – Grafovi zavisnosti verovatnoće greške od odnosa signal–šum u kanalu sa frekvencijski selektivnim fedingom u sistemu sa i bez interlivinga, za 4 korisnika, procesno pojačanje $2\beta = 100$ i srednju vrednost kašnjenja $\tau = 5$

Figure 6 – Graphs of the probability of error as a function of the signal to noise ratio in the channel with frequency selective fading, for 4 users, the processing gain $2\beta = 100$ and the average delay $\tau = 5$

Zaključak

Osnovni cilj istraživanja, čiji rezultati su prikazani u ovom članku, jeste da se ispituju karakteristike CDMA sistema u uslovima postojanja frekvencijski selektivnog fadinga u širokopojasnom kanalu prenosa signala. Izrađen je i prikazan teorijski model ovog sistema i izvedeni izrazi za verovatnoću greške bita u zatvorenom vidu. Posebno je analiziran slučaj kada je u sistemu primenjena tehnika blok interleavinga. Izvedeni teorijski izrazi za verovatnoću greške bita pokazuju da je moguće ostvariti znatno poboljšanje kvaliteta prenosa signala korišćenjem ove tehnike. Zahvaljujući slučajnoj prirodi haotičnih sekvenci, tajnost u prenosu informacionog sadržaja je povećana. Zbog istog razloga ostvarena je i zaštita sistema od presretanja. Modelovani sistem je simuliran u matlabu. Rezultati simulacije potvrdili su rezultate teorijske analize.

Literatura

- Balakrishnan K., Cassioli D., Chong C-C., Emami S., Fort A., Karedal J., Kunisch J., Schantz H., Schuster U., Siwiak K., 2006, IEEE 802.15.4a channel model – final report, (<http://www.ieee802.org/15/pub/04/15-04-0662-02-004a-channel-model-final-report-r1.pdf>).
- Berber S., 2006, A Noise Phase Shift Keying for Secure Multiuser Code Division Multiple Access Systems, MILCOM, Washington, 23-25 Oct., Paper 1856, pp.1 – 6.
- Berber S., Jovic B., 2006, Sequence synchronization in a wideband CDMA system, in Proceedings of the 2006 International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications (AusWireless06), Sydney, Australia, pp.1–6.
- Berber S., 2008, Fading Mitigation in an Interleaved Noise-Based DS-CDMA System for Secure Communications, The Fifth IASTED Int. Conf. on Sign. Proc., Pattern Rec., and Applications, SPPRA 2008, Innsbruck, Austria, February 13 – 15, pp. 260-265.
- Berber S., Feng S., 2013, Chaos-Based Physical Layer Design for WSN Applications, 17th WSEAS Int. Conf. on Communications, Rhodes, Greece, July 16-19, pp.157-162.
- Brennan D.G., 1959, Linear Diversity Combining Techniques, *Proceedings of IRE*, vol. 47, pp.1075-1102.
- Chen L-M., i Chen B-S., 2001, A robust Adaptive DFE Receiver for DS-CDMA System under Multipath Fading Channel, *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 49, no. 7, pp.1523–1532.
- Cimatti G., Rovatti R. i Setti, G., 2007, Chaos-Based Spreading in DS-UWB Sensor Networks Increases Available Bit Rate, *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 54, no. 6, pp. 1327-1339.

Heidari-Bateni G., McGillem C. D., 1994, A chaotic direct-sequence spread-spectrum communication system, *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 42, no. 234, pp.1524–1527.

Jovic B., Berber S., Unsworth C.P., 2006, A novel mathematical analysis to predict master-slave synchronization for the simplest quadratic chaotic flow, Ueda chaotic system and the two-well potential Duffing-Holmes oscillator, *Physica D*, vol. 213, Issue 1, pp.31 – 50.

Jovic B., Unsworth C., Sandhu G., Berber S., 2007, A robust sequence synchronization unit for multi-user DS-CDMA chaos-based communication systems, *Signal Processing*, vol. 87, no. 7, pp.1692 – 1708.

Kaddoum G., Roviras D., Charge P., Fournier-Prunaret D., 2009a, Robust synchronization for asynchronous multi-user chaos-based DS-CDMA, *Signal Processing*, vol. 89, no. 5, pp.807 – 818.

Kaddoum G., Roviras D., Chargé P., Fournier-Prunaret D., 2009b, Accurate bit error rate calculation for asynchronous chaos-based DS-CDMA over multipath channel, *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, Article number 571307.

Kaddoum G., Chargé P., Roviras D., Fournier-Prunaret D., 2009c, A methodology for bit error rate prediction in chaos-based communication systems, *Springer, Birkhäuser Circuits Systems and Signal Processing*, Vol. 28, pp.925-944.

Kaddoum G., Chargé P., Roviras D., 2009d, A generalized methodology for bit-error-rate prediction in correlation-based communication schemes using chaos, *IEEE Communication Letters*, Vol. 13, Issue 8, pp.567-569.

Kaddoum G., Coulon M., Roviras D., Chargé P., 2010, Theoretical performance for asynchronous multi-user chaos-based communication systems on fading channels, *Elsevier Sig. Processing*, Vol. 90, Issue 11, pp.2923-2933.

Kaddoum G., Lombard T., Gagnon F., 2012a, Performance analysis of chaos shift keying system with a polarization sensitive under multipath channel, *IET Communications*, Vol. 6 (12), pp 1837-1845.

Kaddoum G., Gagnon F., 2012b, Design of a High-Data-Rate Differential Chaos-Shift Keying System, *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, vol. 59, no. 7, pp.448-452.

Kaddoum G., Richardson F-D, Gagnon F., 2013, Design and Analysis of a Multi-Carrier Differential Chaos-Shift Keying Communication System, *IEEE Tr. on Comm.*, vol. 61, no. 8, pp.3281-3291.

Kao J., Berber S. M., Kecman V., 2010, *Blind Multi-User Detector of a Chaos-Based CDMA Using Support Vector Machine*, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 21, No. 8, pp.1221 – 1231.

Kolumban G., Kennedy M. P., Chua L. O., 1997, The role of synchronization in digital communications using chaos. i. fundamentals of digital communications, *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 44, no. 10, pp.927–936.

Kolumban G., Kennedy M. P., Chua L. O., 1998, The role of synchronization in digital communications using chaos. ii. chaotic modulation and chaotic synchronization, *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 45, no. 11, pp.1129–1140.

- Kolumban G., Kennedy M. P., Chua L. O., 2000, The role of synchronization in digital communications using chaos. iii. performance bounds for correlation receivers, *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 47, no. 12, pp.1673–1683.
- Kyro, M., et al., 2012, Statistical Channel Models for 60 GHz Radio Propagation in Hospital Environments, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(3): pp.1569-1577.
- Lau F. Tse C., 2004, *Chaos-Based Digital Communication Systems*. Berlin: Springer.
- Mazzini G., Setti G., Rovatti R., 1997, Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA. I. System modelling and results, *IEEE Tr. Circ. Syst. I*, vol. 44, no. 10, pp.937–947.
- Ochsner H., 1978, Direct-Sequence Spread-Spectrum Receiver for Communication on Frequency-Selective Fading Channels, *IEEE Tr. on Sel. Areas in Comm.*, vol. SAC-5, no. 2, pp.188-193.
- Papoulis A., Pillai S. U., 2002, *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, McGraw-Hill Com. Inc., Fourth Edition.
- Parlitz U., Chua L., Halle K., Kocarev L., Shang A., 1992, Transmission of digital signals by chaotic synchronization. *Intern. Jour. of Bif. & Chaos in Applied Scien. & Eng.*, vol. 2, no. 4, pp.p973 –977.
- Qilian, L., 2011, Radar Sensor Wireless Channel Modeling in Foliage Environment: UWB Versus Narrowband, *IEEE Sensors Journal*, 11(6): pp.1448-1457.
- Rovatti R., Setti G., Mazzini G., 1998, Chaotic complex spreading sequences for asynchronous DS-CDMA. Part II. Some theoretical performance bounds, *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 45, no. 4, pp.496–506.
- Rovatti R., Mazzini G., Setti G., 2001, Enhanced Rake Receivers for Chaos-Based DS-CDMA, *IEEE Tran. Circuits Syst. I*, vol. 48, no. 7, pp.818–829.
- Rovatti R., Mazzini G., Setti G., 2001, Chaos-Based Asynchronous DS-CDMA Systems and Enhanced Rake Receivers: Measuring the Improvements, *IEEE Trans. Cir. Syst. I*, vol. 48, no. 12, pp.1445–1453.
- Saleh A. A. M., R. Valenzuela A., 1987, A Statistical Model for Indoor Multipath Propagation, *IEEE Tran. on Sel. Areas in Comm.*, vol. SAC-5, no. 2, pp.128-137.
- Setti G., Rovatti R., Mazzini G., 1999, Synchronization Mechanism and Optimization of Spreading Sequences in Chaos-Based DS-CDMA Systems, *IEICE TRANS. on Fundamentals of Elec., Commun. and Computer Sciences*, vol. E82-A, no. 9, pp.1737–1746.
- Tam W., Lau F., Tse C., Lawrance A., 2004, Exact analytical bit error rates for multiple access chaos-based communication systems, *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, vol. 51, no. 9, pp.473–481.
- Tam W. M., Lau F. C. M., Tse C. K., 2004, A multiple access scheme for chaos-based digital communication systems utilizing transmitted reference, *IEEE Tr. Cir. Syst. I*, vol. 51, no. 9, pp.1868–1878.
- Torrieri D., Mukherjee A., and Kwo H.M., 2010, Coded DS-CDMA Systems with Iterative Channel Estimation and no Pilot Symbols, *IEEE Trans. on Wireless Comm.*, vol. 9, no. 6, pp.2012-2021.

Vali R., Berber S., Nguang S. K., 2010, Analysis of a Chaos-based Non-coherent Delay Lock Tracking Loop, International Conference on Communications, Cape Town, pp.1-5.

Vali R., Berber S., Nguang S., 2010, Effect of Rayleigh fading on non-coherent sequence synchronization for multi-user chaos based DS-CDMA, *Signal Processing*, vol. 90, no. 6, pp.1924 – 1939.

Xiao P., and Strom E., 2010, Soft Demodulation for Orthogonal Modulated and Convolutionally Coded DS-CDMA Systems, *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 58, no. 3, pp.742–747.

Yue L., Weerasinghe N. S., Han C., Hashimoto T., 2010, Partial Multiuser Detection for CS-CDMA/CP over Multipath Channels, *IEEE Trans. on Comm.*, vol. 58, no. 8, pp.2305–2313.

Yu-Nan L. and Lin D. W., 2003, Multiple Access over Fading Multipath Channels Employing Chip-Interleaving CD-DSS, *IEICE Trans. on Comm.*, Vol. E86-B, No. 1.

Yu-Nan L. and Lin D. W., 2005, Novel analytical results on performance of bit-interleaved and chip-interleaved DS-CDMA with convolutional coding, *IEEE Tran. on Veh. Technology*, Vol. 54, pp.996-1012.

Zhan X., Berber S., 2008, Development of a Reverse Chaos Based CDMA Link and Fading Mitigation, International Symposium on Information Theory and its Applications, ISITA 2008, Auckland, New Zealand, Dec. 7–10, pp.711-716.

THEORETICAL ANALYSIS AND SIMULATION OF A CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS SYSTEM (CDMA) FOR SECURE SIGNAL TRANSMISSION IN WIDEBAND CHANNELS

FIELD: Telecommunications, Wireless Communication Systems

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

Chaotic spreading sequences can increase secrecy and resistance to interception in signal transmission. Chaos-based CDMA systems have been well investigated in the case of flat fading and noise presence in the channel. However, these systems operating in wideband channels, characterized by the frequency selective fading and white Gaussian noise, have not been investigated to the level of understanding their practical applications. This paper presents a detailed mathematical model of a CDMA system based on chaotic spreading sequences. In a theoretical analysis, all signals are represented in the discrete time domain. Using the theory of discrete time stochastic processes, the probability of error expressions are derived in a closed form for a multi-user chaos based CDMA system. For the sake of comparison, the expressions for the probability of error are derived separately for narrowband and wideband channels. The application of the system interleaving technique is investigated in particular, which showed that this technique can

substantially improve probability of error in the system. The system is simulated and the findings of the simulation confirmed theoretically expected results. Possible improvements in the probability of bit error due to multipath channel nature, with and without interleavers, are quantified depending on the random delay and the number of users in the system. In the analyzed system, a simplified version of the wideband channel model, proposed for modern wideband wireless networks, is used.

Introduction

Over the past years, the demand for wireless communications has increased substantially due to advancements in mobile communication systems and networks. Following these increasing demands, modern communication systems require the ability to handle a large number of users to process and transmit wideband signals through complex frequency selective channels.

One of the techniques for transmission of multi-user signals is the Code Division Multiple Access (CDMA) technique which allows communications of multiple users in the same communication system. This is achieved in such a way that each user is assigned a unique code sequence, which is used at the receiver side to discover the information dedicated to that user. These systems belong to the group of communication systems for direct sequence spread spectrum systems. Traditionally, CDMA systems use binary orthogonal spreading codes.

In this paper, a mathematical model and simulation of a CDMA system based on the application of non-binary, precisely speaking, chaotic spreading sequences. In their nature, these sequences belong to random sequences with infinite periodicity, and due to that they are appropriate for applications in the systems that provide enhanced security against interception and secrecy in signal transmission.

Numerous papers are dedicated to the development of CDMA systems in flat fading channels. This paper presents the results of these systems analysis for the case when frequency selective fading is present in the channel. In addition, the paper investigates a possibility of using interleaving techniques to mitigate fading in a wideband channel with the frequency selective fading.

Basic structure of a CDMA communication system and its operation

In this paper, a CDMA system block schematic is presented and the function of all blocks is explained. Notation to be used in the paper is introduced. Chaotic sequences are defined and explained in accordance with the method of their generation. A wideband channel with frequency selective fading is defined by its impulse response function.

Theoretical analysis of a CDMA system with flat fading in a narrowband channel

A narrowband channel and flat fading are defined. A mathematical analysis of the system is conducted by presenting the signal expressions at vital points in the transmitter and receiver. The expression of the signal at

the output of the sequence correlator is derived. Then the expression for the probability of bit error is derived in a closed form and discussed from both the number of users and the spreading factor point of view.

Theoretical model of a CDMA system with frequency selective fading in a wideband channel

A wideband channel and frequency selective fading are defined. All signals in the system are presented in the discrete time domain. In order to use a finite length of chips, each chip is represented by identical samples. A mathematical analysis of a wideband CDMA system is conducted. The mathematical expressions of the signals at vital points in the transmitter and receiver are presented. The expression for probability of bit error is derived in a closed form. The principles of the transmitter and receiver operations with and without interleavers are separately analyzed.

Simulation model of the CDMA system and the simulation results

The following system simulations are presented in this chapter: simulation of the system with a narrowband channel and flat fading; simulation of the system with a wideband channel and frequency selective fading without interleaving and simulation of the system with a wideband channel and frequency selective fading with interleaving. It was shown that the probability of error curves obtained by the simulation follow the curves obtained by the theoretical analysis.

Conclusion

The basic aim of this research, the results of which are shown in this paper, is to investigate the properties of CDMA systems in the case when frequency selective fading is present in a wideband channel. The developed theoretical model of the system is presented and the expressions of the probability of error are derived in a closed form. The case when the block interleaving technique is applied in the system is analysed in particular. The derived theoretical expressions for the probability of error show that it is possible to achieve significant improvement in the quality of signal transmission using this technique. Due to the random nature of chaotic sequences, the secrecy of information transmission is improved. For the same reason, the system's protection against interception is achieved. The modelled system is simulated in Matlab. The results of the simulation confirmed the results of the theoretical analysis.

Keywords: *chaos-based systems, secure signal transmission, CDMA systems, wideband channels, application of interleaving.*

Datum prijema članka/Paper received on: 10. 02. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 08. 03. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 10. 03. 2014.

OPTIMALNI MODEL KONCEPTA ODRŽAVANJA RADIO-RELEJNIH UREĐAJA

Vojkan M. Radonjić^a, Danko M. Jovanović^b, Milenko P. Ćirić^a

^a Tehnički remontni zavod Čačak

^b Vojska Srbije, Generalštab, Uprava za logistiku

DOI: 10.5937/vojtehg62-5031

OBLAST: održavanje tehničkih sistema, telekomunikacije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U radu su realizovana istraživanja i prikazani rezultati primene optimalnog modela koncepta održavanja savremenih radio-relejnih uređaja. Model se zasniva na preventivnom održavanju prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti, pri čemu se koriste mnogobrojne pozitivne konstrukciono-tehnološke mogućnosti uređaja, radi sveobuhvatnog smanjenja troškova održavanja, uz postignuti nivo zadate vrednosti pouzdanosti uređaja.

Ključne reči: održavanje prema stanju, kontrola pouzdanosti.

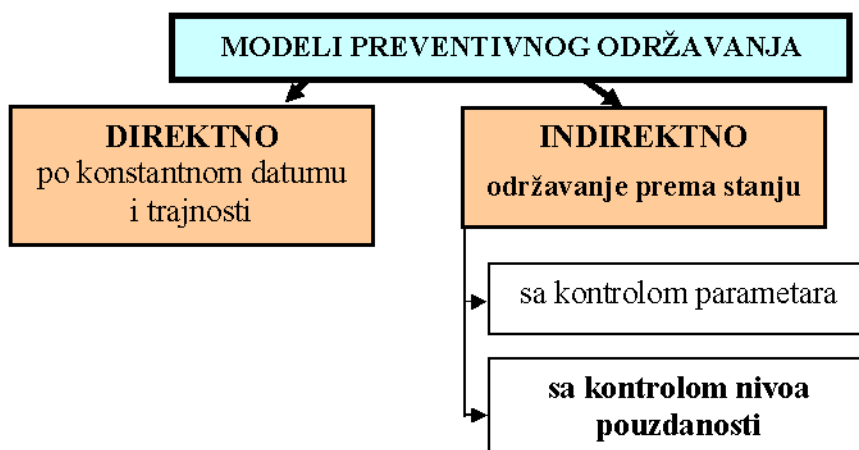
Uvod

Cilj rada jeste da se sagledaju modeli održavanja, zasnovani na *preventivnom održavanju*, kako bi se došlo do optimalnog modela održavanja savremenih radio-relejnih uređaja (RRU) i uspostavila odgovarajuća organizacija održavanja. Prilikom odabira modela održavanja i uspostavljanja organizacije održavanja težište je na aktivnostima preventivnog održavanja, kroz osnovno i tehničko održavanje, koje realizuju izvršioci najnižeg nivoa održavanja. Na taj način sveobuhvatni troškovi, koje na ovaj način čini samo radna snaga, minimalni su, uz istovremeno obezbeđenje potrebne pouzdanosti RRU. Da bi se primenio neki od modela održavanja RRU, moraju se poznavati konstrukciono-tehnološke karakteristike i mogućnosti uređaja, koje obezbeđuju pouzdanost i pogodnost za održavanje uređaja. Takođe, mora se imati u vidu da su otkazi, kod ove vrste uređaja, iznenadni i slučajnog karaktera. Ovom činjenicom nameće se potreba da aktivnosti preventivnog održavanja treba da budu češće što je, pored ostalog, razlog zbog kojeg ih treba realizovati na najnižem nivou održavanja. U isto vreme, uređaj omogućuje, svojim softverskim testiranjem (dijagnostikom), brze i jednostavne aktivnosti preventivnog održavanja koje mogu da realizuju osposobljeni poslužioc RRU (Radonjić, Ćirić, 2012).

Sveobuhvatni cilj istraživanja u radu jeste da se odabirom i uspostavljanjem optimalnog modela održavanja, omogući kontrolisano praćenje pouzdanosti uređaja i sastavnih modula, kako bi se resursi skupih i tehnološki složenih modula i uređaja iskoristili u potpunosti. Na taj način povećao bi se eksploatacioni resurs i vreme ispravnog rada uređaja, jer bi se sastavni moduli kontrolisano koristili i u granicama rezerve upotrebljivosti. Ne planiraju se planske zamene skupih modula, osim u izuzetnim slučajevima, već se koriste do otkaza, kada se akcijama korektivnog održavanja vrši njihova zamena i RRU dovodi u ispravno stanje. Na taj način uspostavljeni model održavanja je sam po sebi optimalan, jer omogućuje da troškovi održavanja, tokom životnog veka uređaja, budu minimalni.

Vrste preventivnog održavanja

Na slici 1 predstavljeni su modeli preventivnog održavanja.

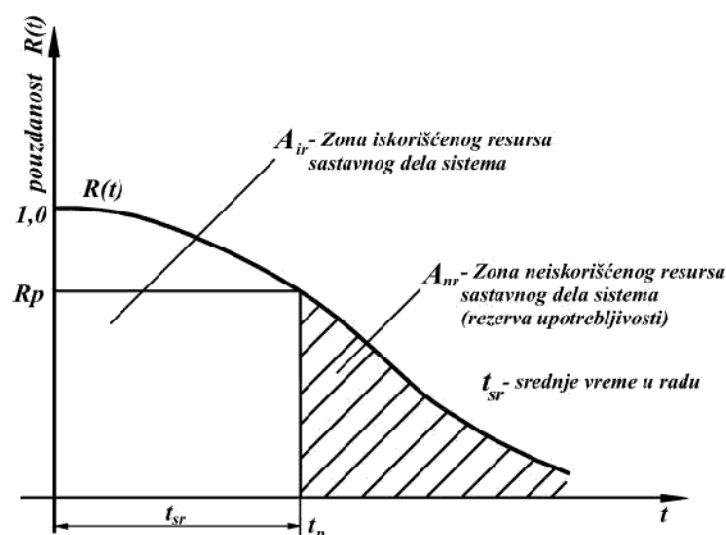


Slika 1 – Modeli preventivnog održavanja
Figure 1 – Models of preventive maintenance

O tradicionalnom preventivnom održavanju po „konstantnom datumu“ i „konstantnoj trajnosti“ postoji dosta objavljenih radova i knjiga koji su definisali njihove prednosti i nedostatke (Adamović, Radovanović, 2008).

Održavanje prema stanju jeste koncepcija preventivnog održavanja čija se strategija donošenja odluka o intervencijama održavanja zasniva na periodičnoj ili neprekidnoj kontroli uređaja u eksploataciji. Na osnovu rezultata kontrole donose se odluke o neophodnom roku i obimu planskih aktivnosti održavanja (Adamović, Stanković, Savić, 2011).

Razlika između tradicionalnog preventivnog održavanja i održavanja prema stanju je suštinska, iako oba predstavljaju preventivnu aktivnost. Dok se kod tradicionalnog preventivnog održavanja zamena ili opravka sastavnog dela vrši nakon utvrđenog vremena, kod održavanja prema stanju vrši se kontrola određenih tehnoloških parametara stanja i interveniše se samo ako je tehničko stanje izvan propisanih granica. To znači da se uređaj koristi do potpunog iskorišćenja resursa sastavnih modula uređaja, što i jeste cilj sprovedenih istraživanja. Iskorišćenje resursa, modelom održavanja prema stanju, slikovito je prikazano na slici 2. Prema slici 2 zona iskorišćenog resursa rezervisana je za oba modela održavanja, dok je novina da se modelom održavanja prema stanju uređaj koristi i u zoni neiskorišćenog resursa, što nije slučaj kod tradicionalnog preventivnog održavanja (Adamović, Bešić, 2008).



Slika 2 – Način iskorišćenja resursa
Figure 2 – Method of using resources

Sama činjenica potpunog iskorišćenja eksploatacionog resursa skupih sastavnih modula uređaja ukazuje na prednosti modela održavanja prema stanju i sa aspekta uštede novčanih sredstava za plansku zamenu modula, što model održavanja čini optimalnim.

Metode održavanja prema stanju

Održavanje prema stanju je kontinualni *dijagnostički proces*, jer se pomoću dijagnostičke kontrole parametara, u određenim intervalima ili neprekidno, vrši kontrola tehničkog stanja uređaja, a nakon toga, zavisno

od stanja, zamenjuju ili opravljaju sastavni delovi uređaja ili ostaju i dalje u eksploataciji.

Postoje dve vrste metoda održavanja prema stanju. To su:

- održavanje prema stanju sa kontrolom parametara,
- održavanje prema stanju sa kontrolom pouzdanosti.

Prilikom formiranja programa održavanja potrebno je odabrati odgovarajuću metodu i režim održavanja, koji treba da obezbede upravljanje tehničkim stanjem i pouzdanošću u zadatim uslovima procesa eksploatacije RRU (Tomić, Adamović, 1986).

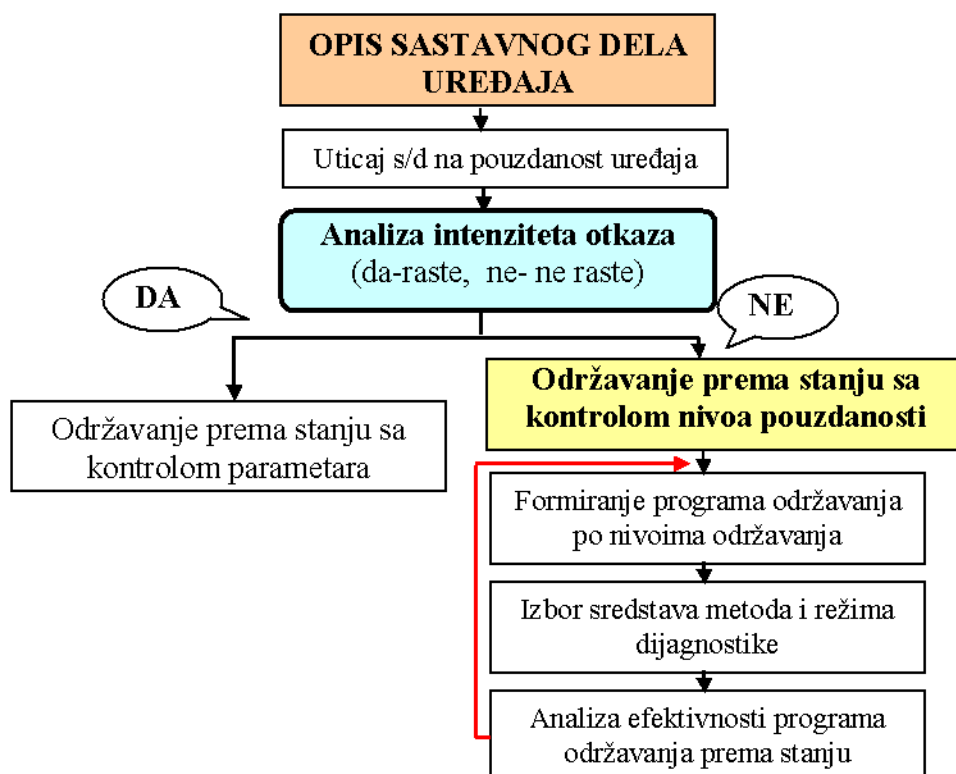
Odabir odgovarajuće metode održavanja prema stanju vrši se pomoću algoritma na slici 3 i na osnovu sledećih ispunjenih uslova:

- ako otkaz sastavnog dela uređaja ne utiče na pouzdanost, onda se pri porastu intenziteta otkaza vrši upoređivanje srednjih troškova za korektivno i preventivno održavanje, a u slučaju da su ti troškovi isti, sastavni deo sistema održava se prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti,
- ako su troškovi korektivnog održavanja veći od troškova preventivnog održavanja, onda se primenjuje održavanje prema stanju sa kontrolom parametara, a u slučaju da je *intenzitet otkaza konstantan*, onda se *primenjuje održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti*,
- u slučaju da otkaz sastavnog dela utiče na pouzdanost u radu, pri porastu intenziteta otkaza koristi se održavanje prema stanju sa kontrolom parametara, dok će se kod *nerastućeg intenziteta otkaza primenjivati održavanje prema stanju sa kontrolom pouzdanosti*.

S obzirom na to da se primena odgovarajućeg modela vrši na uređaju koji se koristi za vojne namene, od uređaja se očekuje maksimalna pouzdanost u radu, odnosno da intenzitet otkaza λ bude približno konstantan, jer bi se u slučaju niske pouzdanosti, zbog specifičnosti upotrebe, mogle izazvati negativne posledice. U izuzetnim slučajevima, postoji opcija da se minimalni troškovi održavanja zanemaruju na račun povećanja pouzdanosti uređaja.

Istraživanja iz ove oblasti pokazala su da je kod vojnih sistema, gde je intenzitet otkaza λ približno *konstantan*, najcelishodnije prihvatiti strategiju održavanja prema stanju sa kontrolom pouzdanosti.

Sagledavajući rezultate sprovedenih istraživanja iz ove oblasti u dostupnoj literaturi, navedene uslove koje treba ispuniti prilikom odabira modela održavanja prema stanju i algoritma za odabir modela, u daljim istraživanjima pretpostavljen je *model održavanja prema stanju sa kontrolom pouzdanosti uređaja i sastavnih modula uređaja*. Ova vrsta modela primeniće se tokom životnog veka uređaja. Organizacija primene modela prema njegovim svojstvima i definicijama učiniće da model bude optimalan u smislu obezbeđenja maksimalne pouzdanosti uređaja i izvršenja svoje misije, uz minimalne troškove održavanja. Prilikom odabira ove vrste modela održavanja ključni faktor predstavljala je činjenica da je intenzitet otkaza za ovu vrstu elektronskog uređaja približno *konstantan* (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013).



Slika 3 – Algoritam za izbor metode održavanja prema stanju
Figure 3 – Algorithm for selecting a method of conditionbased maintenance

U nastavku će se primeniti model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti u održavanju RRU i prikazati rezultati primene.

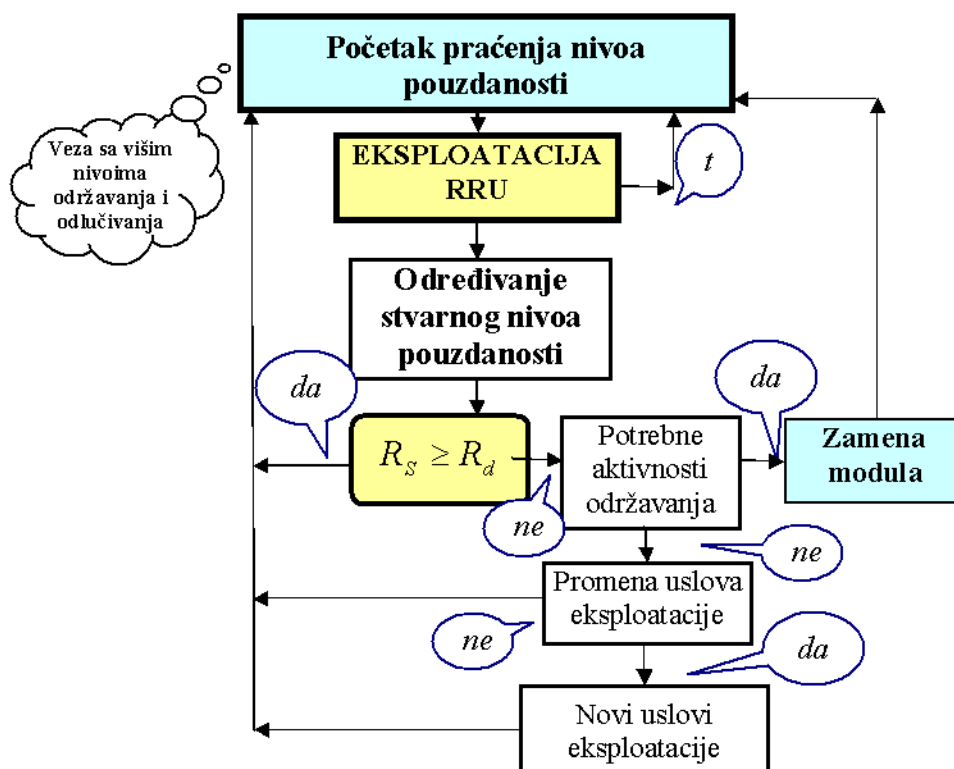
Održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti

Održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti omogućuje da se sastavni delovi (moduli) RRU koriste bez ograničenja međuremontnog resursa, uz izvršenje neophodnih aktivnosti održavanja pri otklanjanju nastalih otkaza, dok se stvarni nivo pouzdanosti nalazi u granicama utvrđenih (dozvoljenih) normi. Ako dođe do odstupanja od propisanih normi, obavlja se analiza uzroka odstupanja i preduzimaju se mere za povišenje nivoa pouzdanosti pojedinih sastavnih delova i/ili uređaja.

Kod ovog modela održavanja nivo pouzdanosti predstavlja kriterijum tehničkog stanja uređaja i ujedno se izražava pokazateljem pouzdanosti.

Pokazatelj pouzdanosti mora posedovati maksimum informacija o tehničkom stanju sistema, mora biti pogodan za obavljanje uporedne analize, kao i kritičan prema promenama procesa tehničke eksploatacije sistema u celini. Tim zahtevima najpotpunije odgovara parametar intenziteta otkaza λ .

Kod modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti naročito mesto zauzima izbor i namena dozvoljenog nivoa pouzdanosti, koji se utvrđuje za svaki sastavni modul uređaja (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013). Za početak primene modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti moguće je utvrđivanje dozvoljenog nivoa pouzdanosti R_d na osnovu iskustva u eksploataciji ili na osnovu izračunavanja intenziteta otkaza λ_d . Tako se može preporučiti primena periodičnosti kontrole u skladu sa načelima osnovnog i tehničkog održavanja: dnevne, nedeljne, mesečne, kvartalne i godišnje. Za objašnjenje primene modela održavanja prema stanju, u predmetnom istraživanju, koristiće se algoritam za kontrolu nivoa pouzdanosti sastavnih modula RRU, prema slici 4.



Slika 4 – Algoritam modela održavanja sa kontrolom nivoa pouzdanosti
Figure 4 – Algorithm of the maintenance model with the control of the level of reliability

Početak praćenja nivoa pouzdanosti zasniva se na poznatim vrednostima parametara: intenziteta otkaza uređaja i sastavnih modula λ , dozvoljenim vrednostima parametara pouzdanosti R_d , srednjeg vremena između otkaza *MTBF*, ukupnog vremena rada uređaja t (tokom eksploatacije i tokom aktivnosti održavanja). Podatak o ukupnom vremenu rada uređaja t stalno se menja tokom životnog veka uređaja. Na osnovu njegove trenutne vrednosti izračunava se stvarna vrednost parametara pouzdanosti uređaja i sastavnih modula R_s i upoređuje se sa dozvoljenim vrednostima parametara pouzdanosti, respektivno. Ukoliko je $R_s > R_d$ uređaj se normalno eksploatiše, a ukoliko je $R_s < R_d$, donosi se odluka da li se vrše neke od akcija održavanja ili se uređaj i dalje koristi uz praćenje i kontrolu njegovih karakteristika.

Na osnovu objašnjenja modela zaključuje se da je primena modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti zasnovana na obradi statističkih podataka u toku celog perioda eksploatacije i održavanja RRU. Obrada se vrši preko sistemskog računara, sa kojim se ujedno vrši i upravljanje radom uređaja. Sistemski računar, na osnovu podataka o eksploataciji, određuje operativnu ocenu pouzdanosti sastavnih modula u eksploataciji (trenutni nivo pouzdanosti sastavnih modula i uređaja R_s), na osnovu čijeg stanja se vrši preciziranje režima planskih aktivnosti u eksploataciji uređaja. U istraživanju je posebna pažnja posvećena obradi statističkih podataka o eksploataciji i održavanju, jer ti podaci predstavljaju *postulat optimalnog modela održavanja prema stanju sa kontrolom pouzdanosti*.

Model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti može se primeniti na sastavne module i/ili uređaje za koje:

- pouzdanost omogućuje izvršenje svih zahteva tehničke eksploatacije uređaja u celini,
- indikacija otkaza se obavlja tehnološkim instrumentima koji su ugrađeni u uređaj,
- konstrukcija uređaja poseduje visoku tehnologičnost,
- otkazi ne mogu izazvati havarijske i slične situacije,
- verovatnoća bezotkaznog rada ima eksponencijalnu raspodelu.

Primena održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti predviđa rešavanje niza organizacionih i tehničkih zadataka od kojih su najvažniji: organizacija stalnog operativnog sakupljanja i obrade podataka o pouzdanosti R_s , razrada metoda utvrđivanja gornjeg dozvoljenog nivoa pouzdanosti R_d , organizacija operativnog upoređivanja stvarnog nivoa pouzdanosti sa dozvoljenim, analiza posledica uz obavezno korišćenje podataka iz sistemskog računara, formiranje kriterijuma za dalju eksploataciju uređaja u slučaju pojave predotkaznog stanja.

Karakteristike RRU sa aspekta primene modela održavanja

Sprovedena istraživanja u radu, radi dobijanja optimalnog modela održavanja RRU, zasnivaju se na ranije sprovednim istraživanjima iz ove oblasti koja se odnose na uspostavljanje organizacije održavanja, čiji rezultati će se koristiti u ovom radu (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013).

Karakteristika RRU i tehnološke pretpostavke koje se uzimaju u razmatranja prilikom odabira i primene modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti su sledeće (Radonjić, Jovanović, 2012):

- konstrukcija uređaja odlikuje se visokom tehnologičnošću,
- uređaj je izrađen na serijskom modularnom principu,
- upravljanje modulima je softversko preko centralne procesorske jedinice,
- uređaj poseduje tehnološki ugrađen instrument (displej) koji pokazuje bitne radne i merne parametre,
- uređaj radi u okviru mobilnog radio-relejnog sistema, gde se preko centralnog računara softverski upravlja radom uređaja, prate i snimaju parametri uređaja,
- postoji opcija nadogradnje upravljačkog softvera,
- uređaj poseduje fabrički test za defektaciju ispravnosti uređaja. Test je realizovan u dva nivoa složenosti i omogućuje pouzdanu defektaciju i delom lokaciju neispravnosti modula,
- uređaj poseduje „ALARM” u slučaju prekida radio-relejne veze, bilo zbog neispravnosti modula ili smetnji u prostiranju elektromagnetnih talasa,
- izračunati su parametri: intenzitet otkaza, pouzdanost i srednje vreme između otkaza – MTBF, za sastavne module i uređaj,
- moguća je primena savremenih metoda tehničke dijagnostike u određivanju radnih parametara uređaja neophodnih za uspešno održavanje uređaja,
- istraživanja i iskustvo u održavanju radio-relejnih uređaja pokazala su da otkaz kod ove vrste uređaja nastaje trenutno,
- istraživanja su pokazala da sastavni moduli imaju različite vrednosti intenziteta otkaza, što se u odnosu na njihove konstrukcijske karakteristike i očekivalo,
- tokom sprovedenih istraživanja pretpostavljeno je da je vrednost intenziteta otkaza RRU približno konstantna i da je eksponencijalna raspodela verovatnoće bezotkaznog rada,
- postoji oprema za sve nivoe održavanja,
- izvršena je obuka i lica su stručno osposobljena za sve nivoe održavanja u skladu sa postojećom opremom,
- postoji softverska kontrola definisanih parametara i ograničena je u jer samo pokazuje da li je uređaj ispravan ili ne. Softverska kontrola može se koristiti u održavanju sa kontrolom parametara, mada ne u pot-

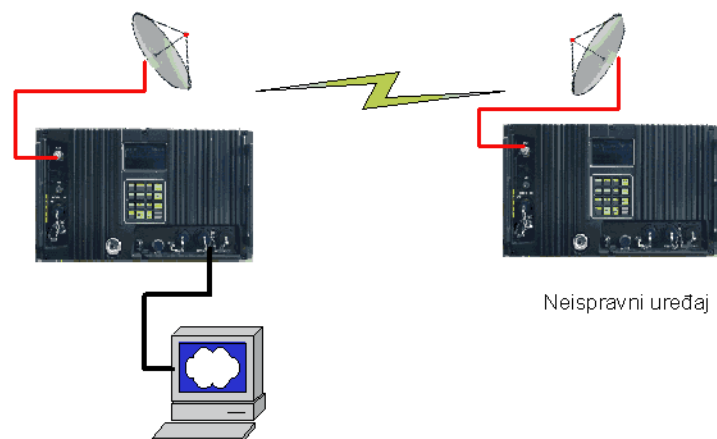
punosti, jer na osnovu nje se ne može pratiti degradacija parametara i ne može se odrediti rezerva upotrebljivosti modula, naročito sa aspekta trenutnog nastajanja otkaza uređaja,

– tehnološka procedura za osnovno i tehničko održavanje je propisana i u potpunosti obezbeđuje funkcionalnu i tehničku ispravnost uređaja.

Primena modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti i rezultati primene

S obzirom na karakteristike modela održavanja, karakteristike uređaja, i algoritam za izbor metode sa slike 3, jasno se uočava da je najsvrsishodnija primena modela ili koncepta održavanja RRU: *sa kontrolom nivoa pouzdanosti uređaja i sastavnih modula*. Rezultat primene modela obezbeđuje duži životni vek uređaja i duže vreme do otkaza. Proizvođač uređaja primenio je i konstrukcijski zadovoljio načelo u kojem je tokom životnog veka uređaja težište na jednostavnim i pouzdanim preventivnim pregledima. U isto vreme realizacija preventivnog održavanja iziskuje minimalne troškove u pogledu metoda ispitivanja stanja uređaja, angažovanja materijalnih resursa i stručnih lica. Preventivni pregledi realizuju se ugrađenim softverskim alatima koje iniciraju poslužioc i stručna lica, zavisno od vida održavanja.

RRU GRC 408E ugrađuje se u mobilne radio-relejne sisteme (RRS), kao što je prikazano na primeru sa slike 5 (Radonjić, Čirić, Jovanović, 2012):



Slika 5 – Model povezivanja RRU u okviru RRS
Figure 5 – Model of the RRE connecting within an RRS

Upravljanje radom uređaja u okviru RRS realizuje se pomoću centralnog računara. U centralnom računaru izrađen je i instaliran softverski alat za praćenje realizacije održavanja uređaja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. Softver omogućava unos svih neophodnih poda-

taka za praćenje stanja uređaja i uvid u rezultate koji se dobijaju realizacijom predviđenih pregleda modelom održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. U isto vreme, u svakom trenutku, poslužiocu ili stručnom licu iz jedinice za tehničko održavanje omogućen je podatak o trenutnoj vrednosti parametara intenziteta otkaza, pouzdanosti i srednjeg vremena između otkaza, na osnovu kojih se donose dalje odluke o načinu održavanja i planiranju potrebnih akcija održavanja.

Tokom sprovedenih istraživanja, održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti primenjeno je u održavanju RRU pod sledećim pretpostavkama i na način:

- normalnu eksploataciju u okviru RRS realizovaće obučeni poslužiocu,
- izvršioci održavanja radiće po propisanim tehnološkim procedurama za određene vidove održavanja koje obezbeđuju funkcionalnu i tehničku ispravnost uređaja (Jovanović, Radonjić, Milojević, 2013),
- osnovno održavanje realizovaće obučeni poslužiocu kroz: dnevne preglede, opsluživanje i sedmične preglede,
- tehničko održavanje realizovaće stručna lica iz jedinica za tehničko održavanje, kroz tehničke preglede i ispomoć u realizaciji periodičnih pregleda,
- podaci o realizaciji osnovnog održavanja, tehničkog održavanja i vremenu eksploatacije unosiće se u centralni računar, preko odgovarajuće softverske aplikacije,
- sa aspekta dostupnosti podataka iz centralnog računara, u odlučivanju realizacije pojedinih akcija preventivnog održavanja nakon isteka eksploatacionog resursa sastavnih modula, mogu se uključiti subjekti koji realizuju više nivoa održavanja.

Početne vrednosti parametara neophodnih za uspešno uspostavljanje modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti RRU, detaljno su prikazane u ranijim rezultatima istraživanja, a u tabeli 1 samo izvorno: parametri intenziteta otkaza – λ , srednje vreme između dva otkaza – MTBF, za sastavne module uređaja (A18-A25) i ceo uređaj – GRC 408E. (Radonjić, Jovanović, Milojević, 2013):

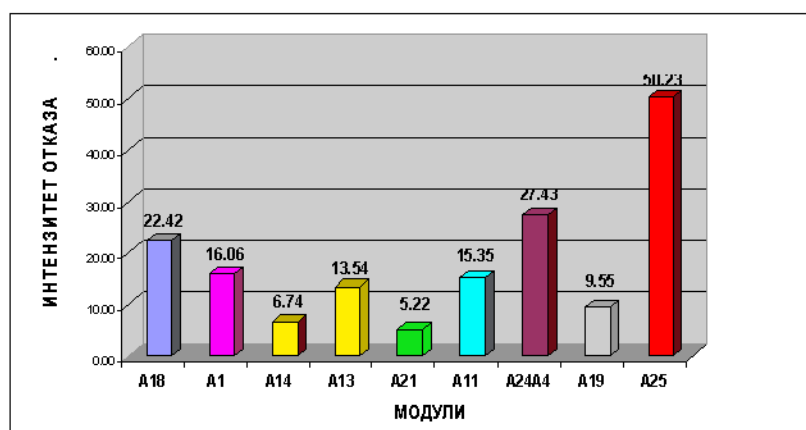
Tabela 1 – Parametri pouzdanosti
Table 1 – Reliability parameters

Parametri	A18	A1	A14	A13	A21	A11	A24A4	A19	A25	GRC
λ ($\times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$)	22.42	16.06	6.74	13.54	5.22	15.35	27.43	9.55	50.23	166.54
MTBF (h)	44612	62274	148358	73874	191433	65127	36451	104717	19908	6004
MTBF (год.)	5.09	7.11	16.94	8.43	21.85	7.43	4.16	11.95	2.27	0.68

Dozvoljena vrednost parametra pouzdanosti sastavnih modula i uređaja je $R_d \geq 0.368$, shodno vrednosti intenziteta otkaza λ sastavnih modula i celog uređaja.

Kao što se može videti u dosadašnjem delu rada i prikazanim podacima u tabeli 1, osnovni parametar pokazatelja pouzdanosti u optimalnom modelu održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti jeste intenzitet otkaza λ . Vrednosti intenziteta otkaza za uređaj i sastavne module je različit, a pored tabelarnog prikaza dat je grafički prikaz dijagrama intenziteta otkaza, po sastavnim modulima, na slici 6.

Početna vrednost parametra vremena rada uređaja je $t = 0$, jer, kao što smo ranije naveli, uređajima počinje životni ciklus i eksploatacija.



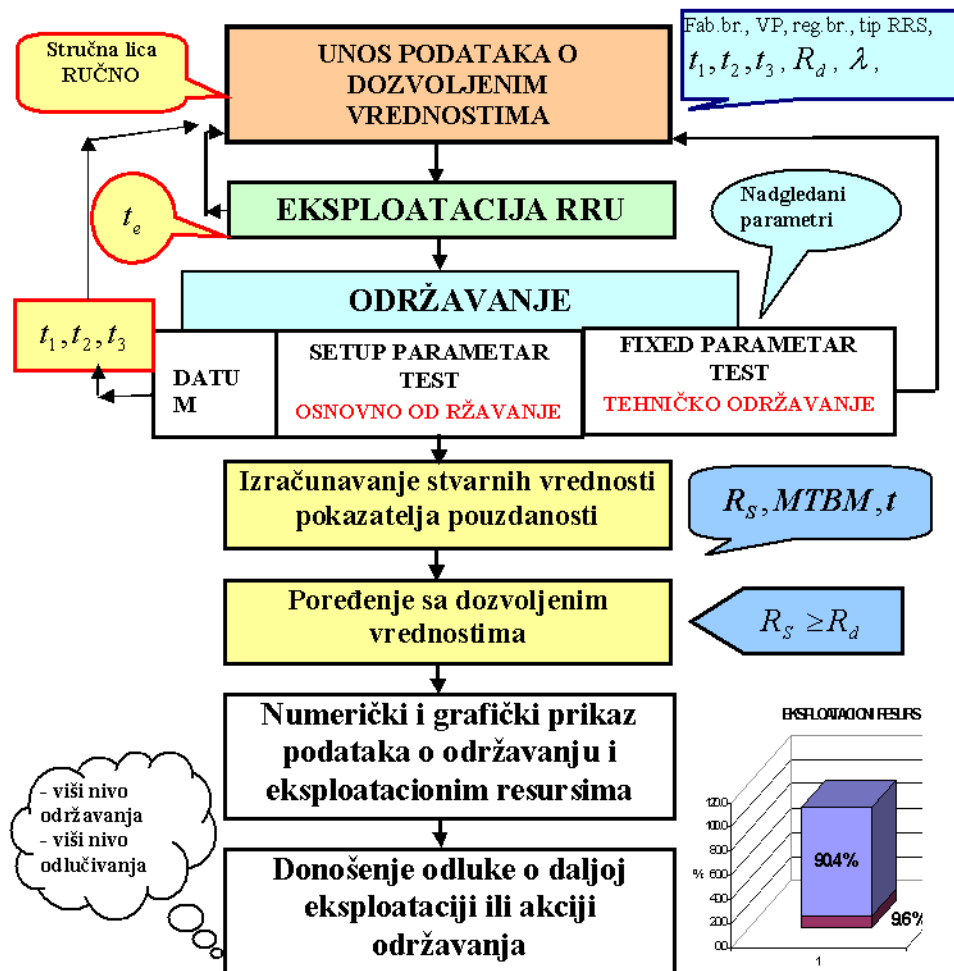
Slika 6 – Prikaz intenziteta otkaza po sastavnim modulima
Figure 6 – Display of the failure intensities for constituent modules

Prilikom pristupa izvršilaca održavanja realizaciji održavanja, oni se u centralnom računarima mogu upoznati sa svim bitnim radnim i eksploatacionim parametrima uređaja. Nakon realizacije eksploatacije ili nekog oblika održavanja, izvršioci unose podatke o vremenu eksploatacije uređaja, bilo da je ono nastalo normalnom eksploatacijom ili tokom nekog vida održavanja (eksploatacija tokom održavanja je razdvojena i posebno se prati), kao i podatke o sprovedenim merenjima. Podaci se čuvaju u centralnom računarima i služe za izračunavanje stvarne vrednosti parametra pouzdanosti R , i vremena do isteka eksploatacionog resursa svakog od sastavnih modula i celog uređaja – *MTBM*. Podaci o pokazateljima pouzdanosti i eksploatacionom resursu su u svakom trenutku dostupni poslužiocima, višem nivou održavanja i nosiocu funkcije održavanja.

Algoritam po kojem se realizuje održavanje RRU prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti prikazan je na slici 7.

Pošto se radi o početku eksploatacije i praćenju životnog ciklusa uređaja, deo podataka o dozvoljenim vrednostima parametara održavanja stručna lica unose ručno, i to: fabrički broj uređaja, vojna pošta, registarski broj RRS, tip RRS, dozvoljene vrednosti parametra pouzdanosti

sastavnih modula i celog uređaja R_d , intenzitet otkaza sastavnih modula $\lambda_1 - \lambda_3$ i celog uređaja λ_{GRC} i podaci o srednjoj vrednosti vremena između dva otkaza za sastavne module i ceo uređaj – $MRBF$.



Slika 7 – Algoritam optimalnog modela koncepta održavanja RRU prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti

Figure 7 – Algorithm of the optimal model of the concept of condition based maintenance of RRE with the control of the level of reliability

Tokom procesa održavanja deo podataka se unosi ručno, a veći deo se generiše automatski komunikacijom računar – uređaj. Ručno se unose sledeći podaci: vreme eksploatacije svaki put nakon eksploatacije tokom izvršenja redovnih zadataka RRS – t_e , vreme rada uređaja tokom re-

alizacije osnovnog održavanja – t_1 , vreme rada uređaja tokom periodičnog pregleda – t_2 , vreme rada uređaja tokom tehničkog pregleda – t_3 .

U računar se automatski generišu podaci o: rezultatima testa „SETUP PARAMETER TEST” („1” za rezultat testa „OK” i „2” za rezultat testa „ERROR”), rezultat testa „FIXED PARAMETER TEST”, rezultat testa „FRONT PANEL TEST”, podaci o nadgledanim parametrima tokom realizacije sve tri vrste testa: nivo prijemnog signala, BER greška u prenosu podataka, nivo predajnog signala, odnos aktivne i reflektovane snage, naponi napajanja za rad modula, izvor napajanja uređaja i datum realizacije bilo kog vida održavanja.

Na osnovu prikupljenih podataka (ručno i automatski) računar izračunava i prikazuje trenutne vrednosti pratećih parametara:

- srednje vreme između zamene modula $MTBF$,
- preostalo srednje vreme do sledeće zamene modula $MTBM$ (do isteka resursa),
- t – ukupno vreme rada uređaja/modula,
- stvarne vrednosti parametara pouzdanosti za sastavne module i uređaj $R_{S1} - R_{S9}$ i R_{SGRC} , radi upoređivanja sa dozvoljenim vrednostima, prema formuli:

$$R_s = \exp(-\lambda_{1-9} \cdot t).$$

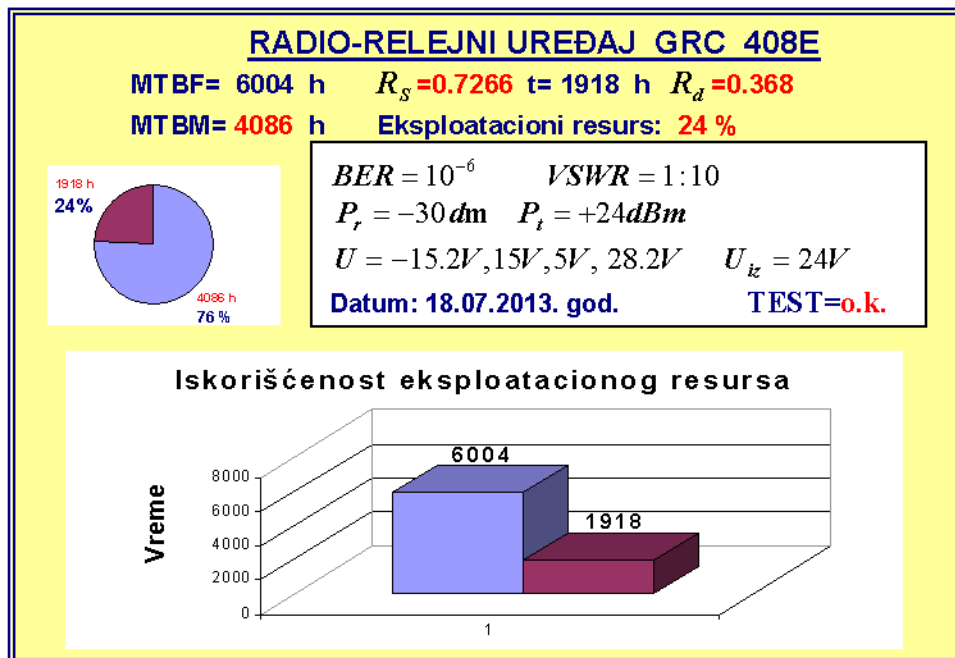
S obzirom na navedenu formulu i činjenicu da je $t = 0$, jer počinje životni ciklus uređaja, početna stvarna vrednost pouzdanosti iznosi $R_s = 1$ i tokom eksploatacije vrednost opada,

- ukupno vreme rada uređaja/modula – $t = t_e + t_1 + t_2 + t_3$,
- ukupno vreme rada uređaja/modula tokom osnovnog održavanja – t_1 ,
- ukupno vreme rada tokom tehničkog održavanja – $t_2 + t_3$,
- *grafički i numerički prikaz eksploatacionog resursa po modulima i celog uređaja*,
- ostale osnovne podatke o datumima pojedinih akcija održavanja, fabričkom broju uređaja, pripadnost RRS i sl.

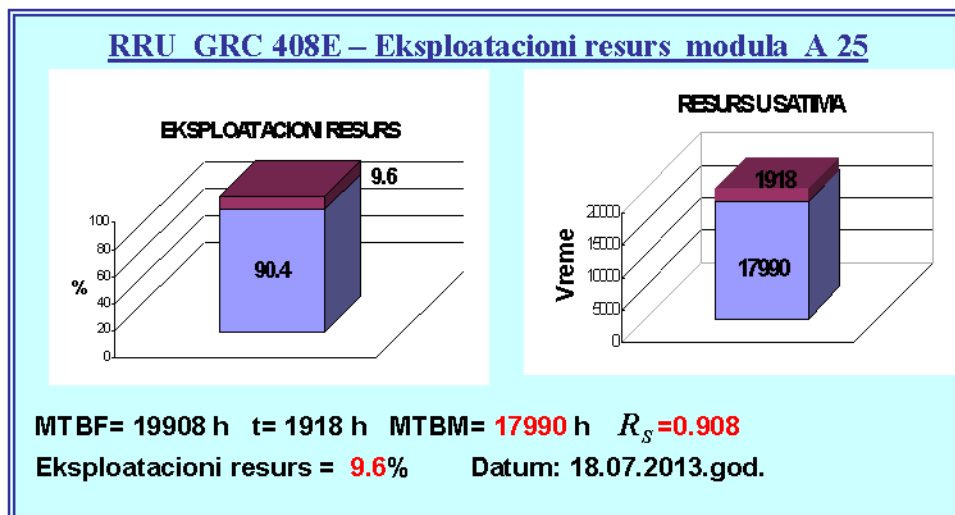
Centralni računar sve podatke o eksploataciji i održavanju može preneti nekim vidom komunikacije, dalje ka višim nivoima održavanja i nosiocu funkcije održavanja. Na osnovu dostupnih podataka može se pružiti pomoć nižim nivoima održavanja, a nosiocima održavanja omogućiti kontrolu realizacije održavanja i donošenje odluka iz njihove funkcionalne nadležnosti.

U nastavku su prikazani rezultati primene modela održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti. Pod pretpostavkom različitih vrsta vrednosti eksploatacionog resursa uređaja i sastavnih modula, prikazani su primeri softverskih vrednosti parametara koji se prate tokom primene modela održavanja.

Na slici 8 prikazan je primer primene modela, pri čemu je iskorišćeni eksploatacioni resurs u satima $t = 1918 h$ ili 24% ukupnog resursa uređaja.



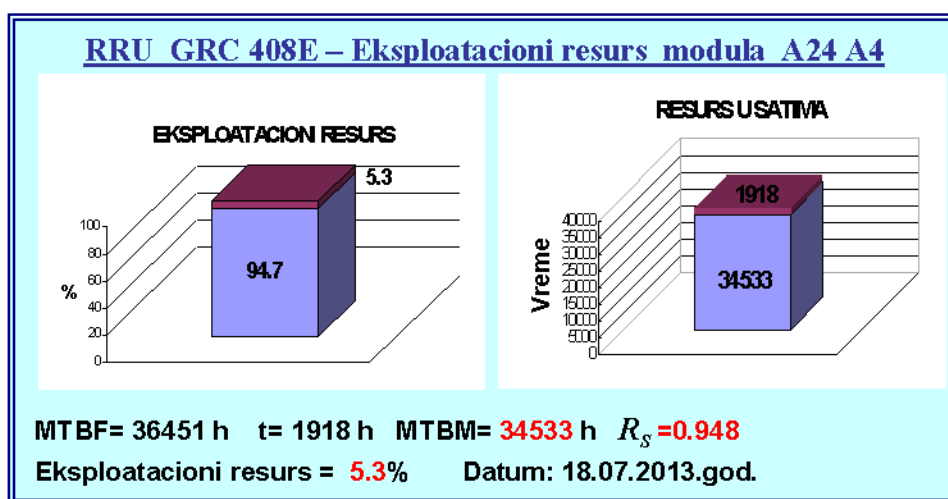
Slika 8 – Primer prikaza podataka o resursu RRU GRC 408E
 Figure 8 – An example of the data on the RRE resource E GRC 408E



Slika 9 – Primer prikaza podataka o resursu modula A25
 Figure 9 – An example of the data on the module A25 resource

Prikaz rezultata primene modela omogućuje uvid u pokazatelje pouzdanosti i sa slike 8 se vidi da je stvarna vrednost pouzdanosti $R_s = 0.7266$, pa je ispunjen uslov da je $R_s > R_d$, na osnovu čega se vrši dalja normalna eksploatacija RRU. Neiskorišćeni resurs je 76% ili $MTBM = 4086 h$. Dalje, softverski prikaz omogućuje uvid u vrednosti nadgledanih tehničkih parametara RRU i rezultate sprovedenog dijagnostičkog testa funkcionalne ispravnosti.

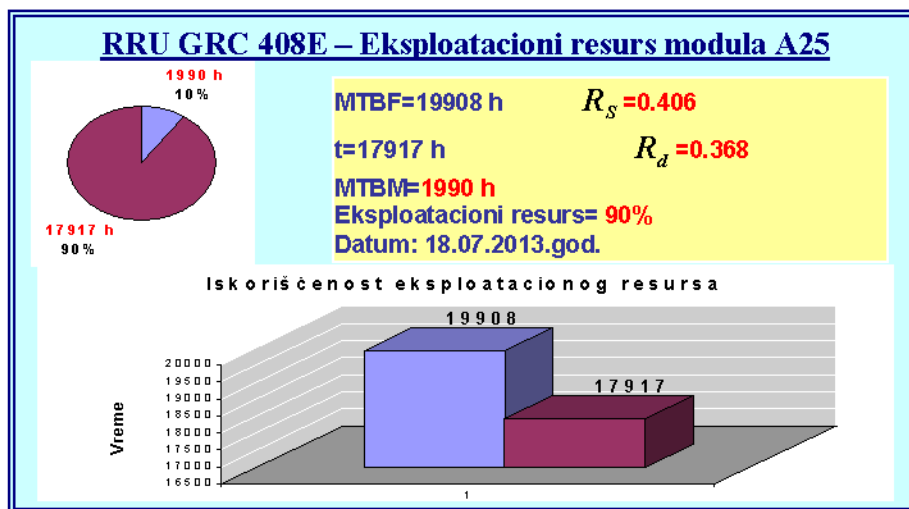
Pod istim vrednostima eksploatacionog resursa, kao na slici 8, prikazani su primeri vrednosti parametara pouzdanosti za modul A25 na slici 9 i modul A24A4 na slici 10.



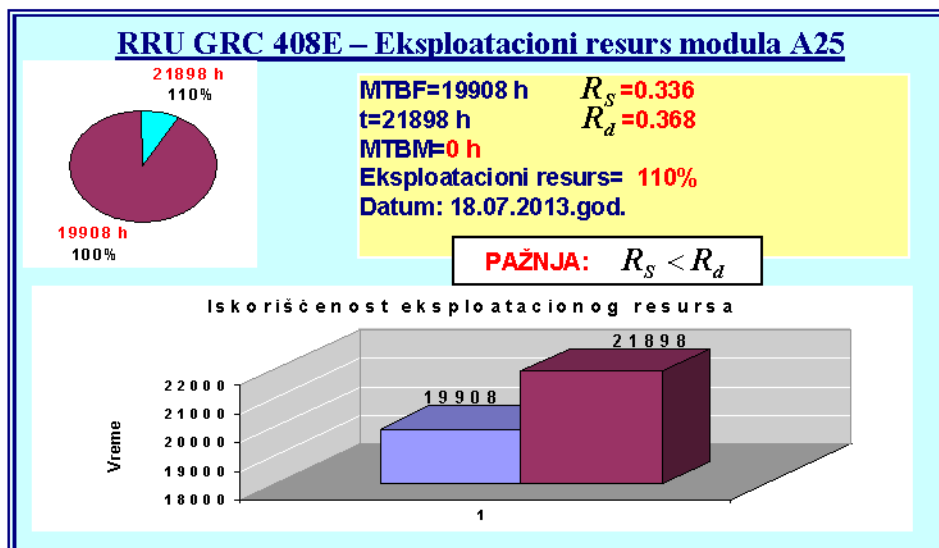
Slika 10 – Primer prikaza podataka o resursu sastavnog modula – A24 A4
Figure 10 – An example of the data on the resource of a component module - A24 A4

Sagledavajući vrednosti vremena između dva otkaza $MTBF$ sastavnih modula prikazanih u tabeli 1, modul A25 ima najmanju vrednost koja iznosi $MTBF = 19908 h$. Pod pretpostavkom da je modul A25 tokom svog životnog veka radio ukupno $t = 17917 h$, iskorišćenost eksploatacionog resursa biće 90%. Na osnovu toga, stvarna vrednost parametra pouzdanosti je $R_s = 0.406$, što je neznatno više od dozvoljene vrednosti. RRU se nalazi na granici iskorišćenog resursa, te je na višim nivoima odlučivanja da donesu odluku, zavisno od angažovanja jedinice kojoj sredstvo pripada, da li će se izvršiti preventivna zamena modula A25 ili će se modul i dalje koristiti. Navedeni primer prikazan je na slici 11.

Pod pretpostavkom da se modul A25 i dalje koristi i da vreme eksploatacije iznosi $t = 21898h$, iskorišćenost eksploatacionog resursa je 110%, a ostale vrednosti pokazatelja pouzdanosti prikazane su na slici 12. Vrednost stvarne pouzdanosti je $R_s = 0.336$, što je manje od dozvoljene vrednosti $R_d = 0.368$.



Slika 11 – Primer prikaza eksploatacionog resursa modula A25
 Figure 11 – An example of the mining resource of module A25



Slika 12 – Primer prikaza isteklog resursa modula A25
 Figure 12 – An example of an expired resource of module A25

Na ovaj način, primenjeni model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti omogućuje potpuno iskorišćenje resursa sastavnih modula i uređaja, uključujući i rezervu upotrebljivosti, praćenje i kontrolu ispravnosti RRU od strane poslužioca i stručnih lica i smanjenje nepotrebnih troškova planske zamene modula. Postojeća evidencija iskorišćenosti resursa omogućuje stalnu i kontrolisanu eksploataciju modula i uređaja, sve do otkaza.

Sagledavajući optimalnost modela održavanja sa aspekta troškova održavanja, uz činjenicu da postoji oprema za održavanje, dolazi se do zaključka da su najveći troškovi održavanja tokom životnog veka uređaja vezani sa zamenom sastavnih modula, odnosno sa rezervnim delovima za održavanje. Najmanji troškovi su opredeljeni na radnu snagu koja realizuje niže nivoe održavanja. Ovakav odnos troškova objašnjava se činjenicom da su u pitanju uređaji visoke tehnološkičnosti i složenosti, za čije održavanje su neophodni rezervni delovi visokog kvaliteta (po MIL standardu). U isto vreme, visoka tehnološkičnost RRU omogućila je da se prilikom nabavke RRU izdvoje veća novčana sredstva, ali su zato znatno smanjeni troškovi održavanja uređaja tokom resursa uređaja i sastavnih modula, tehnološke procedure za održavanje su uprošćene i oslonjene su na tehnološke instrumente i softvere ugrađene u sastavu uređaja.

U dostupnoj literaturi istraživanja su pokazala da se optimalni troškovi održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti postižu za pouzdanost od 0,79 do 0,90.

Zaključak

Sprovedena istraživanja pokazuju da pretpostavljeni model održavanja RRU omogućuje kvalitetno i ekonomično održavanje RRU najnovije generacije, uz korišćenje postojećih resursa uređaja i RRS u okviru kojih se ugrađuju. Takođe, istraživanja pokazuju da pretpostavljeni model održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti omogućuje:

- potpuno iskorišćenje konstrukcionih i tehničko-tehnoloških karakteristika uređaja u funkciji kvalitetnog i ekonomičnog održavanja uređaja,
- bolje planiranje preventivnog održavanja,
- učešće poslužioca i stručnih lica iz najnižeg nivoa u održavanju i stručno podizanje nivoa osnovnog održavanja,
- dostupnost podatka o resursima uređaja i održavanju, višim nivoima održavanja i odlučivanja,
- jedinstveno i organizovano prikupljanje podataka iz eksploatacije i života uređaja i RRS,
- svođenje troškova održavanja na minimum,
- sastavljanje modula, koji imaju najveće troškove održavanja, menjaju po otkazu, a ne po isteku resursa, pod uslovom da modul izvršava svoju funkcionalnu namenu i da ne narušava pouzdanost uređaja,
- opciju primene modela održavanja na ostale uređaje u RRS.

Literatura

- Adamović, Ž., Radovanović, L., & Radojević, M. 2008. Modeli održavanja na bazi tehničke dijagnostike. *Tehnička dijagnostika*, 3.
- Adamović, Ž., Stanković, N., & Savić, B. 2011. *Pouzdanost mašina i postrojenja*. Novi Sad: Stylos.
- Adamović, Ž., & Bešić, C. 2008. *Održavanje tehničkih sistema*. Beograd: Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije.
- Jovanović, D., Radonjić, V., & Milojević, I. 2013. Određivanje parametara pogodnosti za održavanje radio-relejnih uređaja primenom grafičke metode. U: 16. Međunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću“, ICDQM-2013, Beograd. , str. 435-440
- Radonjić, V., & Ćirić, M. 2012. Primena savremene metode tehničke dijagnostike u funkciji unapređenja održavanja radio-relejnih uređaja. *Vojno-tehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(4), str. 117-132.
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013. Proračun parametara pouzdanosti kod uspostavljanja organizacije održavanja radio-relejnih uređaja. U: 16. Međunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću“, ICDQM. str. 471-476
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013. Tehnološka procedura srednjeg nivoa održavanja savremenih radio-relejnih uređaja. U: 16. Međunarodna konferencija „Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću“, ICDQM. , str. 465-470
- Radonjić, V., & Jovanović, D. 2012. Održavanje radio-relejnih uređaja primenom savremene metode tehničke dijagnostike. U: 15. DQM Međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM, Beograd. , str. 383-388
- Radonjić, V., Ćirić, M., & Jovanović, D. 2012. One model of assistance on the lower levels in the maintenance of modern radio-radios GRC systems. U: 5th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2012, Belgrade.
- Tomić, M., & Adamović, Ž. 1986. *Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema*. Beograd: Tehnička knjiga.

OPTIMAL MODEL OF THE CONCEPT OF RADIO-RELAY EQUIPMENT MAINTENANCE

FIELD: Maintenance of technical systems, Telecommunications
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

This paper presents the results of applying the optimal model of the concept of maintenance of modern radio-relay equipment (RRE). The model, is based on condition based preventive maintenance with the control of the level of reliability, and uses a number of positive structural and technological capabilities of the machine in order to decrease overall maintenance costs while maintaining the achieved level of the required device reliability.

Introduction

The aim of this paper is to review the maintenance models, with an emphasis on preventive maintenance, in order to identify the best RRE model maintenance and set up a proper maintenance organization. For the application of a model of maintenance, one must be familiar with construction-technological features and capabilities of the device which provide its reliability and maintainability. The ultimate goal of this research is to choose and establish an optimal maintenance model which will enable controlled monitoring of device reliability in order to fully utilize resources.

Types of Preventive Maintenance

Two types of preventive maintenance have been presented including: traditional planned maintenance and condition based maintenance. Condition based maintenance is a type of preventive maintenance based on a periodic or continuous control of devices in use. Based on the results of the control, decisions are made on the necessary time and extent of planned activities.

Condition based maintenance, due to constant control during operation, allows full utilization of device module components, which makes it optimal compared to traditional preventive maintenance.

Methods of condition based maintenance.

There are two types of condition based maintenance: one with the parameter control and the other with the reliability control. The choice of an appropriate method is done based on the algorithm in Figure 3. Considering the requirements that must be met when choosing the model of condition based maintenance and the algorithm for model selection, a model of condition based maintenance is chosen with the control of the device reliability and component modules. The fact that the intensity of the failure of devices and modules is constant over the life of the device is a critical factor in choosing a model of condition based maintenance which will be used in further research. The model will enable the optimal maintenance of devices with maximum reliability and minimum maintenance costs.

Condition based maintenance with the control of the level of reliability

In models of condition based maintenance with the control of the level of reliability, a reliability level is a criterion of technical condition and expressed by reliability. The indication of the reliability is the parameter – failure intensity. In applying the model, there is another parameter used- allowed reliability level. The permitted level of reliability is calculated for each component separately and for the entire device. In this maintenance model, during the lifetime of the device, the actual level of reliability is constantly compared with the allowed value of the reliability of the device or module, as shown in the algorithm in Figure 4.

The application of this maintenance model requires constant collection of operational data about the reliability of devices and modules during their lifetime.

RRE characteristics from the aspect of the maintenance model

In the selection phase of the maintenance model, it is stated that RRE must meet certain requirements such as: unit design is characterized by a high degree of technologicality and is based on the serial modular principle; the device operates within the mobile system in which the operation of the device is controlled by a computer system, and the device is pre-tested for the defectation of device correctness. From the technological point of view, it was assumed that there is equipment for all levels of maintenance, trained personnel, and required technological procedures for all levels of maintenance.

The application of the condition based maintenance with the control of the level of reliability and the results of the application

In accordance with the defined assumptions, the maintenance model was applied. The RRE operation is controlled within the mobile system, using a computer with appropriate software. The communication of the computer with RRE gives all the relevant information about the unit. A part of the maintenance data is entered manually into the appropriate application software. Based on the collected data, the computer calculates all relevant parameters for the implementation of the model maintenance, numerically and graphically. Figure 7 shows the algorithm of the optimal model of condition based maintenance of RRE with the control of the reliability level. The results of applying the optimal maintenance model are also shown.

Based on the activities during the research and on the application of the maintenance model, it can be seen that the highest maintenance costs are directed to the replacement of component modules. The optimality of the condition based maintenance model allows the use of modules after the expiry of resources, or up to failure, without disrupting the functions of the device.

Conclusion

The conducted research shows that the assumed RRE maintenance model provides quality and cost-effective RRE maintenance of the latest generation with the use of existing resources and RRS units in which they are incorporated. The research also shows that the assumed model of condition based maintenance with the control of the level of reliability enables:

- full use of structural and technological characteristics of the device as a function of efficient and cost-effective equipment maintenance,*
- better planning of preventive maintenance,*
- involvement of personnel and experts from the lowest level of maintenance and professional raising of the basic maintenance level,*
- availability of information on resources, equipment and maintenance, to higher levels of maintenance and decision-making structures,*

- *uniform and organized data collection from service and device life and RRS,*
- *reduction of maintenance costs to a minimum,*
- *changing the constituent modules with the highest maintenance costs, upon failure and not upon the expiry of resources, provided that the module performs its functional purpose and does not violate the reliability of the device,*
- *an option of applying the maintenance model to other devices in RRS.*

Key words: condition based maintenance, control of reliability.

Datum prijema članka/Paper received on: 01. 12. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 22. 12. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 24. 12. 2013.

UTICAJ PARAMETARA CILINDRIČNIH ZUPČASTIH PAROVA NA STEPEN SPREZANJA PROFILA ZUBACA

Predrag S. Dobratić^a, Mileta R. Ristivojević^b

^a Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Katedra vojnomašinskog inženjerstva

^b Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet,
Katedra za opšte mašinske konstrukcije

DOI: 10.5937/vojtehg62-5393

OBLAST: mašinstvo

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U domenu prenosa i transformacije snage od pogonske do radne mašine zupčasti parovi zbog kompaktnosti konstrukcije, velike pouzdanosti i nosivosti imaju najveću primenu u mašinogradnji. Jedan od načina poboljšanja radnih karakteristika zupčastih parova, a time i zupčastih prenosnika, jeste povećanje broja istovremeno spregnutih parova zubaca, odnosno povećanje stepena sprežanja profila zubaca. U radu je detaljno analiziran parcijalni i istovremeni uticaj broja zubaca i oblika profila zubaca, preko koeficijenta pomeranja profila zubaca i ugla nagiba profila alata, na broj istovremeno spregnutih parova zubaca. Na osnovu dobijenih rezultata mogu se definisati optimalni parametri cilindričnih zupčastih parova sa aspekta veličine stepena sprežanja profila zubaca.

Ključne reči: cilindrični zupčanici, spreza zubaca, stepen sprežanja.

Uvod

Da bi se obezbedilo kontinualno prenošenje obrtnog kretanja sa pogonskog na gonjeni zupčanik, neophodno je da, pre nego što jedan par spregnutih zubaca završi svoje dodirivanje, sledeći par započne svoj dodir. Kinematski pokazatelj postojanja kontinualnosti prenošenja obrtnog kretanja jeste stepen sprežanja bokova zubaca, koji je definisan kao odnos ugla obrtanja zupčanika koji odgovara vremenu trajanja dodirnog perioda posmatranog para zubaca i ugla koji odgovara koraku zubaca. Prema ovom kriterijumu, da bi postojalo kontinualno prenošenje obrtnog kretanja, stepen sprežanja bokova zubaca mora biti veći od jedan (Ristivojević, Mitrović, 2002), (Ristivojević, 1985).

Na osnovu stepena sprežanja bokova zubaca dobija se informacija o broju istovremeno spregnutih parova zubaca, koji se smenjuju u toku dodirnog perioda. Tako, na primer, ako je $1 < \varepsilon_{\gamma} < 2$ – naizmenično se

smenjuju jedan i dva para zubaca, a ako je $2 < \varepsilon_\gamma < 3$ – naizmenično se smenjuju dva i tri para zubaca, itd. Jedan od načina povećanja radne sposobnosti zubaca zupčastih parova jeste angažovanje većeg broja parova zubaca u prenošenju opterećenja (Ristivojević, Mitrović, 2002), (Ristivojević, 1985). Treba napomenuti da je $\varepsilon_\gamma > 1$ samo potreban, ali ne i dovoljan uslov za ostvarivanje višestruke sprege. Sledeći uslov koji treba ispuniti je kompatibilnost između tačnosti izrade zubaca, krutosti zubaca i intenziteta ukupnog opterećenja zupčastog para.

U radu (Li, 2008) prikazan je uticaj koeficijenta visine zubaca na stepen sprezanja profila zubaca. Pokazano je da se promenama koeficijenta visine zubaca u sadejstvu sa odgovarajućim vrednostima koeficijenta pomeranja profila zubaca i kinematskog prenosnog odnosa mogu ostvariti vrednosti stepena sprezanja profila zubaca veće od četiri. U radu (Imrek, 2009) pokazano je kako se izborom odgovarajućeg konstrukcionog rešenja oblika zubaca cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima može ostvariti dvostruka sprega zubaca u svim tačkama aktivne dužine dodirnice profila zubaca kada su vrednosti stepena sprezanja profila zubaca manje od dva.

Matematički model stepena sprezanja profila zubaca

Stepen sprezanja bokova zubaca jednak je zbiru stepena sprezanja profila zubaca i stepena sprezanja bočnih linija. Kod cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima stepen sprezanja bočnih linija jednak je nuli. Saglasno tome, kod ovih zupčastih parova stepen sprezanja bokova zubaca i stepen sprezanja profila zubaca su jednaki. U ovom radu razmatran je uticaj parametara zupčastog para na veličinu stepena sprezanja profila zubaca, koji je definisan odnosom aktivne dužine dodirnice (l) i koraka zupčanika na osnovnom krugu (p_b):

$$\varepsilon_\alpha = \frac{l}{p_b} \quad (1)$$

Smenom izraza za aktivnu dužinu dodirnice (l) i za korak zupčanika na osnovnom krugu (p_b) u jednačini 1 dobija se izraz za stepen sprezanja profila zubaca (Ognjanović, 2011), (Ristivojević, 2005):

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a \cdot \sin \alpha_w}{m_n \cdot \pi \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

gde je m_n – standardni modul zupčanika.

Smenom izraza za osno rastojanje (a), kao i izraza za poluprečnike podeone (r_1 i r_2), podnožne (r_{f1} i r_{f2}), temene (r_{a1} i r_{a2}) i osnovne (r_{b1} i r_{b2}) kružnice u jednačini 2, dolazi se do opšteg izraza za stepen sprezanja profila zubaca (Ognjanović, 2011), (Ristivojević, 2005):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\alpha} = & \frac{\sqrt{\left(\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} - \frac{z_2}{2} - x_2 + 1\right)^2 - \frac{z_1^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha}}{\pi \cdot \cos \alpha} + \\ & + \frac{\sqrt{\left(\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} - \frac{z_1}{2} - x_1 + 1\right)^2 - \frac{z_2^2}{4} \cdot \cos^2 \alpha}}{\pi \cdot \cos \alpha} - \\ & - \frac{\frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} \cdot \sin \alpha_w}{\pi \cdot \cos \alpha} \end{aligned} \quad (3)$$

gde su:

z_1 i z_2 – broj zubaca malog i velikog zupčanika, respektivno,

x_1 i x_2 – koeficijent pomeranja profila zubaca malog i velikog zupčanika, respektivno,

α – ugao nagiba profila alata (osnovne zupčaste letve),

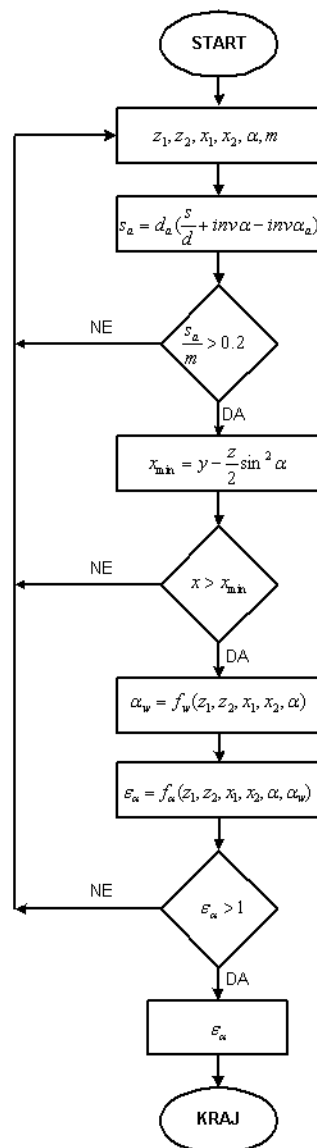
α_w – ugao dodimice.

Ovaj izraz izveden je za koeficijent visine zubaca zupčanika $y = 1$, koeficijent visine glave alata $c_{a0} = 0,2$ i koeficijent temenog zazora $c = 0,2$.

Ako je zbir pomeranja profila zubaca $x_1 + x_2 = 0$, ugao dodimice (α_w) jednak je uglu nagiba profila alata (α), i ako su zupci spregnutih zupčanika urađeni bez pomeranja profila, tada je $x_1 = x_2 = 0$, a opšti izraz za stepen sprezanja profila zubaca može se napisati u obliku (Ognjanović, 2011):

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\sqrt{\frac{z_1^2}{4} \cdot \sin^2 \alpha + z_1 + 1} + \sqrt{\frac{z_2^2}{4} \cdot \sin^2 \alpha + z_2 + 1} - \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \sin \alpha}{\pi \cdot \cos \alpha}. \quad (4)$$

Na osnovu jednačina 3 i 4 razmotren je uticaj broja zuba malog i velikog zupčanika (z_1 i z_2), koeficijenta pomeranja profila zuba malog i velikog zupčanika (x_1 i x_2) i ugla nagiba profila alata (α) na stepen sprezanja profila zuba, a u skladu sa algoritmom prikazanim na slici 1 (Rosić, 2003).



Slika 1 – Algoritam za određivanje stepena sprezanja profila zuba
Figure 1 – Algorithm for the transverse contact ratio determination

Uticaj ugla nagiba profila alata i broja zubaca na stepen sprezanja profila zubaca

Najčešće korišćena vrednost ugla nagiba profila alata je ugao $\alpha = 20^\circ$. Međutim, za dobijanje željenih performansi zupčastog para u pogledu nosivosti bokova i podnožja zubaca, sve češće se koriste vrednosti ugla nagiba profila alata različite od $\alpha = 20^\circ$. Radi toga u ovom delu je razmatran uticaj ugla nagiba profila alata i broja zubaca spregnutih zupčanika na stepen sprezanja profila zubaca primenom jednačine 4.

Na slikama 2, 3 i 4 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata i broja zubaca spregnutih zupčanika na veličinu stepena sprezanja profila zubaca kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 = 0$ i $x_2 = 0$, i kada je broj zubaca malog zupčanika z_1 u intervalu $20 - 50$.

Na slici 2 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 50$. U ovom slučaju, trostruka sprega zubaca prisutna je kod zupčastih parova koji imaju ugao nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ i kada se broj zubaca malog zupčanika z_1 nalazi u intervalu $21 - 50$, odnosno kada se kinematski prenosni odnos u nalazi u intervalu $2,38 - 1$.

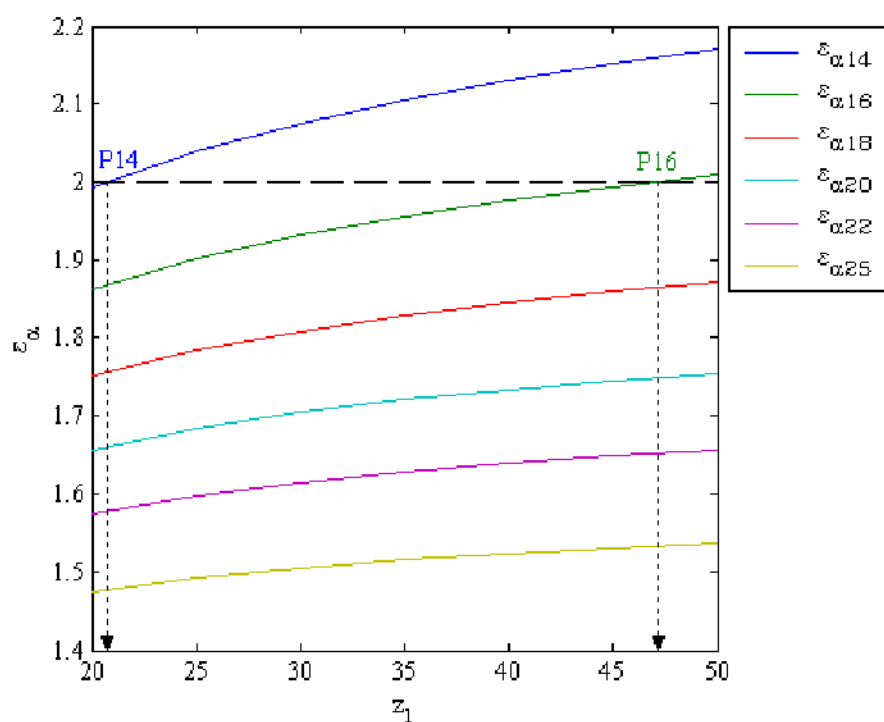
Takođe, trostruka sprega zubaca prisutna je i kod zupčastih parova pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 16^\circ$, ali u veoma malom intervalu broja zubaca malog zupčanika, $z_1 = 47 - 50$.

Na slici 3 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 200$. Trostruka sprega zubaca postiže se pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ kada je z_1 u intervalu $20 - 50$ i pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 16^\circ$ kada je z_1 u intervalu $21 - 50$. Pri tome, period trajanja trostruke sprege veći je kod ugla nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$.

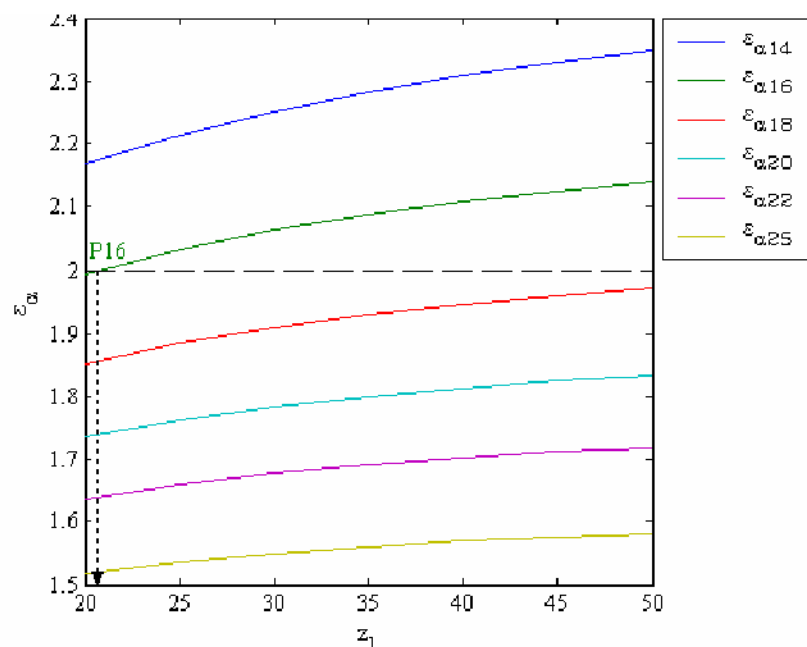
Na slici 4 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 500$. Trostruka sprega postiže se pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ i $\alpha = 16^\circ$ kada je z_1 u intervalu $20 - 50$. Kod ovih zupčastih parova periodi trostruke sprege su veći od perioda trostruke sprege zupčastih parova kod kojih je $z_2 = 200$.

Stepen sprezanja profila zubaca se pri povećanju broja zubaca malog zupčanika z_1 od 20 – 50 povećava 8% za $\alpha = 14^\circ$, 5% za $\alpha = 20^\circ$ i 4% za $\alpha = 25^\circ$. Saglasno tome, sledi da se gradijent stepena sprezanja profila zubaca povećava sa smanjenjem ugla nagiba profila alata. Pri povećanju broja zubaca velikog zupčanika z_2 od 50 – 500 stepen sprezanja profila zubaca se povećava 10% za $\alpha = 14^\circ$, 5% za $\alpha = 20^\circ$ i 3% za $\alpha = 25^\circ$, s tim što se pri povećanju z_2 od 200 – 500 povećava 3% za $\alpha = 14^\circ$, 1% za $\alpha = 20^\circ$ i 1% za $\alpha = 25^\circ$. Ova analiza pokazuje da je uticaj broja zubaca na stepen sprezanja profila zubaca znatno izraženiji kod manjih vrednosti ugla nagiba profila alata.

Može se zaključiti da se stepen sprezanja profila zubaca povećava sa povećanjem broja zubaca i sa smanjenjem ugla nagiba profila alata. Gradijent povećanja stepena sprezanja profila zubaca je izraženiji pri manjim vrednostima kinematskog prenosnog odnosa zupčastog para i pri manjim uglovima nagiba profila alata.

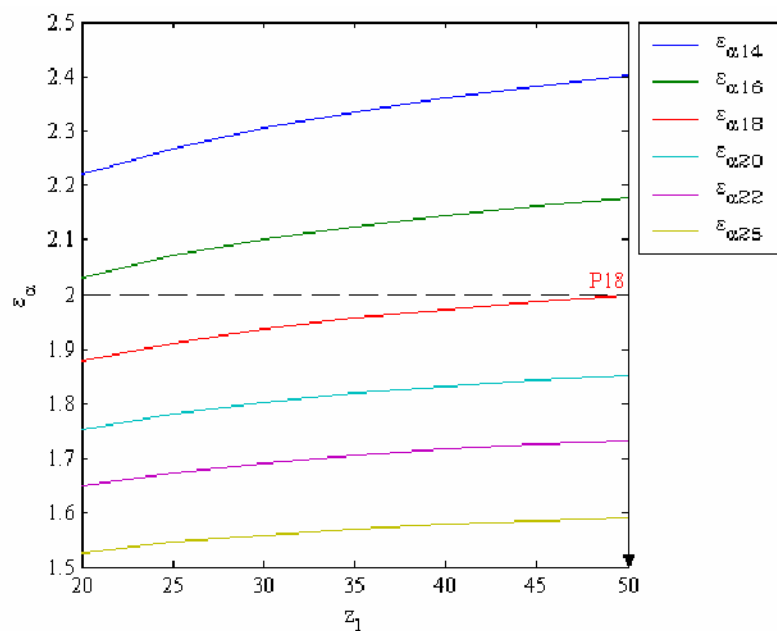


Slika 2 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0$, $x_2=0$ i $z_2=50$
 Figure 2 – Transverse contact ratio for $x_1=0$, $x_2=0$ and $z_2=50$



Slika 3 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0$, $x_2=0$ i $z_2=200$

Figure 3 – Transverse contact ratio for $x_1=0$, $x_2=0$ and $z_2=200$



Slika 4 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0$, $x_2=0$ i $z_2=500$

Figure 4 – Transverse contact ratio for $x_1=0$, $x_2=0$ and $z_2=500$

Uticaj ugla nagiba profila alata, broja zubaca i koeficijenta pomeranja profila zubaca na stepen sprezanja profila zubaca

Kao što je već rečeno, najčešće korišćena vrednost ugla nagiba profila alata je ugao $\alpha = 20^\circ$. Za dobijanje željenih performansi zupčastog para u pogledu nosivosti bokova i podnožja zubaca sve češće se koriste vrednosti ugla nagiba profila alata različite od $\alpha = 20^\circ$ i koeficijenti pomeranja profila zubaca različiti od nule. U ovom delu razmatran je uticaj ugla nagiba profila alata, broja zubaca spregnutih zupčanika i koeficijenta pomeranja profila zubaca na stepen sprezanja profila zubaca primenom jednačine 3.

Koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 = x_2 = 0,5$

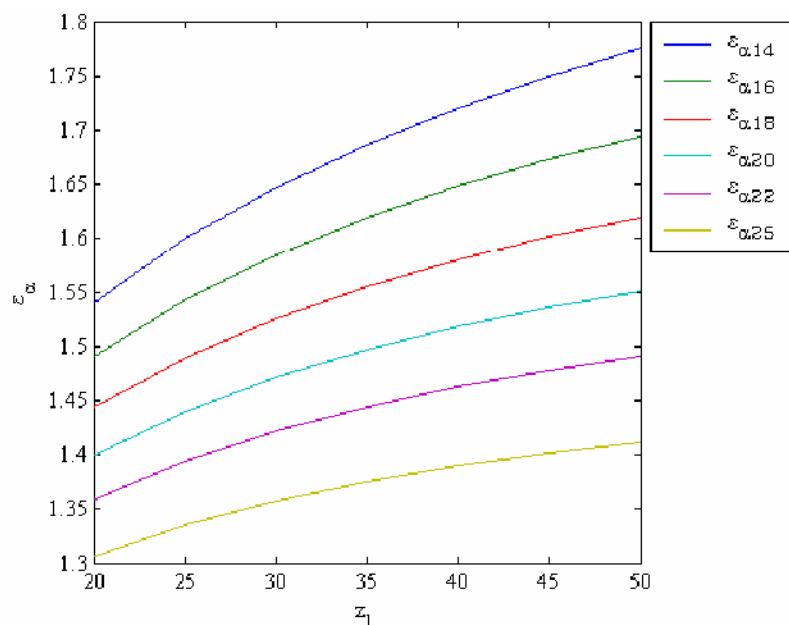
U ovom delu prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata i broja zubaca spregnutih zupčanika na veličinu stepena sprezanja profila zubaca kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 = x_2 = 0,5$ i kada se broj zubaca malog zupčanika z_1 nalazi u intervalu 20 – 50 (slike 5, 6 i 7).

Na slici 5 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 50$. U ovom slučaju trostruka sprega zubaca ne postiže se ni pri jednom uglu nagiba profila alata kada je z_1 u intervalu 20 – 50.

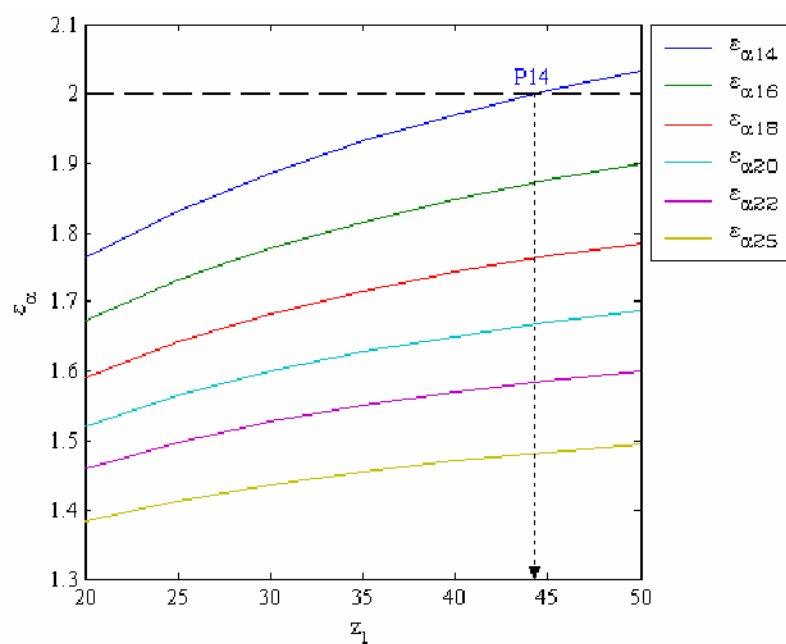
Na slici 6 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 200$. Kod ovih zupčastih parova trostruka sprega zubaca postiže se samo pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ i to u veoma malom intervalu promene broja zubaca malog zupčanika, $z_1 = 44 - 50$.

Na slici 7 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 500$. Kod ovih zupčastih parova trostruka sprega zubaca postiže se samo pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$, ali u znatno većem intervalu promene broja zubaca malog zupčanika, $z_1 = 33 - 50$.

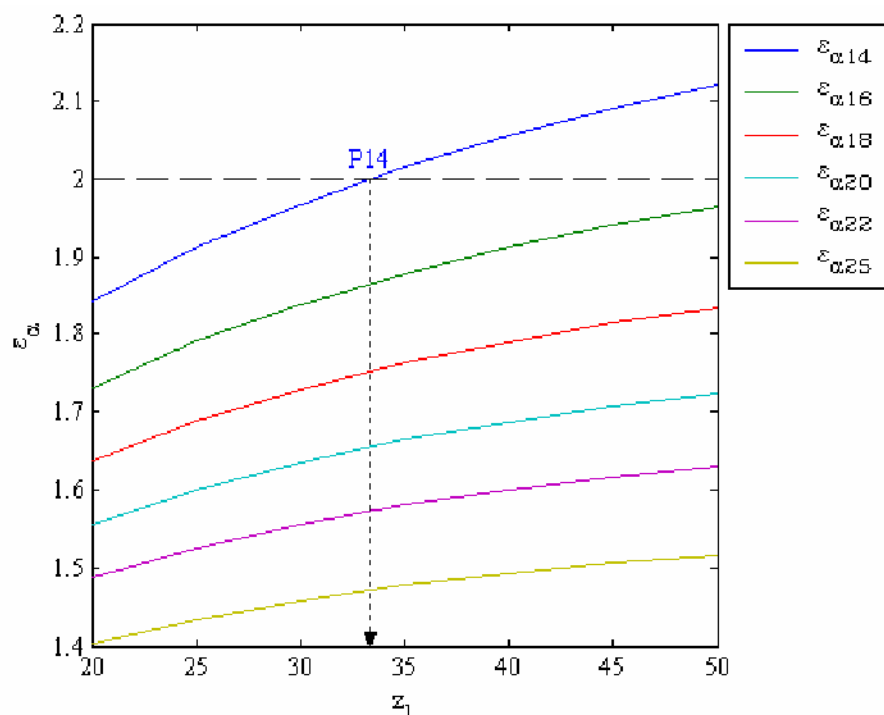
Uticaj broja zubaca na stepen sprezanja profila zubaca je znatno veći kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca veći od nule, ali su istovremeno vrednosti stepena sprezanja profila zubaca manje.



Slika 5 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0,5$, $x_2=0,5$ i $z_2=50$
 Figure 5 – Transverse contact ratio for $x_1=0,5$, $x_2=0,5$ and $z_2=50$



Slika 6 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0,5$, $x_2=0,5$ i $z_2=200$
 Figure 6 – Transverse contact ratio for $x_1=0,5$, $x_2=0,5$ and $z_2=200$



Slika 7 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0,5$, $x_2=0,5$ i $z_2=500$
 Figure 7 – Transverse contact ratio for $x_1=0,5$, $x_2=0,5$ and $z_2=500$

Koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1=0,5$ i $x_2=-0,5$

U ovom delu prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata i broja zubaca spregnutih zupčanika na veličinu stepena sprezanja profila zubaca kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 = 0,5$ i $x_2 = -0,5$, i kada je broj zubaca malog zupčanika z_1 u intervalu 20 – 50 (slike 8, 9 i 10).

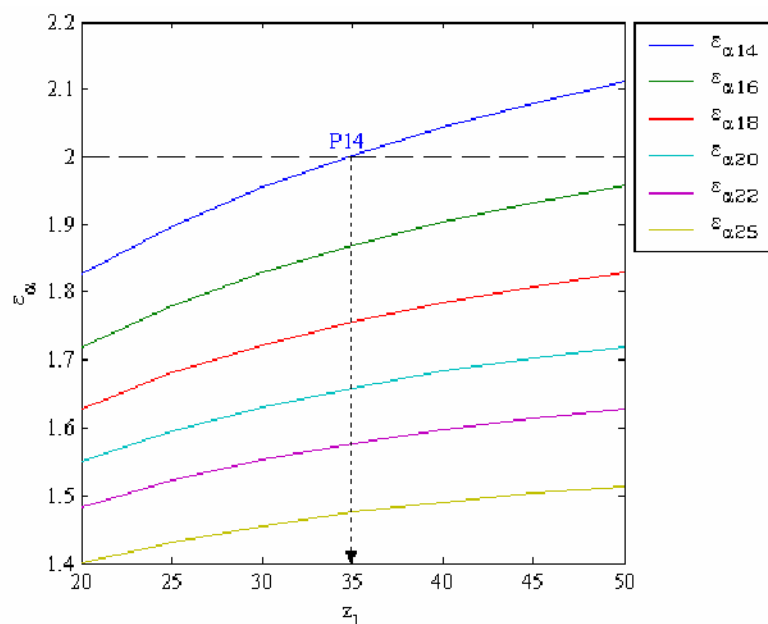
Na slici 8 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 50$. Trostruka sprega zubaca postiže se samo pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ i kada se broj zubaca malog zupčanika z_1 nalazi u intervalu 35 – 50.

Na slici 9 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 200$. Trostruka sprega zubaca postiže se pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ kada se broj zubaca malog zupčanika z_1 nalazi u intervalu 28 – 50.

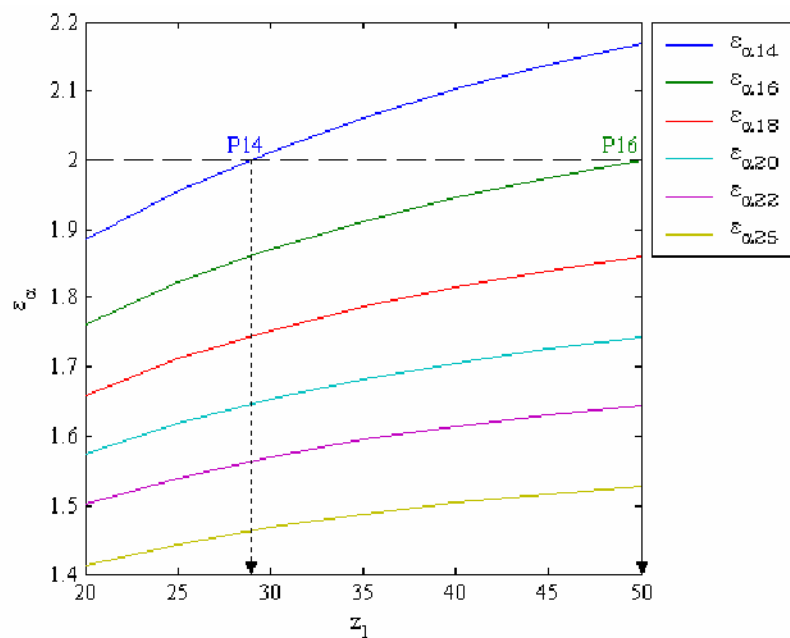
Na slici 10 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2 = 500$. Trostruka sprega zubaca postiže se pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 14^\circ$ kada je z_1 u intervalu 27 – 50 i pri uglu nagiba profila alata $\alpha = 16^\circ$ kada se z_1 nalazi u veoma malom intervalu 48 – 50.

Stepen sprezanja profila zubaca se, pri povećanju broja zubaca malog zupčanika z_1 od 20 – 50 povećava 14% za $\alpha = 14^\circ$, 10% za $\alpha = 20^\circ$ i 7% za $\alpha = 25^\circ$. Pri povećanju broja zubaca velikog zupčanika z_2 od 50 – 500 stepen sprezanja profila zubaca povećava se 3% za $\alpha = 14^\circ$, 1,5% za $\alpha = 20^\circ$ i 1% za $\alpha = 25^\circ$, s tim što se pri povećanju z_2 od 200 – 500 povećava 1% za $\alpha = 14^\circ$, 0,5% za $\alpha = 20^\circ$ i 0,1% za $\alpha = 25^\circ$.

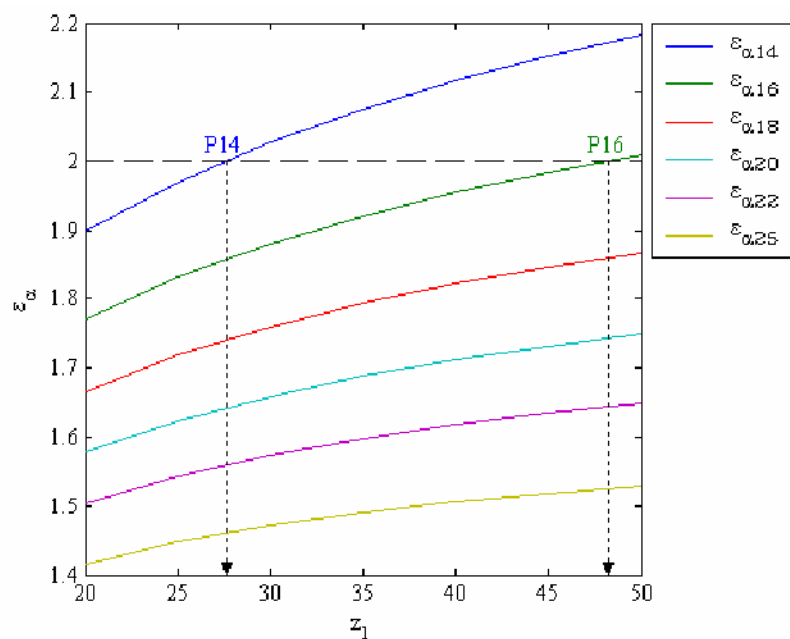
Kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca malog zupčanika pozitivni, a velikog zupčanika negativni, uticaj broja zubaca na stepen sprezanja profila zubaca je manji u odnosu na slučaj kada su oba koeficijenta pomeranja profila zubaca pozitivna. Istovremeno, povećan je interval broja zubaca malog zupčanika kada se ostvaruje trostruka sprega. Takođe, i vrednosti stepena sprezanja profila zubaca su povećane.



Slika 8 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0,5$, $x_2=-0,5$ i $z_2=50$
 Figure 8 – Transverse contact ratio for $x_1=0.5$, $x_2=-0.5$ and $z_2=50$



Slika 9 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0,5$, $x_2=-0,5$ i $z_2=200$
 Figure 9 – Transverse contact ratio for $x_1=0.5$, $x_2=-0.5$ and $z_2=200$



Slika 10 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=0,5$, $x_2=-0,5$ i $z_2=500$
 Figure 10 – Transverse contact ratio for $x_1=0.5$, $x_2=-0.5$ and $z_2=500$

Koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1=-0,5$ i $x_2=0,5$

U ovom delu prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata i broja zubaca spregnutih zupčanika na veličinu stepena sprezanja profila zubaca kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1=-0,5$ i $x_2=0,5$, i kada je broj zubaca malog zupčanika z_1 u intervalu 20–50 (slike 11, 12 i 13).

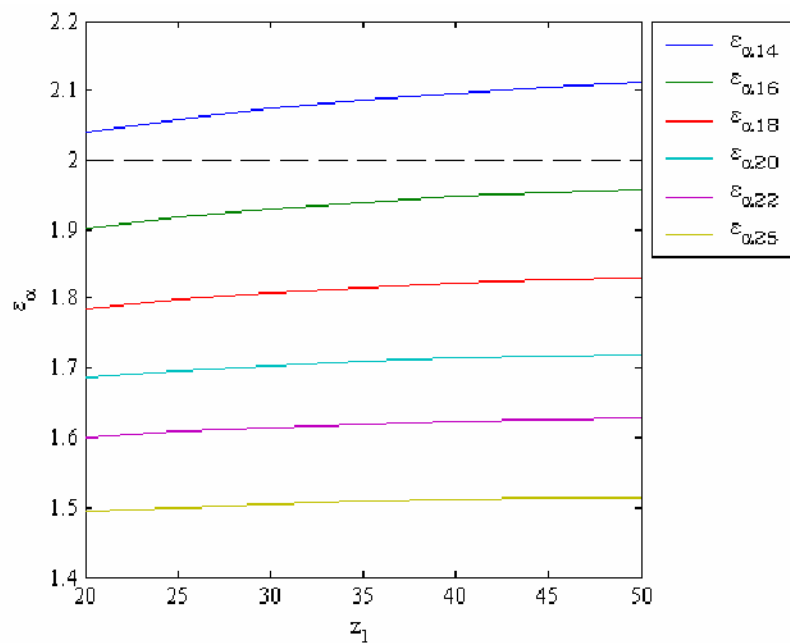
Na slici 11 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2=50$. Trostruka sprega zubaca postiže se samo pri uglu nagiba profila alata $\alpha=14^\circ$ kada je z_1 u intervalu 20–50.

Na slici 12 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2=200$. Trostruka sprega zubaca postiže se pri uglu nagiba profila alata $\alpha=14^\circ$ i $\alpha=16^\circ$ kada je z_1 u intervalu 20–50 i pri uglu nagiba profila alata $\alpha=18^\circ$ kada je z_1 u intervalu 28–50.

Na slici 13 prikazan je uticaj ugla nagiba profila alata na stepen sprezanja profila zubaca kada je broj zubaca velikog zupčanika $z_2=500$. Trostruka sprega postiže se pri uglu nagiba profila alata $\alpha=14^\circ$, $\alpha=16^\circ$ i $\alpha=18^\circ$ kada je z_1 u intervalu 20–50.

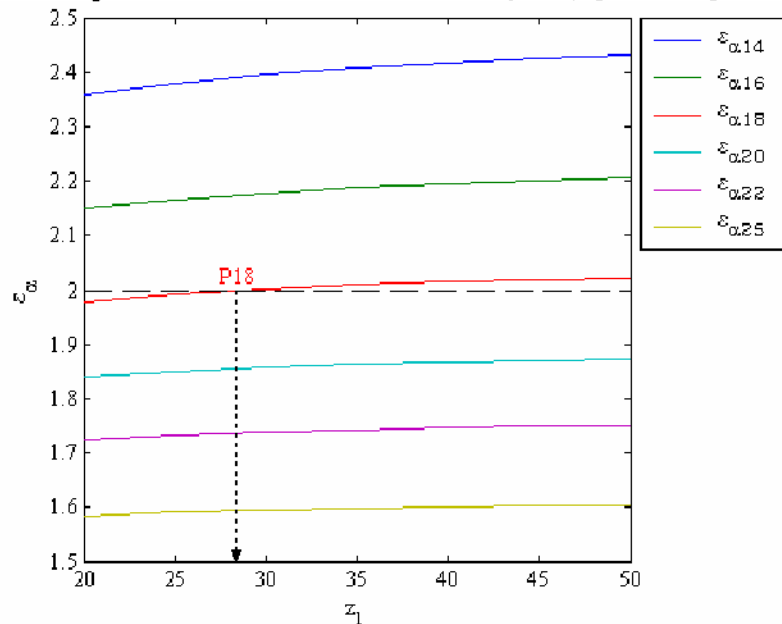
Stepen sprezanja profila zubaca se pri povećanju broja zubaca malog zupčanika z_1 od 20–50 povećava 4% za $\alpha=14^\circ$, 2% za $\alpha=20^\circ$ i 1% za $\alpha=25^\circ$. Pri povećanju broja zubaca velikog zupčanika z_2 od 50–500 stepen sprezanja profila zubaca se povećava 17% za $\alpha=14^\circ$, 10% za $\alpha=20^\circ$ i 7% za $\alpha=25^\circ$, s tim što se pri povećanju z_2 od 200–500 povećava 4% za $\alpha=14^\circ$, 2,5% za $\alpha=20^\circ$ i 2% za $\alpha=25^\circ$.

Kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca malog zupčanika negativni, a velikog zupčanika pozitivni, uticaj broja zubaca na stepen sprezanja profila je znatno manji u odnosu na slučaj kada su oba koeficijenta pomeranja profila zubaca pozitivna ili kada je koeficijent pomeranja profila zubaca malog zupčanika pozitivan, a velikog zupčanika negativan. Istovremeno, povećan je interval broja zubaca malog zupčanika kada se ostvaruje trostruka sprega. U ovom slučaju dobijene su najveće vrednosti stepena sprezanja profila zubaca. Povećan je i interval promene ugla nagiba profila alata kada se ostvaruje trostruka sprega zubaca.



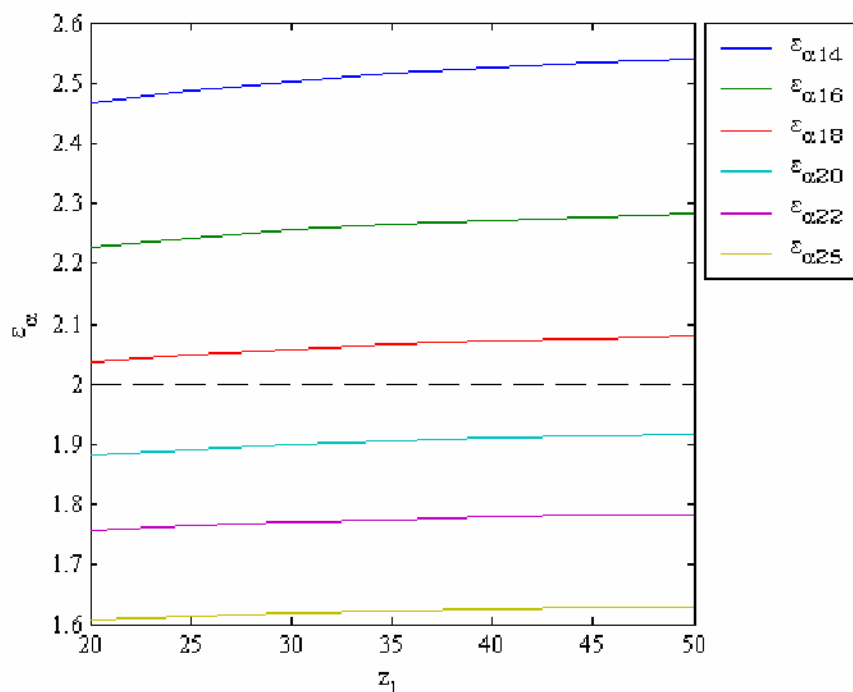
Slika 11 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=-0.5$, $x_2=0.5$ i $z_2=50$

Figure 11 – Transverse contact ratio for $x_1=-0.5$, $x_2=0.5$ and $z_2=50$



Slika 12 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=-0.5$, $x_2=0.5$ i $z_2=200$

Figure 12 – Transverse contact ratio for $x_1=-0.5$, $x_2=0.5$ and $z_2=200$



Slika 13 – Stepen sprezanja profila zubaca za $x_1=-0.5$, $x_2=0.5$ i $z_2=500$
 Figure 13 – Transverse contact ratio for $x_1=-0.5$, $x_2=0.5$ and $z_2=500$

Promena stepena sprezanja profila zubaca sa promenom koeficijenta visine zubaca

U radu (Li, 2008) analiziran je uticaj koeficijenta visine zubaca (y) na stepen sprezanja profila zubaca cilindričnih zupčastih parova. Analiza je sprovedena za dva zupčasta para, kada je kinematski prenosni odnos $u = 1$ i $u = 2$, i kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 = x_2 = 0$.

Kod obe prikazane varijante vidi se da se stepen sprezanja profila zubaca povećava sa povećanjem koeficijenta visine zubaca (tabele 1 i 2). Da bi se sagledao istovremeni uticaj koeficijenta visine zupca i oblika profila zubaca na stepen sprezanja profila zubaca, u radu su menjane vrednosti koeficijenta pomeranja profila zubaca, a rezultati su prikazani u tabelama 1 i 2. U tabeli 1 prikazane su vrednosti stepena sprezanja profila zubaca kada se u toku dodirnog perioda ostvaruje dvostruko-trostruka sprega zubaca. Vrednosti stepena sprezanja profila zubaca kada se postiže jednostruko-dvostruka, dvostruko-trostruka, trostruko-četvorostuka i četvorostuko-petostuka sprega, prikazane su u tabeli 2.

Tabela 1 – Stepen sprežanja profila zubaca za ugao nagiba profila alata $\alpha=20^\circ$
 Table 1 – Transverse contact ratio for the pressure angle $\alpha=20^\circ$

$z_1=50$ $z_2=100$	x_1 x_2	y			
		1.05	1.1	1.2	1.3
ε_α	0 0	2.18	2.27	2.45	2.63
	0.15 0.25	2.08	2.16	2.34	2.51
	0.25 0.15	2.06	2.15	2.33	2.50
	0.15 - 0.25	2.18	2.27	2.45	2.63
	- 0.25 0.15	2.23	2.32	2.50	2.68
	0.25 - 0.15	2.12	2.21	2.39	2.57
	- 0.15 0.25	2.17	2.26	2.44	2.62
	- 0.15 - 0.25	2.29	2.38	2.57	2.76
	- 0.25 - 0.15	2.30	2.40	2.58	2.77

Za oba para zupčanika u sprezi povećanje koeficijenta visine zubaca za 20% (na primer, sa $y=1$ na $y=1,2$) povećava stepen sprežanja profila zubaca približno za 15%. Za spregnuti zupčasti par kada je $z_1 = 94$ i $z_2 = 94$ povećanje koeficijenta visine zubaca za 50% (na primer, sa $y=1$ na $y=1,5$) povećava stepen sprežanja profila zubaca približno za 30%, a smanjenje koeficijenta visine zubaca za 50% (na primer, sa $y=1$ na $y=0,5$) smanjuje stepen sprežanja približno za 50%. Na osnovu toga može se zaključiti da je gradijent povećanja stepena sprežanja profila zubaca veći pri manjim vrednostima koeficijenta visine zubaca.

Kod oba zupčasta para u sprezi najveći stepen sprežanja profila zubaca dobija se kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 < 0$ i $x_2 < 0$, a najmanji kada su koeficijenti pomeranja profila zubaca $x_1 > 0$ i $x_2 > 0$, i njihova međusobna razlika iznosi oko 8–10%.

U svim slučajevima prikazanim u tabelama 1 i 2, stepen sprežanja profila zubaca je veći kada je $x_2 > x_1$, nego kada je $x_2 < x_1$. Stepen sprežanja profila zubaca, kod oba prikazana primera, opada sa porastom koeficijenata pomeranja profila zubaca x_1 i x_2 .

Takođe, može se primetiti da se stepen sprežanja profila zubaca, za slučaj kada su $x_1 > 0$ i $x_2 < 0$ ili kada su $x_1 < 0$ i $x_2 > 0$, veoma malo razlikuje od stepena sprežanja profila zubaca kad nema pomeranja profila zubaca $x_1 = 0$ i $x_2 = 0$. Ova razlika iznosi 2–4% za vrednosti stepena sprežanja profila zubaca koje su prikazane u tabeli 1, odnosno samo 1% za vrednosti koje su prikazane u tabeli 2. Time se još jednom potvrđuje da se najveće promene stepena sprežanja profila zubaca postižu kada su $x_1 < 0$ i $x_2 < 0$ ili kada su $x_1 > 0$ i $x_2 > 0$.

Tabela 2 – Stepen sprežanja profila zubaca za ugao nagiba profila alata $\alpha=14,5^\circ$
Table 2 – Transverse contact ratio for the pressure angle $\alpha=14,5^\circ$

$z_1=94$ $z_2=94$	x_1 x_2	y												
		0.5	0.6	0.8	0.85	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.875
ε_α	0 0	1.22	1.45	1.89	1.99	2.10	2.31	2.50	2.72	2.91	3.11	3.30	3.49	3.99
	0.15 0.25	1.15	1.37	1.79	1.89	1.99	2.20	2.39	2.59	2.78	2.97	3.16	3.34	3.83
	0.25 0.15	1.15	1.37	1.79	1.89	1.99	2.20	2.39	2.59	2.78	2.97	3.16	3.34	3.83
	0.15 -0.25	1.23	1.46	1.90	2.01	2.12	2.33	2.54	2.74	2.94	3.14	3.33	3.52	4.03
	-0.25 0.15	1.23	1.46	1.90	2.01	2.12	2.33	2.54	2.74	2.94	3.14	3.33	3.52	4.03
	0.25 -0.15	1.20	1.42	1.86	1.96	2.07	2.27	2.48	2.68	2.87	3.07	3.26	3.44	3.95
	-0.15 0.25	1.20	1.42	1.86	1.96	2.07	2.27	2.48	2.68	2.87	3.07	3.26	3.44	3.95
	-0.15 -0.25	1.28	1.52	1.98	2.09	2.20	2.42	2.63	2.84	3.05	3.25	3.45	3.64	4.16
	-0.25 -0.15	1.28	1.52	1.98	2.09	2.20	2.42	2.63	2.84	3.05	3.25	3.45	3.64	4.16

Zaključak

Sprovedena analiza je pokazala da se variranjem parametara zupčastog para mogu menjati vrednosti stepena sprežanja profila zubaca, odnosno uticati na broj istovremeno spregnutih zubaca u prenošenju ukupnog opterećenja zupčastog para.

Većim vrednostima broja zubaca spregnutih zupčanika, odnosno većim vrednostima kinematskog prenosnog odnosa odgovaraju veće vrednosti stepena sprežanja profila zubaca. Nasuprot tome, manjim vrednostima ugla nagiba profila alata odgovaraju veće vrednosti stepena sprežanja profila zubaca. Pri tome, gradijent uticaja broja zubaca i ugla nagiba profila alata na stepen sprežanja profila zubaca zavisi od vrednosti koeficijenta pomeranja profila zubaca. Ovaj gradijent je najveći kada su vrednosti koeficijenta pomeranja profila zubaca malog i velikog zupčanika negativne.

Negativnim vrednostima koeficijenta pomeranja profila zubaca malog zupčanika i pozitivnim vrednostima kod velikog zupčanika dobija se najmanji gradijent uticaja broja zubaca i ugla nagiba profila alata na stepen sprežanja profila zubaca. Istovremeno, pri ovoj kombinaciji koeficijenta pomeranja profila zubaca dobijaju se najveće vrednosti stepena sprežanja profila zubaca.

Sprovedena analiza je pokazala da se variranjem broja zubaca zupčastog para, ugla nagiba profila alata i koeficijenta pomeranja profila ne mogu ostvariti vrednosti stepena sprežanja profila zubaca veće od tri. To znači da se u toku dodirnog perioda može ostvariti samo dvostruka i trostruka sprega zubaca. Za postizanje četvorostruke sprege zubaca potrebno je menjati koeficijent visine zupca.

Literatura

Imrek, H. 2009. Width modification for gears with low contact ratio. *Meccanica*, 44(5), pp. 613-621.

Li, S. 2008. Effect of addendum on contact strength, bending strength and basic performance parameters of a pair of spur gears. *Mechanism and Machine Theory*, 43(12), pp. 1557-1584.

Ognjanović, M. 2011. *Mašinski elementi*. Beograd: Mašinski fakultet.

Rosić, B. 2003. *Planetarni prenosnici - unutrašnji cilindrični parovi*. Beograd: Mašinski fakultet.

Ristivojević, M. 1985. *Analiza raspodele opterećenja na istovremeno spregnute parove zubaca sa primenom na čvrstoću podnožja zupca zupčanika*. Beograd: Mašinski fakultet. Magistarski rad.

Ristivojević, M., & Mitrović, R. 2002. *Raspodela opterećenja - zupčasti parovi i kotrljajni ležaji*. Beograd: Mašinski fakultet.

Ristivojević, M. 2005. *Zupčanici 1 - kinematika i kontrola*. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.

INFLUENCE OF THE CYLINDRICAL GEAR PAIRS PARAMETERS TO THE TRANSVERSE CONTACT RATIO

FIELD: Mechanical Engineering
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

In the field of transmission and power transformation from the power engine to the working machine, gear pairs, are mostly used in mechanical engineering due to their compactness of the structure, high reliability and capacity. One way of improving the performance characteristics of gear pairs, and thus the gear transmitters, is to increase the number of simultaneously meshed pairs of teeth, or increasing the transverse contact ratio. To this end, this paper analyzes in detail the partial and simultaneous influence of the number of teeth and tooth profile shapes, moving through shifting coefficient and pressure angle, to the number of simultaneously meshed pairs of teeth. The obtained results allow us to define the optimum parameters of cylindrical gear pairs, in terms of the size of the transverse contact ratio.

Introduction

The kinematic indicator of the existence of the transmitting continuity of a rotary movement is the total contact ratio. In order to achieve the transmitting continuity of a rotary movement, the total contact ratio must be higher than one.

Based on the total contact ratio, the information on the number of simultaneously meshed pairs of the teeth which rotate during the contact period is obtained. For example, if the $1 < \varepsilon_v < 2$ – one and two pairs of teeth alternately take turn, and if the $2 < \varepsilon_v < 3$ – two and three pairs of teeth alternately take turn, etc. It should be noted that the $\varepsilon_v > 1$ is a necessary but not sufficient condition for achieving multiple meshes. The next condition to meet is the compatibility between the accuracy of teeth production, the teeth rigidity and the intensity of the total load of the teeth pair.

The influence of the addendum coefficient on the transverse contact ratio is shown in the paper (Li, 2008). It is shown that changes in the

shifting coefficient and gear ratio can achieve the transverse contact ratio value higher than four. The paper (Imrek, 2009) showed that the appropriate structural solution of the form of the teeth of spur gears can achieve a double mesh of the teeth at all points of the length of the line of action, when the value of the transverse contact ratio is less than two.

The mathematical model of the transverse contact ratio

This section presents a mathematical model (equations from 1 to 4) and the algorithm (Fig. 1) to determine the transverse contact ratio.

The effect of the pressure angle and the number of teeth on the transverse contact ratio

This section analyzes the effect of the pressure angle and the number of the teeth meshed on the transverse contact ratio using equation 4. Figs. 2, 3 and 4 show the effect of the pressure angle and the number of the teeth meshed on the size of the transverse contact ratio when the shifting coefficient $x_1 = 0$ and $x_2 = 0$, and when the number of the teeth on the pinion z_1 is in the interval from 20–50.

The analysis shows that the influence of the number of the teeth on the transverse contact ratio is much more pronounced at smaller values of the pressure angle.

It can be concluded that the transverse contact ratio increases with the number of teeth and with a reduction in the pressure angle. The gradient of enhancement of the transverse contact ratio is more expressed at lower values of the gear ratio and at lower pressure angles.

The effect of the pressure angle, the number of teeth and the shifting coefficient on the transverse contact ratio

This section analyzes the effect of the pressure angle, the number of teeth meshed and the shifting coefficient on the transverse contact ratio using equation 3.

Shifting coefficients $x_1 = x_2 = 0.5$

This section shows the influence of the pressure angle and the number of the teeth meshed on the size of the transverse contact ratio when the shifting coefficients are $x_1 = x_2 = 0.5$ and when the number of the teeth on the pinion z_1 is in the interval from 20–50 (Figs. 5, 6 and 7).

The influence of the number of the teeth on the transverse contact ratio is significantly higher when the shifting coefficients are higher than zero, but at the same time the value of the transverse contact ratio is lower.

Shifting coefficients $x_1 = 0.5$ and $x_2 = -0.5$

This section shows the influence of the pressure angle and the number of the teeth meshed on the size of the transverse contact ratio when the shifting coefficients are $x_1 = 0.5$ and $x_2 = -0.5$ and when the number of the teeth on the pinion z_1 is in the interval from 20–50 (Figs. 8, 9 and 10).

When the shifting coefficients of the pinion are positive and the shifting coefficients of the gear are negative, the influence of the number of the teeth on the transverse contact ratio is lower than in the case when both shifting coefficients are positive. At the same time, the interval number of the teeth of the pinion is increased, when the triple mesh is achieved. Also, the value of the transverse contact ratio is increased.

Shifting coefficients $x_1 = 0.5$ and $x_2 = 0.5$

This section shows the influence of the pressure angle and the number of the teeth meshed on the size of the transverse contact ratio when the shifting coefficients are $x_1 = -0.5$ and $x_2 = 0.5$, and when

the number of the teeth on the pinion z_1 is in the interval from 20 – 50 (Figs. 11, 12 and 13).

When the shifting coefficients of the pinion are negative and the shifting coefficients of the gear are positive, the influence of the number of the teeth on the transverse contact ratio is much lower compared to the case when both coefficients are positive or when the shifting coefficient of the pinion is positive, a the gear's one is negative. At the same time, the interval number of the teeth of the pinion is increased, when the triple mesh is achieved. In this case, the highest values of the transverse contact ratio were obtained. The interval of the pressure angle was increased when the triple mesh of the teeth is achieved.

The change of the transverse contact ratio by changing the addendum coefficient

The paper (Li, 2008) analyzed the impact of the addendum coefficient (y) on the transverse contact ratio of the cylindrical gear pair. The analysis was conducted for two gear pairs, when the gear ratio $u = 1$ and $u = 2$, and when the shifting coefficients $x_1 = x_2 = 0$.

What was shown in both variants is that the transverse contact ratio increases with the growth of the addendum coefficient. To perceive the simultaneous influence of the addendum coefficient and the shape of teeth profiles on the transverse contact ratio, the shifting coefficient was changed in the paper, and the results are shown in Tables 1 and 2.

Conclusion

Higher values of the number of teeth meshed gears and higher values of the gear ratio correspond to higher values of the transverse contact ratio. In contrast, the lower values of the pressure angle correspond to higher values of the transverse contact ratio. Thereby, the gradient of the influence of the number of teeth and the pressure angle on the transverse contact ratio depends on the value of the shifting coefficient. This gradient has the highest value when the shifting coefficients of the pinion and the gear are negative.

The negative values of the shifting coefficient of the pinion and the positive values of the shifting coefficient of the gear cause the smallest gradient influence of the number of teeth and the pressure angle on the transverse contact ratio. At the same time, the combination of shifting coefficients causes the highest value of the transverse contact ratio.

The analysis has shown that by varying the number of teeth of the gear pair, the pressure angle and the shifting coefficient, the value of the transverse contact ratio higher than three cannot be accomplished. This means that during the contact period only a double and triple mesh of teeth can be achieved. For achieving the quadruple mesh of teeth, it is necessary to change the addendum coefficient.

Key words: spur gears, mesh of teeth, contact ratio.

Datum prijema članka/Paper received on: 24. 01. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 14. 02. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 16. 02. 2014.

PREGLEDNI ČLANCI REVIEW PAPERS

DALJINSKA OPAŽANJA PRIRODNIH POJAVA

Miodrag D. Regodić^a, Željana Ž. Benić^b

^a Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Katedra prirodno-matematičkih nauka, Beograd

^b Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet,
Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

DOI: 10.5937/vojtehg62-5074

OBLAST: geonauke

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

Sažetak:

Oduvek postoji realna potreba za neposrednim opažanjem i proučavanjem pojava čije dimenzije prelaze gornju granicu ljudskih mogućnosti. Iz potrebe da se dobiju novi podaci, da osmatranja i izučavanja budu objektivnija od dosadašnjih sinteza, prihvaćen je novi istraživački metod – daljinska detekcija. U radu su predstavljeni principi i elementi daljinske detekcije, kao i osnovni aspekti primene daljinskih istraživanja pri istraživanjima meteoroloških parametara i stanja atmosfere. Primena satelitskih snimaka moguća je u svim fazama globalnog i sistematskog istraživanja različitih prirodnih pojava. Pri tim istraživanjima koriste se aero i satelitski snimci različitih osobina, a analiza i interpretacija sprovodi se vizuelnim i računarski podržanim postupcima.

Ključne reči: praćenje, atmosfera, sateliti, daljinska detekcija, snimanje.

Uvod

Više od 40 godina nebo nad Zemljom presecaju putanje brojnih satelita. Za to vreme satelitski snimci su našli primenu u mnogim ljudskim delatnostima. Sateliti mogu odjednom snimiti velika područja Zemljine površine, što omogućava sagledavanje i proučavanje Zemlje kao jedinstvene celine. Daljinska detekcija Zemlje omogućava posmatranje i proučavanje globalnih i lokalnih zbivanja na njoj.

Satelitski snimci danas se koriste u geologiji, poljoprivredi, šumarstvu, geodeziji, meteorologiji, prostornom i urbanističkom planiranju, projektovanju infrastrukture i drugih građevinskih objekata, zaštite od prirodnih i tehnoloških katastrofa itd.

Narednih godina možemo očekivati ubrzane promene čovekove okoline, kao što su globalno zagrevanje, porast nivoa mora, uništavanje pojedinih biljnih i životinjskih vrsta, kisele kiše, ozonska praznjenja itd. Informacije koje bi ukazivale na vreme kada će se te promene dogoditi, kao i interval trajanja ovakvih promena, uzroci i posledice tih promena, bile bi od velikog značaja za čovečanstvo. Da bi se dobile ovakve informacije, a pomoću njih omogućilo predviđanje i upravljanje ovim pojavama, neophodno je globalno sagledavanje Zemlje, koje nam omogućuju satelitski snimci (Regodić, 2008abc), (Sekulović, Regodić, Živković, 2010).

U ovom radu uopšteno su objašnjeni principi daljinske detekcije, satelitskih sistema, mogućnosti i postupci primene snimanja iz svemira pri praćenju prirodnih pojava, kao i neki praktični primeri i opisi satelitskih snimaka iz ovih oblasti.

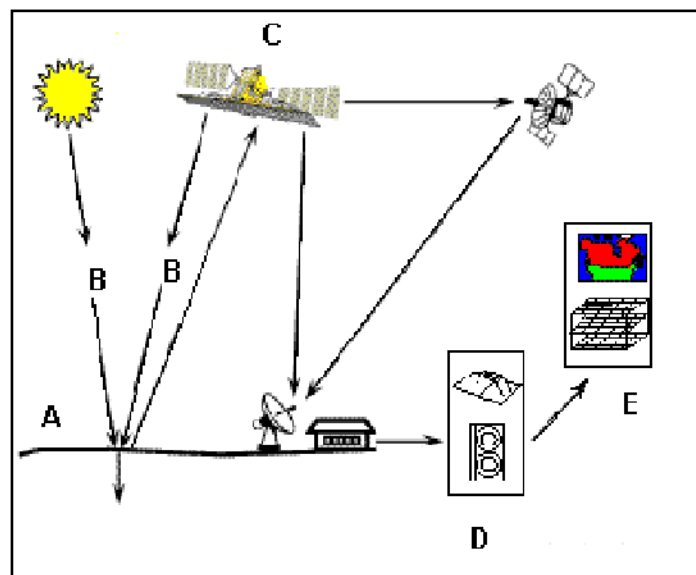
Osnove daljinske detekcije

Daljinska detekcija je metoda prikupljanja i interpretacije informacija o udaljenim objektima bez fizičkog dodira s objektom. Naziv daljinska detekcija je slobodni prevod engleskog termina Remote Sensing. Francuski prevod ovog termina je Teledetection, nemački Fernerkundung, a ruski дистанционное исследование. Kod nas se koriste i sledeći termini: daljinska opažanja, daljinska istraživanja, teledetekcija, daljinski metodi, distanciona istraživanja.

Početak istorije daljinske detekcije obeležio je nastanak klasične fotografije iz 1839. godine i rad francuza Dagera (Daguerre). Najpogodniju definiciju daljinske detekcije dala je Evelin Pruitt (Evelyn Pruitt) 1960. godine koja je rekla da: „Daljinska detekcija predstavlja metod prikupljanja informacija putem sistema koji nisu u direktnom, fizičkom kontaktu sa ispitivanom pojavom ili objektom” (Pavlović, Čupković, Marković, 2001).

„Za naučnike, međutim, daljinska istraživanja predstavljaju snimanje i merenje elektromagnetne energije (EME), reflektovane, apsorbirane ili emitovane od Zemljine površine, te dovođenje u vezu podataka merenja s prirodnim svojstvima objekata i pojava na Zemljinoj površini i u atmosferi. Uopšteno daljinska istraživanja uključuju sve aktivnosti od snimanja, procesiranja, analiziranja, interpretiranja, do dobijanja korisnih informacija iz podataka prikupljenih tim istraživanjima” (Pavlović, Čupković, Marković, 2001).

Osnovni elementi koji učestvuju u postupku daljinske detekcije su: objekat, elektromagnetna energija, senzor, platforma, snimak, analiza, interpretacija i informacija (podatak).



Slika 1 – Osnovni elementi daljinske detekcije
Figure 1 – Basic elements of remote sensing

- objekat – predmet istraživanja/object – subject of research – A,
- elektromagnetna energija/electromagnetic energy – B,
- senzor, platforma/sensor, platform – C,
- snimak, analiza,/image, analysis
- interpretacija/interpretation – D,
- informacija za upotrebu – obrađeni podatak daljinske detekcije (information-Remote Sensing data) – E.

Primena satelitskih daljinskih istraživanja pri praćenju prirodnih pojava

Daljinska detekcija omogućava globalno sagledavanje Zemlje, a samim tim i promena koje se dešavaju na Zemlji. Te promene mogu biti izazvane prirodnim ili antropogenim delovanjem. Snimci načinjeni daljinskom detekcijom pomogli su čoveku da bolje koristi svoju okolinu i prirodne resurse, a sa razvojem novih tehnologija očekuje se i proširenje primene satelitskih snimaka za dobrobit čovečanstva. Osim kopnenih područja Zemlje od izuzetne je važnosti i satelitsko praćenje procesa koji se dešavaju u Zemljinoj unutrašnjosti, a koji mogu uzrokovati različite katastrofe, kao što su zemljotresi, vulkanske erupcije, poplave itd.

Primena podataka dobijenih daljinskom detekcijom je multidisciplinarna i multidimenzionalna, a najčešće se odnosi na:

- ispitivanje i procenu obnovljivih resursa,
- praćenje promena Zemljinog pokrivača,
- praćenje vodenih resursa,
- monitoring i procena stanja zagađenosti,
- monitoring stanja vegetacije i šuma,
- procenu klimatskih faktora,
- primenu u geološkim i geobotaničkim problemima,
- procenu mineralnih i energetskih sirovina (neobnovljivi resursi),
- studije prirodnih katastrofa, kao što su: zemljotresi, vulkani, požari, poplave i dr.,
- proučavanje katastrofa izazvanih antropogenim delovanjem.

Daljinskom detekcijom mogu se pratiti pozitivne (progradacija) promene u životnoj sredini (sanacija, rekultivacija, revitalizacija) i negativne (različite vrste degradacija). Detaljnom analizom spektralnih snimaka vrši se determinisanje promena u životnoj sredini.

Primena satelitskih snimaka pri praćenju atmosferskih pojava

Lansiranjem veštačkih Zemljinih satelita otvorile su se nove mogućnosti opažanja i proučavanja atmosferskih pojava. Ovi podaci postali su nezaobilazni u meteorologiji. Do sada je lansiran veliki broj meteoroloških satelita (Nimbus, Meteor, SNS, ESSA, Meteosat, Terra i dr.). Oni mogu biti geostacionarni i polarno-orbitalni. Za pokrivanje ukupne Zemljine površine za posmatranje promena u atmosferi potrebno je najmanje 5 satelita u radu. Najčešće korišćeni senzor u meteorološkim satelitima je radiometar nazvan AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) sa rezolucijom od 1 m, koji meri zračenje u 5 intervala spektra.

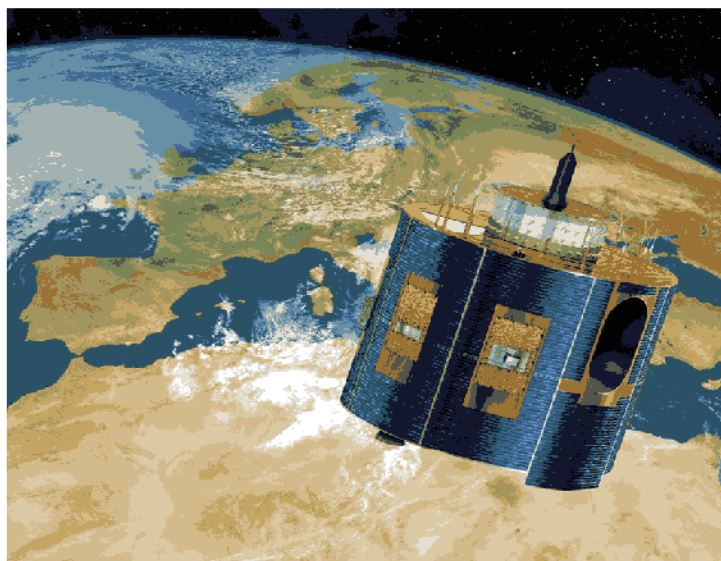
U kanalima 1 i 2 snimanje je u vidljivom delu spektra, a dobijeni snimci služe za dobijanje dnevnog snimka oblaka, kao i razdvajanje vodenih i kopnenih područja. Snimci dobijeni snimanjem u kanalu 3, u reflektujućem infracrvenom delu spektra, služe za dobijanje noćne slike oblaka i računanje temperature površine vode. Snimci načinjeni u kanalima 4 i 5 su u infracrvenom termalnom delu spektra i koriste se za dobijanje noćne slike oblaka, određivanje temperature površine vode i temperature vrhova oblaka.

Na osnovu ovih snimaka sinoptičari dobijaju informacije o osobinama oblaka koje se odnose na stanje temperature, temperature oblačnog sloja, stepen oblačnosti, profile sadržaja vlage, parametre vetra, a osnovnu primenu nalaze u prognozi vremena.

Sateliti meteosat

„Meteosat je prvi evropski geostacionarni satelit namijenjen za meteorološka ispitivanja” (Karsten, J., 2002). Prvi satelit lansiran je 1977. godine u organizaciji Evropske svemirske agencije (ESA). Lansiran je u geostacionarnu putanju na visinu 36 000 km. U narednih deset godina lansirano je još 6 Meteosat satelita pod nazivima: Meteosat 2, Meteosat 3, Meteosat 4, Meteosat 5, Meteosat 6, Meteosat 7. Pomoću ovih satelita vršila su se snimanja u vidljivom i bliskom IC delu spektra, infracrvenom termalnom i kanalu vodene pare. Razlučivost snimaka iznosila je 2,5 km i 5 km i snimci su se mogli dobiti svakih 30 minuta. Na osnovu njih mogli su se dobiti podaci kao što su: visina oblaka, prostiranje i kretanje oblaka, temperature površine mora, brzina vetra, distribucija vodenih para, bilansa radijacije i dr. Od 1986. godine sateliti iz serije Meteosat nalaze se pod kontrolom međunarodne organizacije EUMETSAT-a (European Organisation for the Exploration of Meteorological Satellites) koju čini 17 evropskih zemalja i tri pridružene zemlje.

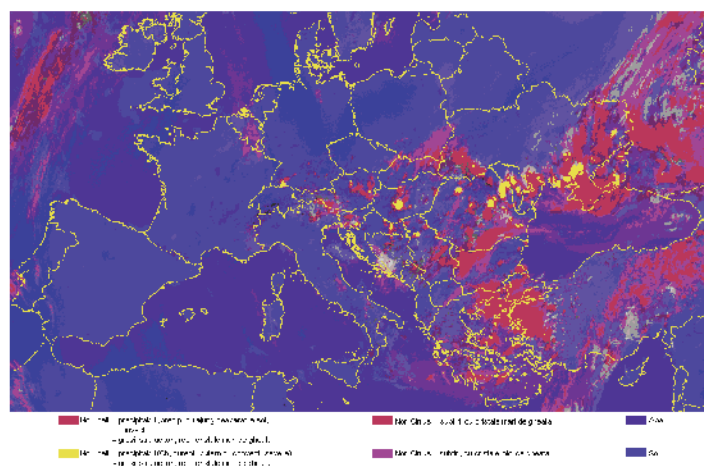
METEOSAT-II (MSG) kontinuirano nastavljaju rad satelita iz serije Meteosat. Ovim satelitima omogućeno je dobijanje snimaka svakih 15 minuta u 12 spektralnih područja. Sateliti iz ove generacije prikupljaju podatke iz oblasti meteorologije, geofizike i okeanografije u vidljivom i infracrvenom delu spektra.



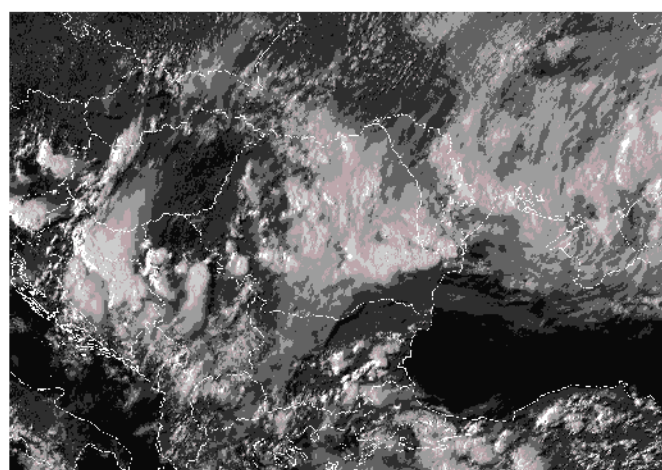
Slika 2 – MSG satelit
Figure 2 – MSG satellite

U nastavku će biti opisan razvoj olujnog nevremena koje je zahvatilo Balkan 24. maja 2012. godine i kako je to izgledalo iz svemira. Naime, tog dana je iznad Balkana bilo prisutno sve što je potrebno za razvoj oluj-

nog nevremena: nestabilna vazдушna masa, velika količina vlage, ciklonska kretanja i jutarnja vrućina. Posle dva dana kiše i hladnog vremena, 24. ujutru, kiša je prestala i oblaci su počeli da se razilaze. Sunce je počelo da greje i u nekoliko sati temperatura je porasla. Od 6 do 12 UTC temperatura u Banjoj Luci porasla je sa 17°C na 26°C. Sa velikom vlagom u vazduhu i vrućinom kao okidačem oluja je počela veoma brzo. U 10 UTC prva ćelija je formirana u severnom delu RS, u Hrvatskoj i u Srbiji. U nekoliko narednih časova oluja je nastavila da se razvija i u 11 UTC bilo je puno ćelija, kao što se može videti na setelitskom snimku.



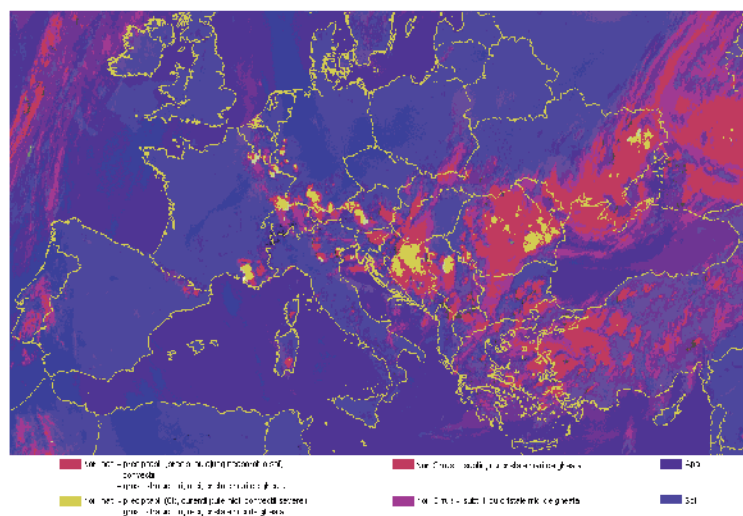
Slika 3 – Satelitski snimak MSG RGB za duboku konvekciju
Figure 3 – MSG RGB satellite image for intense convection



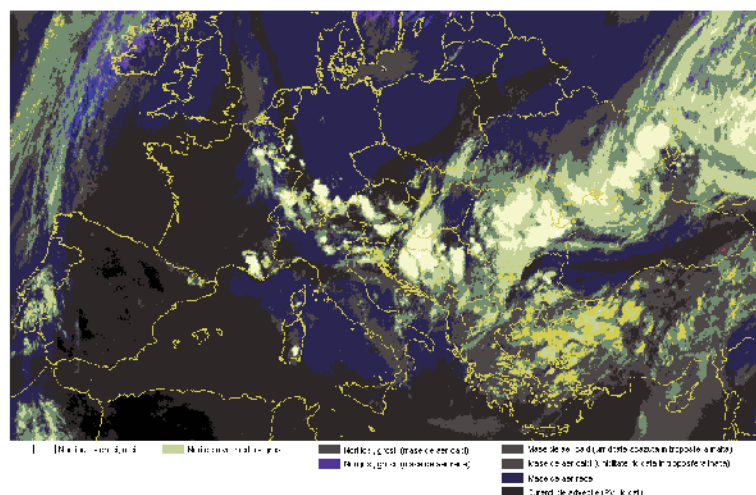
Slika 4 – Satelitski snimak MSG1 visoke rezolucije
Figure 4 – MSG1 satellite image of high resolution

Prvi primer predstavlja MSG RGB satelitski snimak za duboku konvekciju. Žuta boja označava grad (zapadna Srbija, Rumunija i Hrvatska). Drugi primer označava satelitski snimak MSG1 visoke rezolucije u 11 UTC.

Oluja je nastavila da se razvija i između 14 i 15 UTC analizirana oluja je bila jača. U to vreme padao je grad na severu i istoku RS, u Hrvatskoj i u Srbiji. Na satelitskom snimku snimljenom u 14:15 UTC može se videti kako je oluja izgledala (slike 5, 6, 7).

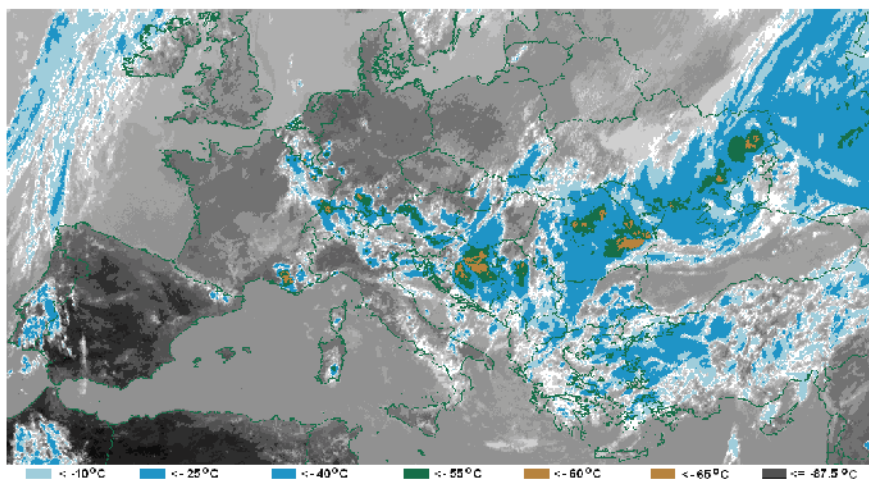


Slika 5 – Satelitski snimak MSG1 RBG u 14:15 UTC
Figure 5 – MSG1 satellite image at 2.15 pm UTC



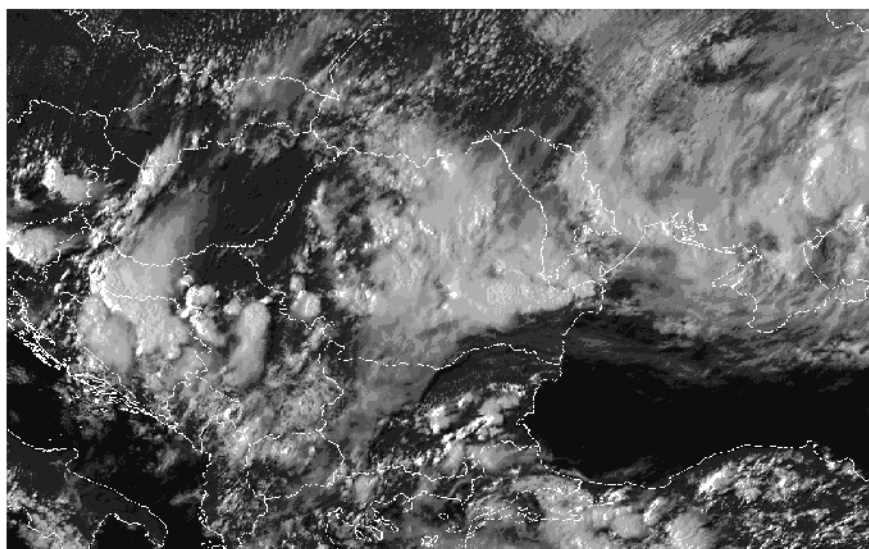
Slika 6 – Satelitski snimak MSG1 RGB za vazдушnu masu PV horizontalno kretanje vazduha
Figure 6 – MSG1 RGB satellite image of the aerial mass PV for the horizontal movement of the air

Na ovom snimku vidi se PV horizontalno kretanje vazduha oko severnog dela Srbije i Panonske nizije, koje pokazuje opadajuće kretanje vazduha sa viših slojeva u niže, u ovom regionu.



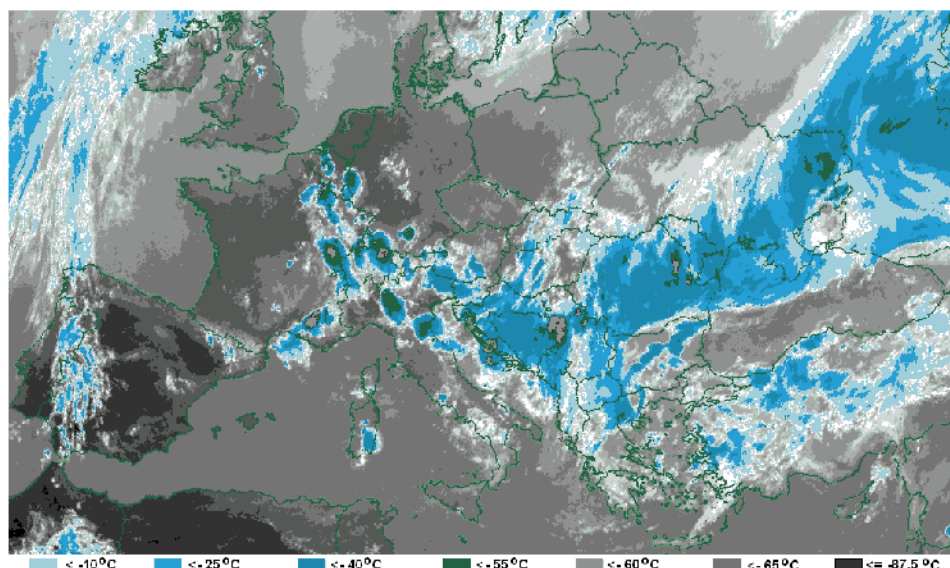
Slika 7 – Satelitski snimak MSG1 RGB za temperaturu oblaka
Figure 7 – MSG1 RGB satellite image of the cloud temperature

Na ovom snimku žuta boja označava temperaturu oblaka oko -60°C, što znači da je temperature vrha oblaka u severnom delu RS bila oko -60°C.



Slika 8 – Satelitski snimak MSG1 u 14:15 UTC
Figure 8 – MSG1 satellite image at 2.15 pm UTC

Nove konvektivne ćelije počele su da se razvijaju, a posle podne oluja je dostigla zrelu (završnu) fazu.



Slika 9 – Satelitska snimak MSG1 RGB za temperaturu oblaka u 17 UTC
Figure 9 – MSG1 RGB satellite image of the cloud temperature at 5 pm UTC

U kasno posle podne oluja je dostigla slojeviti oblik sa velikim padavinama u istočnom delu RS i zapadnoj Srbiji (oko reke Drine). Oko Drine je tada pala najveća količina kiše (od 60 do 80 l/m²).

Može se zaključiti da su satelitski snimci osnova za predviđanje vremenskih prilika, praćenje, a samim tim i pravovremeno reagovanje da bi se sprečile ljudske žrtve i materijalne štete.

Primena satelitskih snimaka pri praćenju poplava

Za praćenje i ispitivanje poplava najpogodniji su satelitski snimci, a posredno se na ovaj način može i upravljati plavnim područjima. Poplave se javljaju svuda i nose niz problema sa kojim se čovek susreće. Statistika kaže da su za samo 5 godina polave pogodile 185 miliona ljudi, pri čemu su odnele i veliki broj ljudskih žrtvi, oko 30 000 ljudi je poginulo. Naročito su ugrožena gusto naseljena područja u dolinama velikih reka, gde poplave prouzrokuju velike katastrofe, kao što su velike ljudske žrtve i materijalna šteta (Regodić, 2010ab).

Dobijanjem snimaka plavnih područja mogu se projektovati sistemi koji predviđaju elementarne nepogode na osnovu periodičnog posmatra-

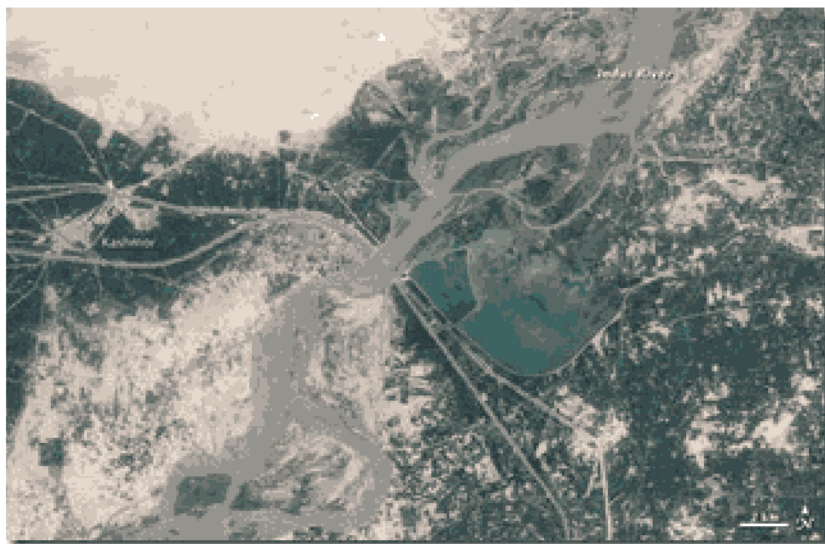
nja plavne zone i stvoriti uslovi za zaštitu od poplava. Na primer, na Plavom Nilu (Egipat) izgrađen je sistem za rano upozoravanje o poplavama. To je bio prvi operativni sistem u svetu u kojemu su satelitski snimci METEOSAT korišćeni za procenu ranih padavina u slivnom području razmatranog terena. Korišćenjem ovih snimaka, sa izradom matematičkog modela, toka padavina i rutinskih modela o toku za Plavi Nil, pomoglo je za produženje vremena potrebnog za rano upozorenje od poplava i preduzimanje preventivnih mera sa 3 na 6 dana, čime bi se ostvarili uslovi za moguće preduzimanje zaštitnih mera.

Takođe, imamo primer velike poplave sa kojom se susrelo stanovništvo Pakistana 12. avgusta 2010. godine. Prvi satelitski snimak (slika 10) prikazuje poplavu u blizini Kashmora u Pakistanu, nešto pre drugog poplavnog talasa. Sledeći satelitski snimak prikazuje isto područje godinu dana ranije, tj. 9. avgusta 2009. godine. Poplavni talas reke Indus je prekrrio veći deo grada Khewali i okolnih farmi.



Slika 10 – Stanje posle poplave u Pakistanu
Figure 10 – After flood state in Pakistan

Dakle, može se zaključiti da satelitski snimci predstavljaju polaznu osnovu za sprečavanje velikih katastrofa nastalih usled poplava. Na osnovu njih može se upravljati plavnim područjima pre, za vreme i posle poplava. To omogućava prevenciju, prognoziranje, detekciju, otklanjanje posledica, odnosno nastalih šteta. Satelitski snimci su od velike koristi i nakon povlačenja vode, za procenu štete i saniranje posledica.



Slika 11 – Reka Ind, stanje pre poplave
Figure 11 – The Indus River, before the flood

Kombinacija radara i optičkih senzora može biti veoma korisna, budući da radarski snimci prikazuju realno stanje poplave već unutar dva dana od narudžbe snimaka, bez obzira na moguće loše meteorološke uslove. Optički snimci, koji se razlikuju od radarskih, bilo da su arhivirani ili novodobijeni, koriste se za izradu karata korišćenja zemljišta, kao ulazni podaci za izradu modela erozijske osetljivosti (Karsten, 2002).

Glavni cilj daljinske detekcije je zaštita i izgradnja sistema za prevenciju od poplava, pri čemu se koristi ogleda u:

- modelovanju i predviđanju poplava,
- prikupljanju podataka i informacija za sistem upravljanja,
- prikupljanju informacija za prepoznavanje pokazatelja iznenadnih poplava, što omogućava preduzimanje zaštitnih mera i definisanje područja rizika (Regodić, Sekulović, Živković, 2010).

Iz satelitskih snimaka izrađuju se satelitske karte (1:100 000, 1:50 000) za celokupno poplavljeno područje. Kartiranje poplavljenih područja i analiza promena nastalih usled poplave, kao i proučavanje slivnog područja, te meteoroloških prilika pre, za vreme i posle poplave može dati celovitu sliku o uzrocima i posledicama poplave.

Karakteristike satelitskih snimaka koje ih čine pogodnim za primenu pri praćenju poplavljenih područja su:

- prostorna rezolucija,
- mogućnost ponovnog snimanja istog područja,
- dobijanje snimaka i
- ekonomičnost.

Primena satelitskih snimaka kod zemljotresa

Daljinska detekcija našla je široku primenu u postupku detektovanja i pozicioniranja zemljotresa, prirodne pojave koja takođe izaziva velike nesreće i materijalne štete. Zemljotresi se mogu detektovati kombinacijom geofizičkih metoda sa multispektralnim i radarskim snimcima. Kombinacijom ovih metoda može se pratiti stanje trusnih područja. Dobijeni podaci mogu se računarski obraditi i spojiti sa informacionim centrima u stacioniranim stanicama, na osnovu čega se vrši modelovanje terena zahvaćeno zemljotresom.

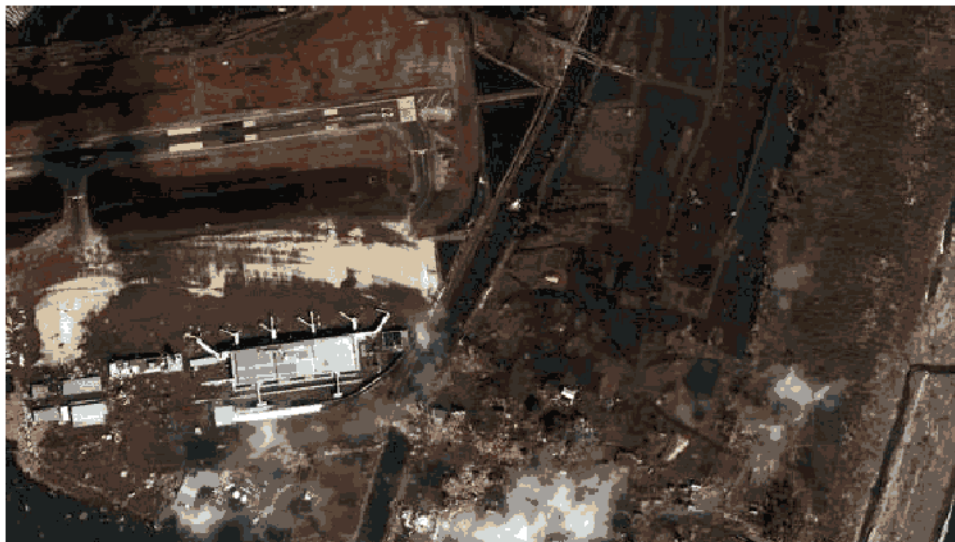
Jedna od najvećih prirodnih katastrofa s kojom se susrelo čovečanstvo je zemljotres u Japanu, koji se desio 11. marta 2011. godine, s magnitudom 9,0 Mw. Njegov epicentar bio je u Tihom okeanu, oko 130 km istočno od japanskog grada Sendaija, a rezultirao je katastrofalnim cunamijem. Ova katastrofa odnela je velike ljudske žrtve i uzrokovala ogromnu materijalnu štetu.

Posledica ovog zemljotresa je podvlačenje tihookeanske tektonske ploče pod , što je pomerilo istočni deo Japana prema Severnoj Americi za oko 3,9 metara. Zemljotres je zaokrenuo Zemljinu osu za 16,5 cm, skratio dan za 1,6 mikrosekundi, a Japan je potonuo za oko 61 cm. Kada je japanska istočna obala potonula, na nju su nasmuli talasi cunamija. Zemljina masa se pomerila prema centru, povećavši zaokretni moment planeta, što je dovelo do skraćanja dana. Pored navedenih problema, zemljotres i cunami prouzrokovali su velike probleme u nuklearnoj elektrani Fukušima, što je dovelo i do nuklearne katastrofe.

Za proučavanje ove katastrofe koristili su se satelitski snimci na kojima se vide deformacije nastale usled zemljotresa.



Slika 12 – Aerodrom Sendai pre katastrofe
Figure 12 – The Sendai airport before the catastrophe



Slika 13 – Aerodrom Sendai posle katastrofe
Figure 13 – The Sendai airport after the catastrophe

Satelitski snimci mogu se koristiti i za procenu trenutnog stanja na određenim prostorima, koje su pretrpele određena razaranja. Komparacijom ova dva snimka mogu se utvrditi posledice nastale usled razornog zemljotresa u Japanu.

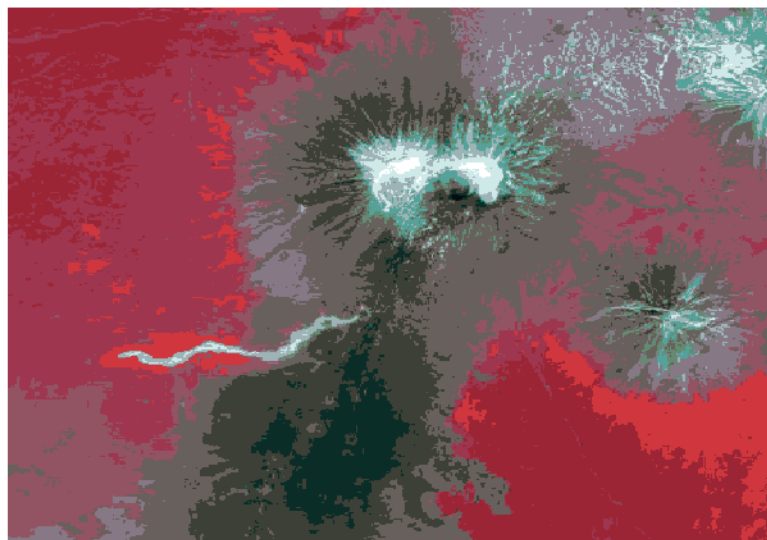
Primena satelitskih snimaka pri praćenju vulkana

Vulkani se nalaze na kopnu i pod morem, a svojim delovanjem uzrokuju velike promene u životnoj sredini. Utiču na oblikovanje geografskih struktura, povećanje temperature, promene vrste tla, uništavanje biljnog i životinskog sveta itd. Mogu biti aktivni i neaktivni, u zavisnosti od erupcija i tektonskih aktivnosti u njihovoj neposrednoj blizini.

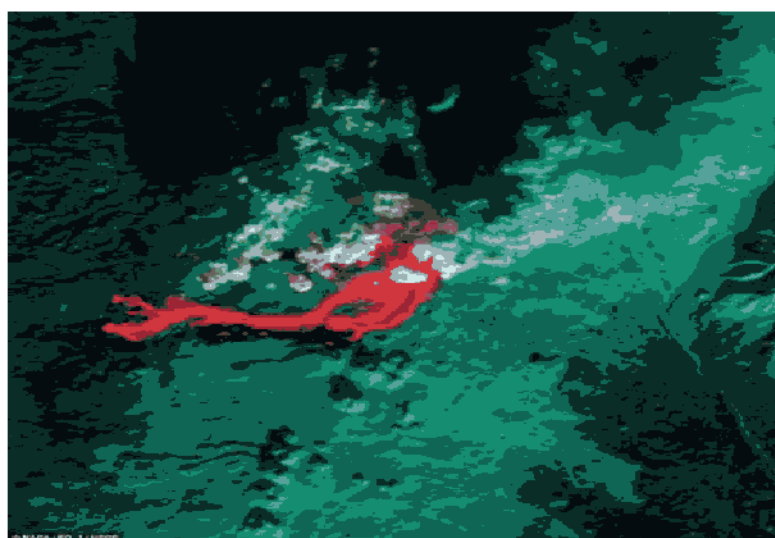
Aktivni vulkani svojim delovanjem odnose velike ljudske i materijalne žrtve. Daljinskom detekcijom ispitan je veliki broj aktivnih vulkana. Snimanja se vrše nekoliko puta, u toku i nakon erupcije. Modelovanjem područja zahvaćenog vulkanima mogu se definisati zone izlivanja lave, zone potencijalne opasnosti, na osnovu čega se vrši definisanje zone potencijalne opasnosti i planska zaštita ugroženog područja.

Satelitsko proučavanje vulkana biće prikazano na primeru vulkana Ploskij Tolbačik na ruskom poluostrvu Kamčatka.

Na infracrvenom snimku Nasinog satelita za posmatranje Zemlje EO-1 vidi se kako iz otvora vulkana kulja lava.



Slika 14 – Infracrveni snimak Nasinog satelita za posmatranje Zemlje EO-1
Figure 14 – Infrared image of the EO-1 NASA satellite for the Earth observation



Slika 15 – Infracrveni snimak vulkana Ploskiy Tolbačik
Figure 15 – Infrared image of Ploskiy Tolbachik volcano

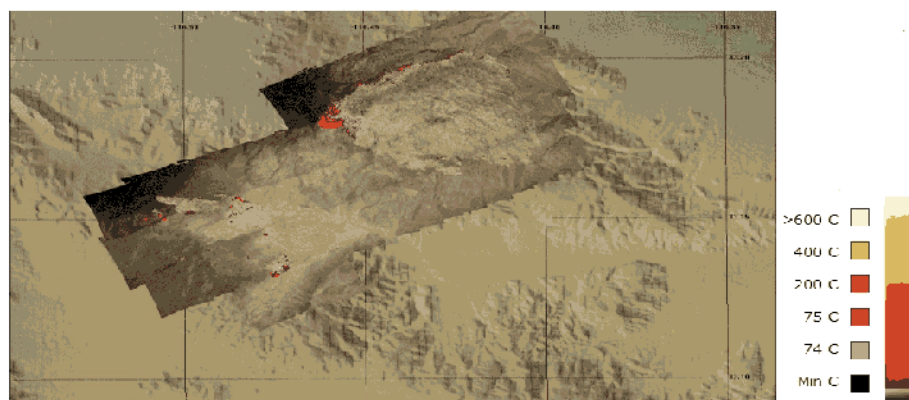
Infracrveni snimci vulkana Tolbačik izuzetno su kvalitetni zahvaljujući korišćenju veštačkih boja kojima su obeležene zone različite temperature, tako što su intenzivnocrvenom označena područja na kojima je lava vrela, a zelenom hladniji delovi poluostrva Kamčatka.

Primena satelitskih snimaka pri praćenju požara

Ljudska nepažnja i klimatske promene koje su poslednjih godina sve prisutnije dovode do sve češćih pojava šumskih požara. Jedna od značajnih metoda ispitivanja, prognoziranja i praćenja šumskih požara je daljinska detekcija. Satelitski snimci pri otkrivanju požara i kartiranju ugroženih područja u okviru geografskog informacionog sistema (GIS) od višestruke su koristi, naročito pri proceni šteta nastalih požarom (Regodić, Tadić, 2011).

Šumski požari godišnje oštete ili potpuno unište više stotina miliona hektara šuma i druge vegetacije širom sveta. Oni predstavljaju konstantnu pretnju ekološkim sistemima, infrastrukturi i ljudskim životima. Osim preventivnih mera jedini efikasni način suzbijanja požara jeste njegovo rano otkrivanje, što sprečava njegovo širenje. Tu je daljinska detekcija našla svoju široku primenu, naročito u zapuštenim krajevima, gdje je to ponekad i jedini način otkrivanja požara. Na globalnom nivou praćenje se izvodi pomoću podataka sa polarnih satelita NOAA i METOP zbog njihove velike prostorne rezolucije. Od velike važnosti su i MODIS podaci, koji mogu meriti zračenje sa Zemlje s prostornom rezolucijom od 250 m. Podaci sa polarnih satelita uglavnom se koriste u detekciji požara u mnogim zemljama, posebno u višim geografskim širinama (npr. Kanada, Finska, Rusija). U umerenim širinama, u vreme kada nema preleta polarnih satelita, jedini raspoloživi podaci su oni sa MSG satelita Meteosat 8 ili 9, dakle iz geostacionarne orbite.

Najvažniji kanal za praćenje požara je kanal u području talasne dužine 3,9 μm . Ovde je moguće prepoznavanje vrućih tačaka koje predstavljaju požare. Nedostatak geostacioniranih satelita pri praćenju požara je u maloj prostornoj rezoluciji, koja je u području iznad ekvatora i 0-tog meridijana 3x3 km. Međutim, prednost je stalno prisustvo satelita iznad našeg područja i mogućnost dobijanja satelitskih snimaka svakih 15 minuta.

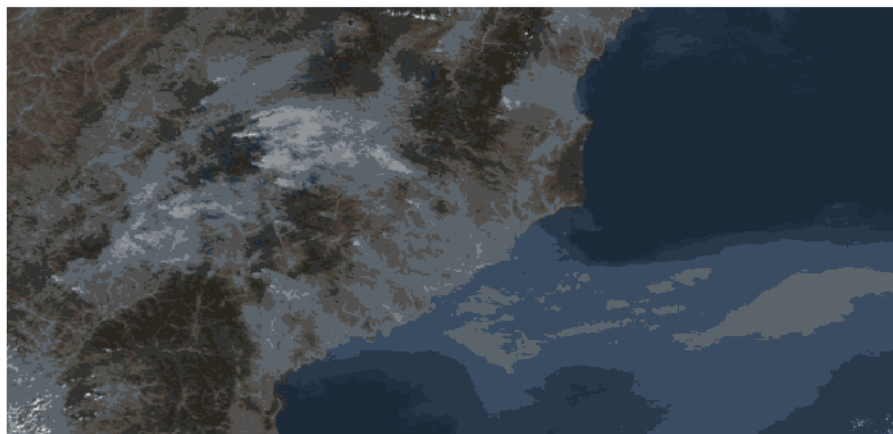


Slika 16 – Satelitski snimak na kojem je prikazana temperatura na površini Zemlje
Figure 16 – Satellite image showing the Earth surface temperature

Satelitski snimci mogu se koristiti i za procenu temperature na površini Zemlje. Slika 16 predstavlja malo područje u okolini San Diega (SAD) čija je predstava izvršena pomoću termalnog IC sistema u kombinaciji sa odgovarajućim softverskim paketom, uz čiju pomoć se prati stanje požara u pomenutoj okolini.

Topliji tonovi (crvena, narandžasta, žuta) predstavljaju najnovija i aktivna sagorevanja, područja svetlih tonova prikazuju hlađenje pepela, dok su niske temperature od nesagorene vegetacije prikazane tamnijim nijansama sive boje.

U narednom prilogu prikazan je i satelitski snimak velikog požara koji je zahvatio područje Severne Koreje 2009. godine. To je snimak američke svemirske agencije NASA.



Slika 17 – Satelitski snimak požara u Severnoj Koreji

Figure 17 – Satellite image of the fire in North Korea

Zaključak

Mali je broj metoda, naučnih disciplina ili naučnih oblasti koje su imale tako brz i eksplozivan razvoj kao daljinska detekcija.

U oblasti daljinske detekcije danas u svetu radi veoma veliki broj stručnjaka različitih specijalnosti. Tehnologija snimanja, oprema, kompjuterski programi, postupci i područja primene neprekidno se usavršavaju i proširuju, pa obimna literatura iz te oblasti brzo biva prevaziđena i zastarela. Principi i osnovne postavke, međutim, ostaju isti.

Daljinska detekcija postaje sve značajnija i nezaobilazna metoda prikupljanja informacija o prostoru uopšte. Sve vodeće satelitske misije i programi, pored praćenja i snimanja stanja najrazličitijih prirodnih i društvenih pojava, mogu uspešno da zadovolje sve zahtevnije zadatke u sistematskom praćenju ovih pojava radi otkrivanja raznih prirodnih i ve-

štački izazvanih katastrofa. Neprocenljiv je značaj tako dobijenih podataka u svim fazama praćenja nastalih katastrofa, kako u fazi otkrivanja nastanka, tako i u periodu širenja i praćenja dejstva pojave, ali i u fazi otklanjanja posledica nastalih delovanjem nastalih katastrofa.

Nove generacije senzora ugrađenih u svemirske letelice omogućuju sistematsko praćenje, snimanje i merenje različitih relevantnih podataka važnih za utvrđivanje promena i procesa u moru, na kopnu i u atmosferi. Postupci daljinske detekcije omogućuju snimanje i registrovanje raznih prirodnih pojava. Na temelju tako prikupljenih informacija moguće je ukazati na aktuelna zbivanja u tim sredinama, ali i prognozirati prirodne katastrofe.

Literatura

Karsten, J. 2002. Orthoimages and DEMs by QuickBird and IKONOS. U: EARSeL Symposium, Prague.

Pavlović, R., Čupković, T., & Marković, M. 2001. Daljinska detekcija. Beograd: Rudarsko-geološki fakultet.

Regodić, M. 2008a. Daljinska detekcija kao metod prikupljanja podataka o prostoru. Vojnotehnički glasnik, 56(1), str. 91-112.

Regodić, M. 2008b. Važniji satelitski programi sistematskog snimanja Zemlje. Vojnotehnički glasnik, 56(4), str. 70-88.

Regodić, M., 2008c, Primena daljinske detekcije u praćenju i zaštiti životne sredine, Međunarodno savetovanje – Energetika, časopis Energija.

Regodić, M. 2010a. Primena satelitskih snimanja za dopunu sadržaja topografskih karata. Vojnotehnički glasnik, 58(4), str. 63-85.

Regodić, M. 2010b. Primena snimaka satelita IKONOS pri izradi radne karte. Novi glasnik, 1-2.

Regodić, M., Sekulović, D., Živković, L., 2010, Primena daljinske detekcije pri istraživanjima meteoroloških parametara, Međunarodno savetovanje – Energetika, časopis Energija.

Regodić, M., Tadić, V., 2011, Primena satelitskih snimanja pri praćenju atmosferskih pojava, Međunarodno savetovanje – Energetika, časopis Energija.

Sekulović, D., Regodić, M., Živković, L., 2010, Primena satelitskih snimanja pri praćenju ekoloških pojava, Međunarodno savetovanje – Energetika, časopis Energija.

REMOTE SENSING OF NATURAL PHENOMENA

FIELD: Earth Sciences

ARTICLE TYPE: Review Paper

Summary:

There has always been a need to directly perceive and study the events whose extent is beyond people's possibilities. In order to get new data and to make observations and studying much more objective in

comparison with past syntheses - a new method of examination called remote sensing has been adopted. The paper deals with the principles and elements of remote sensing, as well as with the basic aspects of using remote research in examining meteorological (weather) parameters and the conditions of the atmosphere. The usage of satellite images is possible in all phases of the global and systematic research of different natural phenomena when airplane and satellite images of different characteristics are used and their analysis and interpretation is carried out by viewing and computer added procedures.

Introduction

Remote sensing of the Earth enables observing and studying global and local events that occur on it. Satellite images are nowadays used in geology, agriculture, forestry, geodesy, meteorology, spatial and urbanism planning, designing of infrastructure and other objects, protection from natural and technological catastrophes, etc. It is possible to use satellite images in all phases of global and systematic research of different natural phenomena.

Basics of remote sensing

Remote sensing is a method of the acquisition and interpretation of information about remote objects without making a physical contact with them. The term Daljinska detekcija is a literal translation of the English term Remote Sensing. In French it is Teledetection, in German - Fernerkundung, in Russian - дистанционные исследования. We also use terms such as: remote surveillance, remote research, teledetection, remote methods, and distance research.

The basic elements included in Remote Sensing are: object, electromagnetic energy, sensor, platform, image, analysis, interpretation and the information (data, fact).

Usage of satellite remote research in monitoring natural phenomena

The images taken from Remote Sensing have helped men to use the environment and natural resources in a better way. It is expected that the development of new technologies will spread the usage of satellite images for the welfare of mankind as well. Besides monitoring the surface of the Earth, the satellite monitoring of the processes inside the Earth itself is of great importance since these processes can cause different catastrophes such as earthquakes, volcano eruptions, floods, etc.

Usage of satellite images in monitoring atmospheric phenomena

The launch of artificial earth satellites has opened new possibilities for monitoring and studying atmospheric phenomena. A large number of meteorological satellites have been launched by now (Nimbus, Meteor, SNS, ESSA, Meteosat, Terra, etc.).

Since these images are primarily used for weather forecast, meteorologists use them to get information about the characteristics of clouds related to their temperature, the temperature of the cloud layer, the degree of cloudiness, the profiles of humidity content, the wind parameters, etc.

Meteosat satellites

Meteosat is the first European geostationary satellite designed for meteorological research. The use of these satellites enabled the surveying in the visible and the near IR part of the spectrum as well as in the infrared thermal and water steam track. Based on these images, it was possible to obtain data such as: height of clouds, cloud spreading and moving, sea surface temperature, speed of wind, distribution of the water steam, balance of radiation, etc.

Usage of satellite images in monitoring floods

Satellite images are an excellent background and an initial phase for preventing severe catastrophic events caused by floods. Due to satellite images, it is possible to manage overflowed regions before, during and after floods. This enables prevention, forecasting, detection and elimination of consequences, i.e. damage. Satellite images are of great help after the withdrawal of water, for the estimation of damage and flood recovery.

Usage of satellite images in detecting earthquakes

Remote sensing is widely used in the procedure of detecting and locating earthquakes. Earthquakes can be detected by the combination of geophysical methods with multispectral and radar images. By combining these methods, we can monitor the conditions of seismic areas. The obtained information can be computed and sent to information centres in stationary stations where the modelling of earthquake-affected terrains is carried out.

Usage of satellite images in monitoring volcanos

Remote sensing has been used for examining a large number of active volcanos. Monitoring is performed several times, during and after eruptions. The modelling of volcanic areas enables the definition of lava-effusion zones, and potentially dangerous zones, which is further used for planning the protection of affected areas.

Usage of satellite images in monitoring fire (blaze)

One of important methods of investigating, forecasting and monitoring forest fires is remote sensing. Satellite images are valuable in discovering fires and in mapping affected areas within the geographi-

cal-information system (GIS), as well as in the estimation of damage caused by fire. Satellite images can also be used to estimate the temperature on the Earth surface.

Conclusion

Remote sensing becomes an increasingly important and unavoidable method of the acquisition of data on geospace in general. The importance of thus obtained data is invaluable in all phases of monitoring catastrophic events, from detecting their onsets through monitoring their spreading and effects to the phase of recovery.

New generations of sensors enable systematic monitoring, recording and measuring different data important for detecting changes and processes in the sea, on the ground and in the atmosphere. The procedures of remote sensing enable surveying (recording) and registration of different natural phenomena. Thus acquired data can reveal ongoing activities in these environments and, moreover, predict possible catastrophic scenarios in the nature..

Key words: monitoring; atmosphere; satellites; remote sensing; imaging.

Datum prijema članka/Paper received on: 06. 12. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 19. 12. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 21. 12. 2013.

KRATKA SAOPŠTENJA SHORT REPORTS

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАКЕТ ПЕРЕНОСНЫХ ЗЕНИТНЫХ КОМПЛЕКСОВ И РАКЕТ «ВОЗДУХ- ВОЗДУХ» И НОВЫЕ СРЕДСТВА БОРЬБЫ С ЭТИМИ РАКЕТАМИ

Александр Иванович Голодяев
Соискатель на звание кандидат наук в ВГТУ,
г. Воронеж, Россия

DOI: 10.5937/vojtechg62-4806

ОБЛАСТЬ: инфракрасная техника, авиация
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

Краткое содержание:

В статье показывается новый способ борьбы с генераторами пульсирующих инфракрасных помех, новый вид борьбы с инфракрасными головками самонаведения, и анализ средств борьбы с ВВС и средств противодействия.

Описание модернизации инфракрасных головок самонаведения, для преодоления генераторов пульсирующих инфракрасных помех.

Также описывается оригинальный способ постановки ложных тепловых целей с применением медно-алюминиевого термита и сплава «электрон».

Ключевые слова: головке самонаведения, инфракрасный, ракетные комплексы.

Введение

В настоящее время военно-воздушные силы (ВВС) является основным средством подавления и уничтожения техники и живой силы на поле боя. Бомбардировщики, штурмовики и вертолеты обладают огромной поражающей силой. Для борьбы с ними используются системы противовоздушной обороны (ПВО). Идет состязание по эффективности как поражения самолетов, так и их защиты.

В настоящее время войска прикрываются от ВВС на низких высотах зенитными системами. Это пушечные малокалиберные автоматы, и ракетные комплексы. В мобильных переносных ракетных комплексах устанавливают в основном инфракрасных головок самонаведения (ИКГСН). Их работа основана на использовании специальных тепловых датчиков предварительно охлажденных до низкой температуры и расположены они в роторной системе. За счет высокой скорости вращения ротора на датчиках получают импульсы электрического тока, позволяющие ИКГСН определить направление до цели. ВВС применяет как тепловые ловушки, так и генераторы пульсирующих инфракрасных помех.

Генератор пульсирующих инфракрасных помех (ГПИП) представляет собой мощную инфракрасную лампу с вращающимся отражателем, в кожухе из прозрачного для инфракрасного излучения материала, расположенную на корпусе защищаемого объекта.

Повышение эффективности ракет

Ракеты с инфракрасной головкой самонаведения относятся к самым простым управляемым средствам поражения воздушных целей. При генерировании пульсирующих инфракрасных помех с частотой, равной рабочей частоте внутренних элементов наведения и мощностью, сопоставимой с естественным тепловым излучением защищаемой цели, в систему наведения ракеты вносится помеха, приводящая к отклонению ракеты от защищаемой цели (Шидловский, 1954, стр.284). Целью изготовления генераторов пульсирующих инфракрасных помех являлось увеличение времени защиты воздушного судна от ракет, и уменьшение количества боеприпасов - ложных тепловых целей (ЛТЦ).

Недостатком является очень дорогая лампа, и устройство рассчитано только на один тип инфракрасных головок самонаведения (ИКГСН). При применении комбинированных (с радиолокационной головкой самонаведения плюс инфракрасных головок самонаведения) в ракетах устройства не защищают самолет.

Для борьбы с этими генераторами пульсирующих инфракрасных помех можно применить очень простое техническое решение. Достаточно установить на ИКГСН вне поля ротора, но в зоне охлаждения дополнительный датчик со своим электронным блоком управления. Его цель - он отслеживает частоту пульсаций от ГПИП. И когда частота пульсаций начинает совпадать с основными резонансными гармониками вращения ротора, то электронный блок управления подает команду на блокирование рулей управления ракеты на моменты резонанса. Система управления ракеты перестанет в момент резонанса «видеть» цель и реагировать на датчики с ротора. При прохождении точки резо-

нанса ИКГСН начинает опять «видеть» цель. Время реакции ракеты увеличивается пропорционально количеству резонансных точек. Но учитывая, что реакция ракеты позволяет ей делать развороты с перегрузкой намного большей, чем выдержит организм человека, поражение самолета остается весьма реальной.

Данная конструкция защищена патентом России на изобретение, рисунок 1 (Патент №2419060. Патент России).

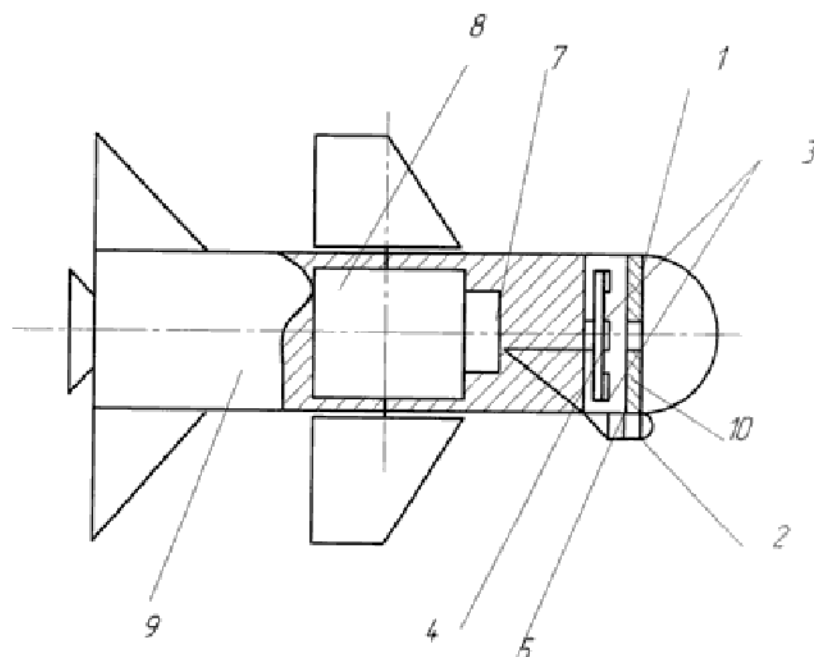


Рисунок 1 – Конструкция ракеты
Slika 1 – Konstrukcija rakete
Figure 1 – Missile construction

Перечень позиций:

1 - Тепловая головка самонаведения, 2 - фотоприемник на роторе (4),
3 - фотоприемник, 4 - вращающийся ротор, 5 - координатор, 6 - генератор
пульсирующих инфракрасных помех, 7 - блок усиления сигнала, 8 - управления
рулями, 9 - ракета, 10 - оптическая диафрагма в форме щели.

Legenda:

1 – toplotna glava za samonavođenje, 2 – foto-prijemnik na rotoru (4), 3 – foto-prijemnik,
4 – pokretni rotor, 5 – koordinator, 6 – generator pulsirajućih infracrvenih smetnji,
7 – blok za pojačanje signala, 8 – upravljačka kormila, 9 – raketa, 10 – optička dijafragma
u obliku proreza.

Legend

1-heat seeker, 2-photo sensor on the rotor (4), 3-photo sensor, 4-rotating rotor,
5-coordinator, 6-generator of pulsing IR interferences, 7-signal amplification block,
8-guiding elements, 9-missile, 10-optical aperture diaphragm

Модернизация современных зенитных ракет «земля – воздух» и «воздух-воздух» с ИКГСН не потребует больших материальных, и технических затрат.

Для защиты вертолета от современных зенитных ракет «земля – воздух» и «воздух-воздух» с ИКГСН на поле боя при штурмовке, а также при заходе на посадку, после выполнения боевого задания, имеется запас кассет с ложными тепловыми целями (ЛТЦ). Он ограничен до совершения посадки и переснаряжения кассет. При напряженном бое с большой вероятностью применения зенитных ракет с ИКГСН экипаж сейчас ведет интенсивный отстрел ложных тепловых целей. В результате, особенно при полете в горах, запас ложных тепловых целей быстро кончается. На посадке практически нечем защищаться.

Предлагается устанавливать на борту станковые гранатометы. В России использовать для этого АГС30. Дальность стрельбы АГС 30 до 1700 метров. Емкость магазина 29 выстрелов.

Для него изготовить специальный боеприпас, рисунок 2.

Корпус этой гранаты делается из сплава «электрон» (90% магния, 10 % алюминия). Внутри корпуса имеются продольные пазы для разрушения по ним корпуса при взрыве и расположен пакет из тонких шайб из сплава «электрон». Между шайбами тонкие прокладки. Каждая шайба покрывается тонким слоем солей различных металлов. Это позволяет создавать при горении шайб различного цвета спектр излучения. Сплав «электрон» при горении в воздухе дает температуру не выше 1000 град Цельсия.

Внутри корпуса и пакета с шайбами расположены взрывной заряд из медно – алюминиевого термита. Этот термит при воспламенении взрывается. Образуется облако раскаленного газа состоящее из паров кипящей меди, и окиси алюминия. Медь кипит при температуре 2580°C.

Автор статьи неоднократно производил в 1976 году подрывы до 10 грамм медно-алюминиевого термита. Воронка в песчаном грунте при подрыве на глубине 100 мм имела диаметр до 300 мм и глубину до 150 мм. В воздухе, при взрыве головной части ракеты, с таким же зарядом образовывалось устойчивое густое облако медного цвета диаметром до 3 метров.

Таким образом, эта температура превышает температуру выхлопных газов реактивного самолета. И это облако является помехой для радиолокационной головки наведения ракеты, т.к. в нем имеется большое количество шариков меди различного диаметра. А большая разница в температурах горения «электрона» и его «мелькание», за счет спонтанного перемещения и вращения и остатков медно-алюминиевого термита ведет к нарушению нормальной работы по определению цели у ИКГСН. Применение в ИКГСН сужения температурного спектра до пределов температуры работы реактивного двигателя в данном случае бесполезно. Идет мощная засветка приборов поиска цели у ИКГСН. Взрыв термита происходит от замедлителя воспламеняющегося от вы-

шибного заряда. Подрыв осуществляется на расстоянии 50-200 метров от точки выстрела. Взрыв термита разрушает корпус, поджигает и разбрасывает шайбы из «электрона» и поджигает сам корпус. Шайбы разбрасываются на большой объем пространства и продолжают гореть. Их быстрое, хаотичное перемещение в воздухе создает обширную зону помех для ИКГСН. Время горения корпуса и шайб достаточно длинное. Если в ленте гранатомета установлены этого типа гранаты через 3-5 шт., то при штурмовке, давая очередь по наземной цели, автоматически идет защита вертолета. Объем этих гранат ограничивается грузоподъемностью вертолета. Время перезарядки кассеты с лентой с гранатами занимает несколько секунд. При полной ленте этими боеприпасами можно вести отстрел этого типа ложными тепловыми ловушками весь полет. При ведении огня на дальности в 100-200 метров предложенная граната может быть использована как зажигательная.

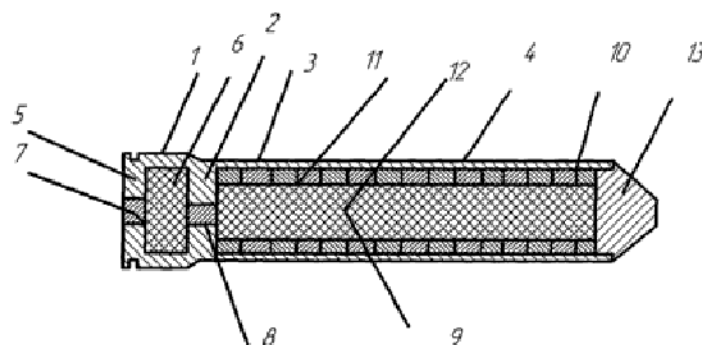


Рисунок 2 – Специальный боеприпас
Slika 2 – Specijalna municija
Figure 2 – Special ammunition

Перечень позиций:

- 1 - боеприпас отстреливаемой ложной тепловые цели, 2 - граната станкового гранатомета, 3 - корпус, 4 - тонкий слой металла изолирующего от внешней среды, 5 - донная часть, 6 - вышибной заряд, 7 - капсюлем - воспламенитель, 8 - замедлитель, 9 - основной заряд, 10 - головная сторона, 11 - тонкостенные кольца, 12 - медно-алюминиевый термит, 13 - аэродинамический обтекатель.

Legenda:

- 1 - municija za uništavanje lažnih toplotnih ciljeva, 2 - ležište za lansirni uređaj, 3 - telo, 4 - tanki sloj metala za izolaciju od spoljne sredine, 5 - donji deo, 6 - inicijalno punjenje, 7 - upaljač, 8 - vođica, 9 - glavno punjenje, 10 - glavni deo, 11 - prstenovi tanke stenke, 12 - bakarno-aluminijumska legura, 13 - aerodinamički vrh.

Legend:

- 1-ammunition for destroying false thermal targets, 2-launching device bearing, 3-body, 4-thin metal layer for insulation from the external environment, 5-lower part, 6-initial charge, 7-fuze, 8-guiding element, 9-main charge, 10-main part, 11-thin-wall rings, 12-copper-aluminium alloy, 13-aerodynamic nose

На данный вид гранаты получен патент России (Патент №2412425. Патент России).

Вывод

Применение модернизированных видов головок для поражения воздушной цели делает бесполезными, генераторы пульсирующих инфракрасных помех (ГПИП). Причем модернизация не коснется принципиальной схемы управления ракет.

Применение для защиты боевых вертолетов и самолетов штурмовиков станковых гранатометов с гранатой - ложной тепловой целью существенно повышает защиту от попаданий ракет с ИКГСН. Экипаж может сам определять, как способ применения, так и интенсивность защиты.

Literatura/Literature:

Патент №2412425. Патент России. Название «Боеприпас для пассивной постановки помех для комбинированных головок самонаведения ракет "воздух-воздух и земля-воздух". Заявка № 2009146404 .

Патент №2419060. Патент России. Название «Тепловая головка самонаведения ракеты нечувствительная к генераторам инфракрасных пульсирующих помех». Заявка №2010104056 .

Шидловский, А.А. 1954. Основы пиротехники. Государственное издательство военной промышленности., стр. 284.

POBOLJŠANJE EFIKASNOSTI PRENOSNIH PROTIVAVIONIŠKIH RAKETNIH SISTEMA I RAKETA „VAZDUH-VAZDUH“ I NOVI NAČINI BORBENE UPOTREBE OVIH RAKETA

Aleksandar Ivanović Golodjaev
Kandidat za zvanje magistra nauka na VGTU,
Voronjež, Rusija

OBLAST: infracrvena tehnika, avijacija
VRSTA ČLANKA: kratko saopštenje

Sažetak:

U ovom radu opisan je novi način borbe sa ciljevima koji su izvori IC zračenja, kao i novi način borbe sa IC glavama za samonavođenje. Analizirana su i sredstva za V i PVO borbu. Predstavljena je mogućnost modernizacije IC glava za samonavođenje, radi odbrane od IC smetnji. Takođe, opisan je originalni metod postavljanja lažnih izvora toplote korišćenjem bakar-aluminijumske legure.

Ključne reči: glave za samonavođenje, infracrveni, raketni sistemi.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF PORTABLE ANTI-AIRCRAFT
MISSILE SYSTEMS AND AIR-TO-AIR MISSILES AND
NEWCOMBAT USE OF THESE MISSILES

Alexander Ivanovich Golodyaev
Competitor for the title of Candidate of Sciences in Vilnius Gediminas
Technical University,
Voronez, Russia

FIELD: Infrared Technology, Aviation
ARTICLE TYPE: Short Report

Summary:

This paper shows a new way of dealing with the generators of pulsating infrared interferences and a new kind of fighting with infrared homing seekers as well as an analysis of this Air Force combat means and appropriate countermeasures.

It is described how to upgrade infrared homing seekers to overcome generators of pulsating infrared interferences.

The article describes an original method of setting false thermal targets using termite copper-aluminum and "electron" alloy.

The use of modernized types of heads against aerial targets makes generators of pulsating infrared interferences useless.

Key words: *homing seekers; infrared; missile systems.*

Дата получения работы/Paper received on: 03. 11. 2013.

Дата получения исправленной версии работы/Manuscript corrections submitted on:
02. 04. 2014.

Дата окончательного согласования работы /Paper accepted for publishing on:
04. 04. 2014.

STRUČNI ČLANCI PROFESSIONAL PAPERS

UPRAVLJANJE MAŠINE (PRESE) ZA ŠTANCANJE LIMA

Muhamed H. Pašić

Cimos d.o.o Srebrenica, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

DOI: 10.5937/vojtehg62-3354

OBLAST: mašinstvo, materijali, industrijski softver
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

U radu će biti obrađeno upravljanje prese za štancanje lima. Analiza će biti bazirana na eksperimentalnom podešavanju visine bata. Eksperiment će biti raden za pet različitih pozicija odnosno debljina lima. Prethodno stanje prese bilo je takvo da je za svaku promjenu pozicije, odnosno debljine lima, bilo potrebno podešavati visinu bata. U rješenju koje je pokazano u ovom radu to će biti puno lakše i efikasnije. Princip će biti takav da ako se želi zamijeniti pozicija biće dovoljno samo izabrati poziciju odnosno debljinu lima koju želimo i bat će se automatski podesiti na tačnu poziciju koja je potrebna za taj lim. Tako će se ubrzati proizvodnja, a i smanjiti škart materijala koji bi se stvorio zbog štelovanja. Zatim će biti pokazan dijagram stanja za to novo rješenje, kao i program za upravljanje novog rješenja.

Ključne reči: debljina, lim, presa, metali, mašinska, visine, upravljanje.

Uvod

Elektromotorni pogon (EMP) presa za štancanje lima pripada grupi teških EMP sa intermitiranim opterećenjem, kod kojih je veoma izražen i napregnut dinamički prelazni režim rada (Ambrožić, 2003). Posebno je važno pravilno definisati vrijeme i brzinu dodavanja limene trake. U protivnom, može doći ne samo do pojave „škarta“ gotovog proizvoda, nego i do lomljenja veoma skupih alata. Zbog toga se prvo podešavanje, za novu vrstu proizvoda, uvijek vrši „ručno“. Ova presa radi oko pedeset različitih pozicija, tj. pedeset različitih alata. Svaki od njih razlikuje se, kako po komadu koji proizvodi,

tako i po samom izgledu i gabaritu, što znači da svaki od njih ima različite parametre, jedan od tih parametara je visina bata. Tako ako je alat višoj bat se mora postaviti na veću visinu. Osim ovog parametra koji će biti predmet analize, tu su i drugi parametri bitni za alat, i to: gornja mjera bata, korak, ugao dodavanja i ugao popuštanja. Gornja mjera bata je visina na koju se podešava bat kada se ubacuje alat u presu, i ova visina mora biti veća od radne visine. Prethodno stanje je bilo takvo da je prilikom svake zamjene pozicije bilo potrebno podešavati visinu bata, što je oduzimalo dosta vremena, a i povećavalo škart materijala. Sa novim rješenjem koje će biti pokazano biće smanjeno vrijeme podešavanja, a smanjiće i škart. Korak zavisi od komada koji alat pravi, tj. zavisi od dimenzija komada. Ugao dodavanja je trenutak kada dodavač limene trake treba da doda traku, a ugao popuštanja je trenutak kada nepomična kliješta trebaju da popuste traku (Upute za rukovanje presom za štancanje lima, 1989), (Jurković, 1990), (Hodžić, 2008).

Eksperimentalno podešavanje visine bata

Za analizu visine bata uzeto je pet različitih pozicija, tj. pet različitih alata, a to su: „novi burnik“, „pedala“, „ručica gomja“, „nosilac stikala“, „ručica mirujuća“. U nastavku će tabelarno biti prikazani rezultati analize za svaku poziciju posebno i biće uzeto pet različitih visina bata za svaku poziciju, odnosno alat.

Tabela 1 – Eksperimentalno podešavanje visine bata za poziciju „novi burnik“
Table 1 – Experimental adjusting of the ram height for the “Novi Burnik” position

	Pozicija	Debljina lima d (mm)	Veličina rupe ϕ (mm)	Visina bata h (mm)	Kvalitet komada
1.	Novi burnik	1,5	8	453,0	– komad nije dobar – noževi i probojci ne odsijeku, odnosno ne probiju rupe dovoljno
2.	Novi burnik	1,5	8	451,5	– smanjena visina bata – dobije se komad koji nije po tehnologiji – odsijecanje i probijanje dobro – dobijeni komad ima srh na – mjestu probijanja rupe
3.	Novi burnik	1,5	8	450,0	– visina bata još smanjena – smanjen srh – dobije se komad koji je na granici mogao bi proći
4.	Novi burnik	1,5	8	449,6	– visina bata smanjena još za 0,4 mm – potpuno uklonjen srh – optimalna visina bata
5.	Novi burnik	1,5	8	447,0	– i na ovoj visini nema srha – probijena rupa nije po crtežu jer je bat spušten više nego što je potrebno – dalje smanjivanje visine dovelo bi do oštećenja alata

Iz tabele 1 može se vidjeti da je optimalna vrijednost visine bata 449,6 mm. Za ovu poziciju nemamo neku veliku mogućnost smanjivanja visine bata u odnosu na ovu koja se pokazala kao optimalna, zbog toga što je debljina lima prilično mala za ovaj tip prese, tako da se mala promjena visine znatno odrazi na komad. Dalje povećanje visine nema efekta, jer već na visini od 453 mm nema dovoljnog probijanja i odsijecanja, tako da je dalje povećavanje nepotrebno.

Optimalna visina bata za poziciju „pedala“ je 481,5 mm, ono što se može vidjeti iz (tabele 2) je to da je ova visina veća od prethodne optimalne „Novi burnik“ za oko 30 mm, što je i logično jer se ova pozicija radi od debljeg lima u odnosu na prethodnu. Visina bata nije dalje smanjivana zbog rizika od oštećenja alata, a dalje povećanje ne bi imalo smisla jer se 484 mm pokazala kao velika visina.

Tabela 2 – Eksperimentalno podešavanje visine bata za poziciju „pedala“
Table 2 – Experimental adjusting of the ram height for the “Pedala” position

	Pozicija	Debljina lima d (mm)	Velicina rupe ϕ (mm)	Visina bata h (mm)	Kvalitet komada
1.	Pedala	2,5	25	484,0	– komad dimenziono odstupa – komad nije dovoljno odsječen – visina bata velika treba
2.	Pedala	2,5	25	482,0	– dobije se bolji komad – odsijecanje završeno – na ivicama komada pojavi se srh veći od dozvoljenog
3.	Pedala	2,5	25	481,5	– visina smanjena za 0,5 mm – dobije se komad koji zadovoljava sve mjere – visina optimalna
4.	Pedala	2,5	25	480,0	– ova visina ne stvara srh kao ni dimenziona odstupanja – pojavio se otisak na dijelu komada gdje nema probijanja
5.	Pedala	2,5	25	497,0	– visina smanjena za 1 mm – dimenziono se dobije komad koji bi mogao proći – povećao se otisak – dalje povećavanje dovelo bi do oštećenja alata

Na poziciji „ručica gornja“ koristi se lim od 5 mm (tabela 3), a što je duplo deblji u odnosu na „pedalu“ i visina bata je veća. U ovom slučaju visina je za 20 mm veća u odnosu na prethodnu poziciju, tačnije „pedalu“. Optimalna mjera za ovu poziciju je 498 mm. Ono što se još može vidjeti iz tabele 3 jeste da nema baš velike tolerancije na visini bata.

Tabela 3 – Eksperimentalno podešavanje visine bata za poziciju „ručica gornja“
Table 3 – Experimental adjusting of the ram height for the “Ručica gornja” position

	Pozicija	Debljina lima d (mm)	Veličina rupe ϕ (mm)	Visina bata h (mm)	Kvalitet komada
1.	Ručica gornja	5	6	503,0	– komad dimenziono odstupa – nedovoljno probijena rupa – velika visina bata
2.	Ručica gornja	5	6	501,0	– probijanje rupe bolje ali nedovoljno – srh na rupi – velika visina bata
3.	Ručica gornja	5	6	494,0	– komad dimenziono dobar – manji srh na jednoj strani rupe
4.	Ručica gornja	5	6	498,0	– visina smanjena za 1 mm – komad nema srha – dimenziono je dobar – optimalna visina
5.	Ručica gornja	5	6	496,5	– dobije se komad sa manjim srhom – mogao bi proći po pitanju dimenzija

Optimalna visina bata za „nosilac stikala“ je 449,05 mm (tabela 4), ako se uporedi visina bata za ovu poziciju sa visinom od „novog burnika“ (tabela 1) može se zaključiti da su skoro identične, što je i logično jer imaju skoro istu debljinu lima. Ova pozicija ima tanji lim za 0,1 mm, ali rupa koja se probija je veća za 2 mm, tako da se to kompenzira, što znači da se može koristiti ista visina, što je i pokazala ova analiza. I peta pozicija koja je bila predmet ove eksperimentalne analize se prema debljini lima koji se koristiti može uporediti sa „pedalom“ koja koristi lim za 0,5 mm tanji od ove. Može se vidjeti da je visina bata kod ove pozicije manja od one kod „pedale“, iako je lim deblji. Razlog za to je veličina rupe koja se probija, koja je kod ove pozicije puno manja nego kod „pedale“, tako da je ovdje optimalna visina 465,5 mm (tabela 5).

Ono što se može zaključiti iz ove analize jeste – što je deblji lim visina bata je veća, jer u eksperimentalnoj metodi ne može se mijenjati masa ekscentra i bata; jedino što se može mijenjati je visina bata. Ova analiza je pokazala da za svako povećanje debljine lima za oko 1,5 mm, potrebno je povećati visinu bata za oko 25 mm. Međutim, to vrijedi za istu vrstu lima, za neki drugi lim, sa drugim hemijskim sastavom ovaj odnos bi bio drugačiji. Međutim, ono što još treba naglasiti je to da kada bi se ova analiza radila ponovo na istim pozicijama ne bi se dobile ove vrijednosti optimalnih visina. Dobile bi se optimalne visine koje se razlikuju za 1-2 mm, jer svaki lim ima određeni hemijski sastav, tj. tačno se zna koliko koje supstance treba da sadrži određeni lim, s tim da svaki lim ima toleranciju koja se odnosi sa količinu pojedinih supstanci. Tako, ako je jedan bunt lima koji je na donjoj granici prema količini određenih supstanci, ona će dati jednu vrijednost optimalne visine bata, dok sledeći lim može biti na gornjoj granici, što znači da je možda tvrdi, pa za ova dva lima neće biti ista visina bata. Može se zaključiti da se optimalna visina bata ne može jednom odrediti i da se uvijek ona koristi, a tolerancija iznosi $\pm 1 - 2 \text{ mm}$.

Tabela 4 – Eksperimentalno podešavanje visine bata za poziciju „nosilac stikala“
Table 4 – Experimental adjusting of the ram height for the “Nosilac stikala” position

	Pozicija	Debljina lima d (mm)	Veličina rupe ϕ (mm)	Visina bata h (mm)	Kvalitet komada
1.	Nosilac stikala	1,4	10	452,0	– nedovoljno izbijena rupa – ima veliki srh – velika visina bata
2.	Nosilac stikala	1,4	10	450,5	– smanjena visina za 1,5 mm – bolje probijanje rupe – srh i dalje veliki
3.	Nosilac stikala	1,4	10	449,5	– smanjena visina bata za 1 mm – smanjen srh – komad i dalje nije po crtežu
4.	Nosilac stikala	1,4	10	449,05	– komad bez srha – komad odgovara crtežu – optimalna visina bata
5.	Nosilac stikala	1,4	10	448,5	– komad ima otisak – visina bata je mala – dalje smanjivanje visine dovelo bi do oštećenja alata

Tabela 5 – Eksperimentalno podešavanje visine bata za poziciju „ručica mirujuća“
Table 5 – Experimental adjusting of the ram height for the “Ručica mirujuća” position

	Pozicija	Debljina lima d (mm)	Veličina rupe ϕ (mm)	Visina bata h (mm)	Kvalitet komada
1.	Ručica mirujuća	3	4	478,5	– komad nije dobar – kontrolni „trn“ ne prolazi kroz rupu – visina bata velika
2.	Ručica mirujuća	3	4	477,5	– visina bata smanjena za 1 mm – komad je popravljen ali ne i dovoljno da bi mogao proći kontrolu – potrebno još smanjivati visinu
3.	Ručica mirujuća	3	4	477,0	– dimenziono je komad dobar – srh na rupi – komad nije prošao kontrolu
4.	Ručica mirujuća	3	4	465,5	– visina smanjena za 0,5 mm – komad je prošao kontrolno mjerenje – optimalna visina bata
5.	Ručica mirujuća	3	4	465,0	– komad ima otisak – dalje smanjivanje visine dovelo bi do oštećenja alata

Implementacija dijagrama stanja upravljanja prese

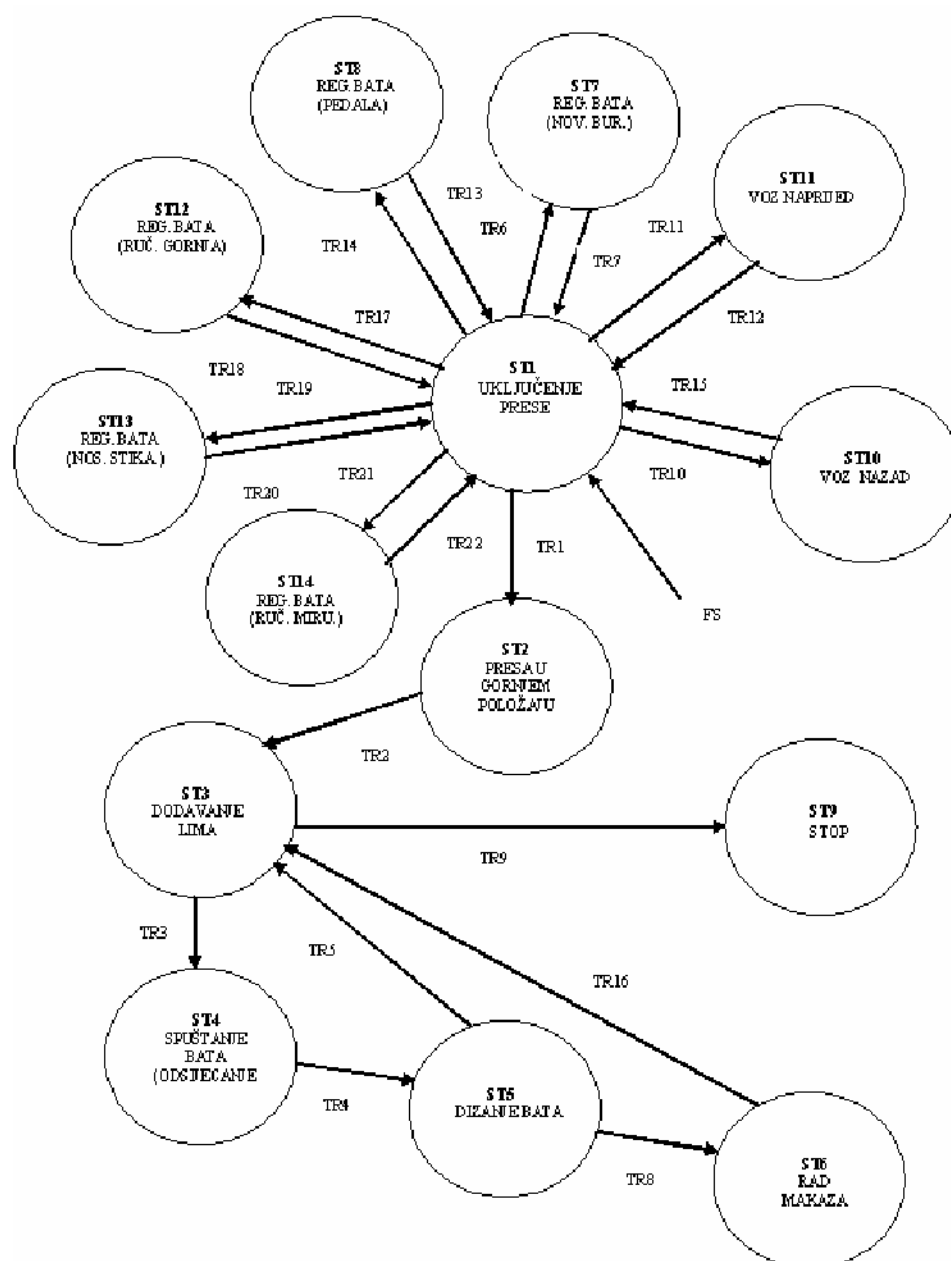
U ovom dijagramu stanja dato je takvo rješenje za podešavanje visine bata da kada se izabere određena pozicija automatski se bat podesi na optimalnu visinu. Na ovom dijagramu stanja (slika 1) uzeto je pet različitih poziciji, tj. pozicije koje su korišćene u eksperimentalnoj analizi, na osnovu koje se i došlo do optimalnih visina za ove pozicije. U ovom dijagramu stanja osim upravljanja za postavljanje optimalne visine bata, tu je prikazano i upravljanje radom kompletne prese.

Sekvencijalno upravljanje je najčešći zadatak kod upravljanja procesa. Sistem se sastoji od niza stanja, a prijelaz iz jednog stanja u drugo određen je ispunjenjem zadatih uslova. Za naš sistem pokazaćemo kada on treba da pređe u drugo stanje, tj. kada su ispunjeni zadati uslovi (tranzicije) i u koje stanje treba da pređe. Jednačine tranzicija i stanja jednostavno se prevedu u leder dijagram. Dijagram stanja može biti opisan

skupom stanja sistema i njihovih međusobnih tranzicija (PLC S7-1200 manual). U tabeli 6 prikazane su jednačine tranzicija i stanja EMP prese za štancanje lima (Software and Hardware reference v. 3.5)

Tabela 6 – Jednačine tranzicija i stanja EMP mašine za štancanje lima
Table 6 – Equations of state and transitions and EMP machines for sheet metal stamping

Jednačine tranzicija EMP mašine za štancanje lima (presa) jesu:	Jednačine stanja EMP mašine za štancanje lima (presa) jesu:
$TR1 = ST1 \cdot GR2 \cdot DU$	$ST1 = (ST + TR12 + TR13 + TR14 + TR15 + FS) \cdot \overline{TR1} \cdot \overline{TR6} \cdot \overline{TR7} \cdot \overline{TR10} \cdot \overline{TR11}$
$TR2 = SE \cdot ST2 \cdot \overline{DGPP}$	$ST2 = (ST2 + TR1) \cdot \overline{TR2}$
$TR3 = SK \cdot GGPP \cdot \overline{DGPP} \cdot ST3$	$ST3 = (ST3 + TR2 + TR5 + TR16) \cdot \overline{TR3} \cdot \overline{TR9}$
$TR4 = ST4 \cdot DGPP$	$ST4 = (ST4 + TR3) \cdot \overline{TR4}$
$TR5 = ST5 \cdot SE \cdot GR3$	$ST5 = (ST5 + TR4) \cdot \overline{TR5} \cdot \overline{TR8}$
$TR6 = ST1 \cdot D1 \cdot F1$	$ST6 = (ST6 + TR8) \cdot \overline{TR16}$
$TR7 = ST7 \cdot SEB1$	$ST7 = (ST7 + TR6) \cdot \overline{TR7}$
$TR8 = ST5 \cdot SPNC$	$ST8 = (ST8 + TR13) \cdot \overline{TR14}$
$TR9 = ST3 \cdot \overline{SK}$	$ST9 = (ST9 + TR9)$
$TR10 = ST1 \cdot GR2 \cdot TNP \cdot \overline{TNZ}$	$ST10 = (ST10 + TR10) \cdot \overline{TR15}$
$TR11 = ST1 \cdot GR2 \cdot VP \cdot \overline{TNP} \cdot \overline{TNZ}$	$ST11 = (ST11 + TR11) \cdot \overline{TR12}$
$TR12 = ST11 \cdot VZ$	$ST12 = (ST12 + TR17) \cdot \overline{TR18}$
$TR13 = ST1 \cdot D2 \cdot F2$	$ST13 = (ST13 + TR19) \cdot \overline{TR20}$
$TR14 = ST8 \cdot SEB2$	$ST14 = (ST14 + TR21) \cdot \overline{TR22}$
$TR15 = ST101 \cdot VP$	
$TR16 = ST6 \cdot SS$	
$TR17 = ST1 \cdot D3 \cdot F3$	
$TR18 = ST12 \cdot SEB3$	
$TR19 = ST1 \cdot D4 \cdot F4$	
$TR20 = ST13 \cdot SEB4$	



Slika 1 – Stanja EMP mašine za štancanje lima (presa)
Figure 1– States of the EMP sheet metal stamping machine (press)

Analiza rezultata istraživanja

U eksperimentalnoj analizi istraživanja, gdje je uzeto pet različitih pozicija, došlo se do sljedećih rezultata:

– Prva pozicija koja je uzeta za eksperimentalnu analizu je „novi burnik“. Rezultati analize za ovu poziciju pokazani su u tabeli 1, gdje se može vidjeti da je optimalna vrijednost visine bata 449,6 mm. Za ovu poziciju može se vidjeti i to da ne postoji neka velika mogućnost smanjivanja visine bata u odnosu na ovu koja se pokazala kao optimalna, zbog toga što je debljina lima prilično mala za ovaj tip prese, tako da se mala promjena visine znatno odrazi na kvalitet komada. Dalje povećanje visine bata nema efekta, jer već na visini od 453,0 mm nema dovoljnog probijanja i odsijecanja, tako da je dalje povećavanje nepotrebno.

– Sljedeća analizirana pozicija je „pedala“. Optimalna visina bata za ovu poziciju je 481,5 mm. Ono što se može vidjeti na osnovu rezultata dobijenih za ovu poziciju (tabela 2) jeste da je ova visina veća od prethodne optimalne („novi burnik“) za oko 30 mm, što je i logično, jer se ova pozicija radi od debljeg lima u odnosu na prethodnu. Visina bata nije dalje smanjivana zbog rizika od oštećenja alata, a dalje povećanje ne bi imalo smisla, jer se već visina bata od 484,0 mm pokazala neprikladnom visinom.

– Na poziciji „ručica gornja“ dobijeni su sljedeći rezultati: lim koji se koristi za ovu poziciju je debljine 5 mm (tabela 3), što je dvostruko veća debljina u odnosu na poziciju „pedala“, pa je shodno tome i optimalna visina bata veća. U ovom slučaju visina je za 20 mm veća u odnosu na prethodnu poziciju „pedalu“. Optimalna mjera za ovu poziciju je 498,0 mm. Iz tabele 3 može se vidjeti i to da nema baš velike tolerancije na visini bata.

– Četvrta pozicija uzeta u ovoj eksperimentalnoj analizi je „nosilac stikala“. Optimalna visina bata za ovu poziciju je 449,05 mm (tabela 4). Ako se uporedi visina bata za ovu poziciju sa visinom od „novog burnika“ (tabela 1) može se zaključiti da su skoro identične, što je i logično, jer imaju skoro istu debljinu lima. Ova pozicija ima tanji lim za 0,1 mm, ali rupe koja se probija je veća za 2 mm, tako da se to kompenzira, što znači da se može koristiti ista visina, što je i pokazala ova analiza.

– Posljednja pozicija korišćena u analizi je „ručica mirujuća“. Ova pozicija se prema debljini lima koji se koristi može uporediti sa „pedalom“ koja koristi lim za 0,5 mm tanji od ove. Može se vidjeti da je visina bata kod ove pozicije manja od visine kod pozicije „pedala“, iako je lim deblji. Razlog za to je veličina rupe koja se probija, koja je kod ove pozicije puno manja nego kod „pedale“. Optimalna visina bata u ovom slučaju iznosi 465,5 mm (tabela 5).

Pokazuje se da se za svaki navedeni slučaj može napraviti program koji simulira rad prese sa optimalnim visinama bata, tj. da se bat automatski postavi na optimalnu visinu kada se izabere određena pozicija, čime se vrši optimiranje i radnog procesa. To je i pokazano u dijagramu stanja, odnosno u programu koji je izrađen na osnovu tog dijagrama stanja.

Zaključak

U ovom radu je pokazano kako učiniti rad prese efikasnijim, odnosno kako proizvodnju na pomenutoj presi učiniti efikasnijom. Tako je urađena eksperimentalna analiza na pet različitih pozicija i ustanovljene su optimalne visine bata. Ovakva analiza može se uraditi i za sve ostale pozicije. Predmet eksperimentalne analize bila je visina bata. Na osnovu pomenute analize urađen je dijagram stanja, na osnovu kojeg su napisane jednačine tranzicija i jednačine stanja, na osnovu kojih je izrađen program za upravljanje podešavanjem visine bata, kao i rada prese. Prethodno stanje je bilo takvo da se optimalna visina bata podešavala ručno. Ovakav način rada bio je neefikasan, davao je povećan škart materijala i usporavao proizvodnju. Novo rješenje je takvo da se bat automatski podešava na optimalnu visinu, nakon izabrane pozicije. Na taj način bi se ubrzala proizvodnja, a škart materijala bio bi smanjen na najmanju mjeru.

Literatura

Ambrožić, V., 2003, *Upravljanje i regulacija elektromotornih pogona, Predavanja III semestar, generacija 2003/2004.*, Tuzla.

Hodžić, A., 2008, *Upravljanje i regulacija elektromotornih pogona*, Autorizovana predavanja za predmet Energetska elektrotehnika na PDS Fakulteta elektrotehnike Univerzitet u Tuzli, Tuzla.

Jurković, B., 1990, *Elektromotorni pogoni*, Školska knjiga Zagreb.

Software and Hardware reference v. 3.5, [ebook], Dostupno na: <<http://www.siemens.com>>, Preuzeto: 12. 12. 2012. godine.

PLC S7-1200 manual [Internet], dostupno na: www.automation.siemens.com, 2011, Preuzeto: 05.05.2012. godine.

Upute za rukovanje presom za štancanje lima, 1989, Slovenija.

Prilog

Tabela 7 – Tabela simbola

Table 7 – Table of symbols

Symbols	Address	Data Type	Comment
AL	Q 4.4	BOOL	Alarm
AUP	I 1.7	BOOL	Alat u presi (senzor)
BD	Q 5.3	BOOL	Bat dole
BG	Q 5.2	BOOL	Bat gore
Cycle Execution	OB 1	OB 1	Glavni program
D1	I 4.0	BOOL	Debljina lima – Novi burnik
D2	I 4.2	BOOL	Debljina lima – Pedala
D3	I 4.6	BOOL	Debljina lima – Ručica gornja
D4	I 5.1	BOOL	Debljina lima – Nosilac stikala
D5	I 5.4	BOOL	Debljina lima – Ručica mirujuća
DGPP	I 0.6	BOOL	Donji granični prekidač prese
DL	Q 4.2	BOOL	Dodavanje lima
DU	I 0.2	BOOL	Dvoručni uklop (tasteri na pokretnom pultu)
F1	I 4.1	BOOL	Širina rupe – Novi burnik
F2	I 4.3	BOOL	Širina rupe – Pedala
F3	I 4.7	BOOL	Širina rupe – Ručica gornja
F4	I 5.2	BOOL	Širina rupe – Nosilac stikala
F5	I 5.5	BOOL	Širina rupe – Ručica mirujuća
FS	I 2.5	BOOL	First scan
GGPP	I 0.3	BOOL	Gornji granični prekidač prese
GR2	I 0.1	BOOL	Grebenasta sklopka u položaju 2
GR3	I 0.7	BOOL	Grebenasta sklopka položaj 3, automatski rad
PB	Q 4.0	BOOL	Podizanje bata
PD	I 1.0	BOOL	Taster za spuštanje bata
PG	I 1.1	BOOL	Taster za podizanje bata
RDDL	Q 4.3	BOOL	Radna dioda, dodavanje lima
SB	Q 4.1	BOOL	Spuštanje bata
SDU	Q 4.5	BOOL	Stezanje donjih upenjala
SE	I 0.4	BOOL	Signal encodera
SEB1	I 4.4	BOOL	Signal encodera bata – Novi burnik
SEB2	I 4.5	BOOL	Signal encodera bata – Pedala
SEB3	I 5.0	BOOL	Signal encodera bata – Ručica gornja
SEB4	I 5.3	BOOL	Signal encodera bata – Nosilac stikala
SEB5	I 5.6	BOOL	Signal encodera bata – Ručica mirujuća
SGU	Q 4.6	BOOL	Stezanje gornjih upenjala
SK	I 0.5	BOOL	Signal kontrole
SPNC	I 1.2	BOOL	Signal od PNC1000
SPNCD	I 2.1	BOOL	Signal od PNC1000 za donja upenjala

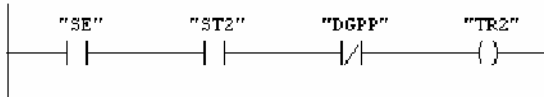
Symbols	Address	Data Type	Comment
SPNCG	I 2.3	BOOL	Signal od PNC1000 za gornja upenjala
ST1	M 2.1	BOOL	Stanje 1 – uključenje prese
ST10	M 3.2	BOOL	Stanje 10 – voz naprijed
ST11	M 3.3	BOOL	Stanje 11 – voz nazad
ST12	M 5.2	BOOL	Stanje 12 – Ručica gornja
ST13	M 5.3	BOOL	Stanje 13 – Nosilac stikala
ST14	M 5.4	BOOL	Stanje 14 – Ručica mirujuća
ST2	M 2.2	BOOL	Stanje 2 – Presa u gornjem položaju
ST3	M 2.3	BOOL	Stanje 3 – Dodavanje lima
ST4	M 2.4	BOOL	Stanje 4 – Spuštanje bata(odsjecanje)
ST5	M 2.5	BOOL	Stanje 5 – Dizanje bata
ST6	M 2.6	BOOL	Stanje 6 – Rad makaza
ST7	M 2.7	BOOL	Stanje 7 – regulacija bata(gore)
ST8	M 3.0	BOOL	Stanje 8 – Regulacija bata(dole)
ST9	M 3.1	BOOL	Stanje 9 – Stop
STOP	I 1.6	BOOL	Sigurnosni prekidač
TASTER	I 2.6	BOOL	Taster za resetovanje brojača
TDU	I 2.0	BOOL	Taster za stezanje donjih upenjala
TGU	I 2.2	BOOL	Taster za stezanje gornjih upenjala
TH	I 2.4	BOOL	Taster za uključenje hidraulike
TNP	I 1.4	BOOL	Taster za pokretanje voza naprijed
TNZ	I 1.5	BOOL	Taster za pokretanje voza nazad
TR1	M 1.0	BOOL	Tranzicija 1
TR10	M 4.0	BOOL	Tranzicija 10
TR11	M 4.1	BOOL	Tranzicija 11
TR2	M 1.1	BOOL	Tranzicija 2
TR3	M 1.2	BOOL	Tranzicija 3
TR4	M 1.3	BOOL	Tranzicija 4
TR5	M 1.4	BOOL	Tranzicija 5
TR6	M 1.5	BOOL	Tranzicija 6
TR7	M 1.6	BOOL	Tranzicija 7
TR8	M 1.7	BOOL	Tranzicija 8
TR9	M 2.0	BOOL	Tranzicija 9
TR12	M 4.2	BOOL	Tranzicija 12
TR13	M 4.3	BOOL	Tranzicija 13
TR14	M 0.1	BOOL	Tranzicija 14
TR15	M 0.2	BOOL	Tranzicija 15
TR16	M 0.3	BOOL	Tranzicija 16
TR17	M 4.4	BOOL	Tranzicija 17
TR18	M 4.5	BOOL	Tranzicija 18
TR19	M 4.6	BOOL	Tranzicija 19
TR20	M 4.7	BOOL	Tranzicija 20

Symbols	Address	Data Type	Comment
TR21	M 5.0	BOOL	Tranzicija 21
TR22	M 5.1	BOOL	Tranzicija 22
UH	Q 4.7	BOOL	Uključenje hidraulike
VNAP	Q 5.0	BOOL	Voz naprijed
VNAZ	Q 5.1	BOOL	Voz nazad
VP	I 1.3	BOOL	Senzor koji daje inform. da je voz u poč položaju
VZ	I 3.0	BOOL	Voz u krajnjem položaju
ZPBD	I 3.1	BOOL	Zadana pozicija bata – dole
ZPBG	I 3.2	BOOL	Zadana pozicija bata – gore
SS	I 3.3	BOOL	Induktivni senzor (makaze odsjekle)

Glavni program OB1:

Network 3 : Title:

Tranzicija 2



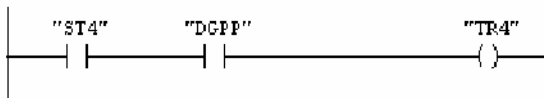
Network 4 : Title:

Tranzicija 3



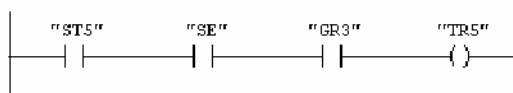
Network 5 : Title:

Tranzicija 4



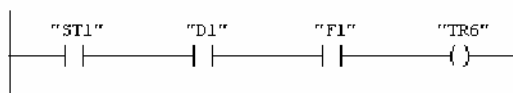
Network 6 : Title:

Tranzicija 5



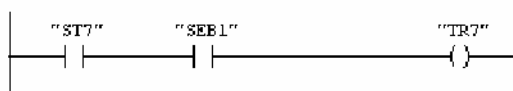
Network 7 : Title:

Tranzicija 6



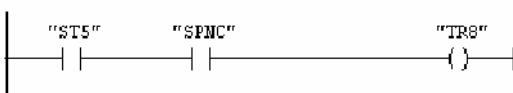
Network 8 : Title:

Tranzicija 7



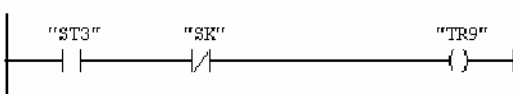
Network 9 : Title:

Tranzicija 8



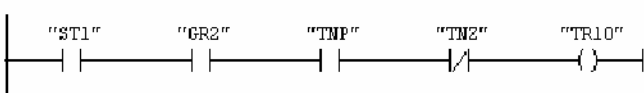
Network 10 : Title:

Tranzicija 9



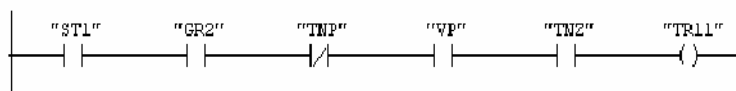
Network 11 : Title:

Tranzicija 10



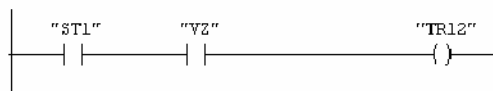
Network 12 : Title:

Tranzicija 11



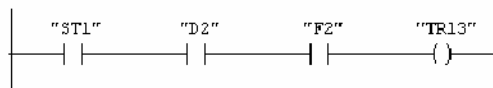
Network 13 : Title:

Tranzicija 12



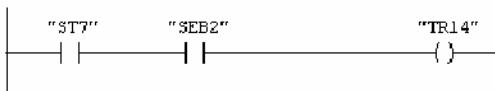
Network 14 : Title:

Tranzicija 13



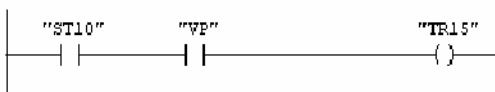
Network 15 : Title:

Tranzicija 14



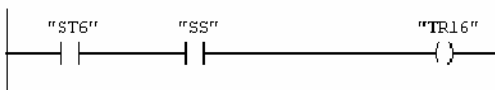
Network 16 : Title:

Tranzicija 15



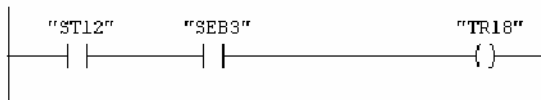
Network 17 : Title:

Tranzicija 16



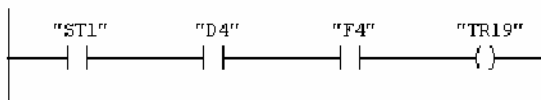
Network 18 : Title:

Tranzicija 18



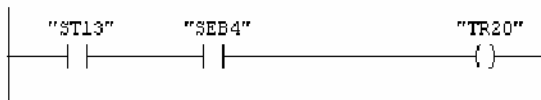
Network 19 : Title:

Tranzicija 19



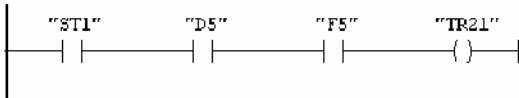
Network 20 : Title:

Tranzicija 20



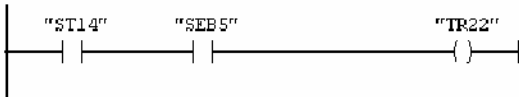
Network 21 : Title:

Tranzicija 21



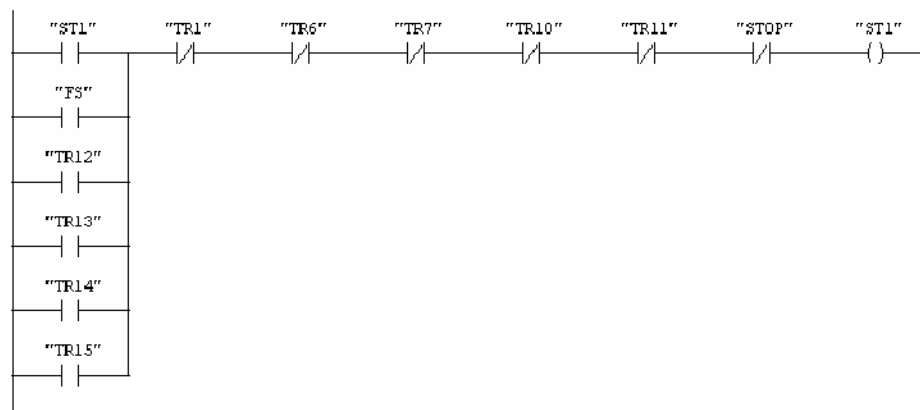
Network 22 : Title:

Tranzicija 22



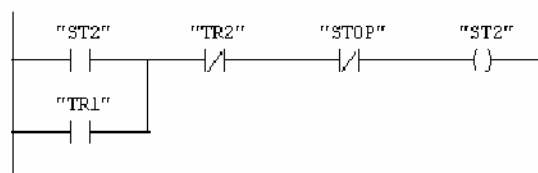
Network 23 : Title:

Stanje 1-uključenje prese



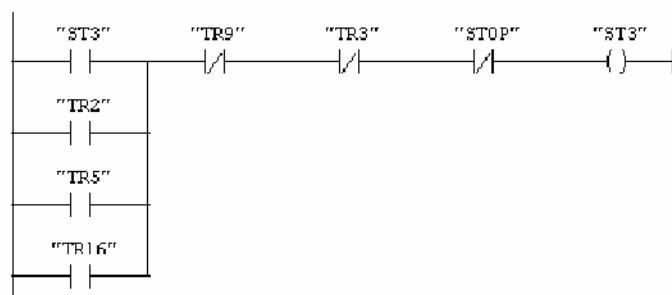
Network 24 : Title:

Stanje 2-Presa u gornjem položaju



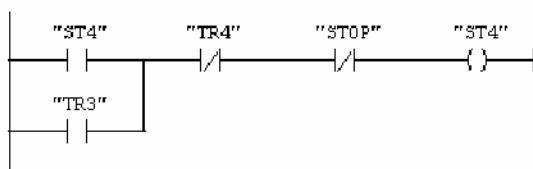
Network 25 : Title:

Stanje 3- Dodavanje lima



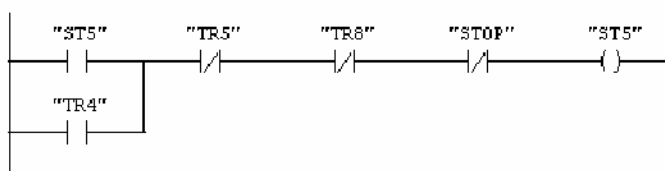
Network 26 : Title:

Stanje 4- Spuštanje bata i odsijecanje



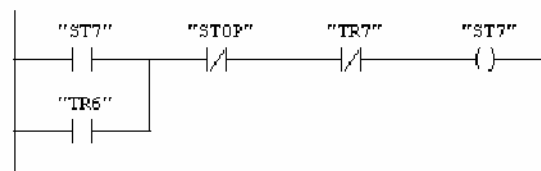
Network 27 : Title:

Stanje 5- Dizanje bata



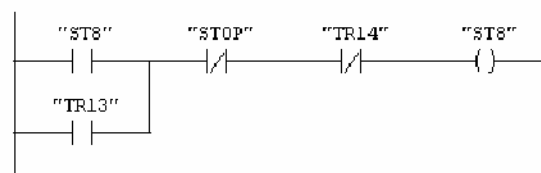
Network 28 : Title:

Stanje 7- Novi burnik



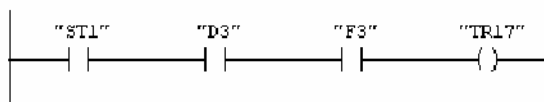
Network 29 : Title:

Stanje 8-Pedala

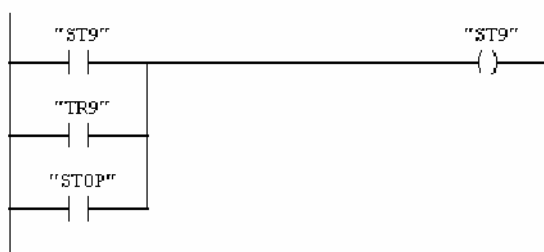


Network 30 : Title:

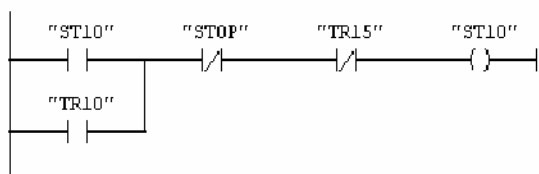
Tranzicija 17

**Network 31 : Title:**

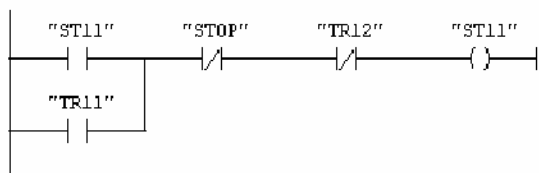
Stanje 9-Stop

**Network 32 : Title:**

Stanje 10-Voz nazad

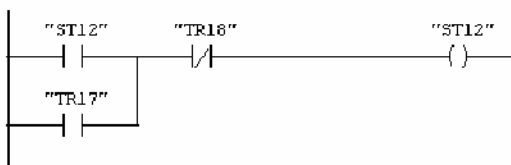
**Network 33 : Title:**

Stanje 11-Voz nazad



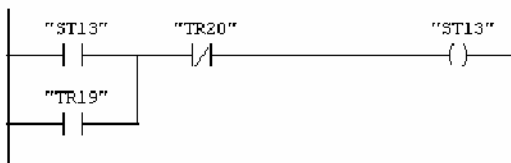
Network 34 : Title:

Stanje 12 - Ručica gornja



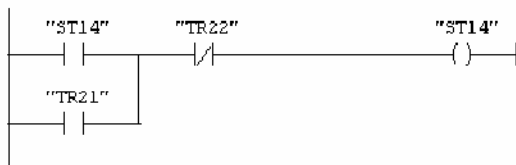
Network 35 : Title:

Stanje 13 - Nosilac stikala



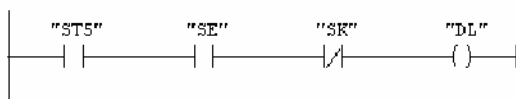
Network 36 : Title:

Stanje 14 - Ručica mirujuća



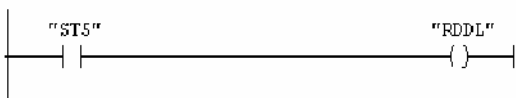
Network 37 : Title:

Izlaz-dodavanje lima



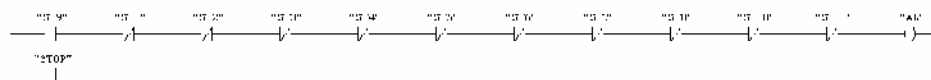
Network 38 : Title:

Izlaz-radna lampica dodavanja lima

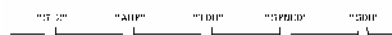


Network 39 : Title:

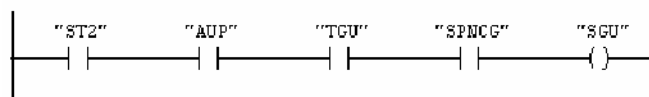
Izlaz-Alatima kaulova

**Network 40 : Title:**

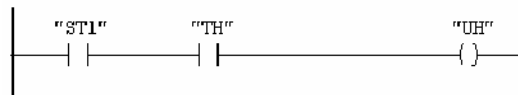
Izlaz-Stezanje donjih upenjala

**Network 41 : Title:**

Izlaz-Stezanje gornjih upenjala

**Network 42 : Title:**

Izlaz-Uključenje hidraulike

**Network 43 : Title:**

Izlaz-Voz naprijed

**Network 44 : Title:**

Izlaz-Voz nazad



Network 45 : Title:

Izlaz-Bat gore



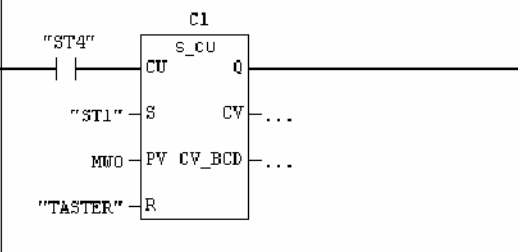
Network 46 : Title:

Izlaz-Bat dole



Network 47 : Title:

Comment:



CONTROL OF MACHINES (PRESSES) FOR SHEET METAL STAMPING

FIELD: Mechanical Engineering, Materials, Industrial Software
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary

This paper deals with the control of presses for sheet metal stamping. The analysis will be based on the experimental setup of the ram height. The experiment will be done for five different positions, i.e. metal sheet thicknesses. The previous state of the press was such that for every change of a position, i.e. metal sheet thickness it was necessary to adjust the ram height. The new solution shown in this paper, makes the process much easier and more efficient. In order to use another position, it will be enough to select a particular position and the ram will be automatically adjusted to a required height. This will speed up production and reduce scrap that would be otherwise created due to adjustment. The state diagram for the new solution is shown as well as the control program for the new solution.

Introduction

The introduction of this paper briefly describes the press that is the subject of this paper. This press has almost 50 different positions. The basic parameters for the press functioning are: top portion of the ram, stroke, feeding angle, release angle and ram height which is discussed in this paper.

Experimental adjustment of the ram height

In the experimental analysis, five different positions, namely: "Novi burnik", "Pedala", "Ručica gomja", "Nosilac stikala", "Ručica mirujuća" were used and for each one an optimum ram height was determined

Implementation of the diagram of the press control states

Based on thus obtained optimal heights, a press state diagram was made, serving subsequently as a basis for the equations of state and transition which resulted in a Step 7-based software package program for the press operation control. This solution makes the press operation more efficient and productive, i.e. the production is increased and metal waste reduced.

Analysis of the results
In the end, all the results of the experimental analysis are summarized, i.e., for each position which was the subject of the analysis, optimum ram heights are given. Then it is shown that for each given

case, a program can be created to simulate the operation of the press with the optimum ram height i.e. to set automatically the optimum height when choosing a certain position, thus optimizing the work process. This was shown in the state diagram i.e. in the program designed on the basis of the state diagram.

Conclusion

In this paper we demonstrate how to make the press operation more efficient. The experimental analysis was performed at five different positions, and the optimum ram heights were determined. Then the equations of transition and state were written, based on which a program for controlling and adjusting the ram height and press operation was designed. The ram height had previously been determined manually which increased scrap and reduced the production efficiency and effectiveness. With the new solution, however, the optimum ram height is automatically adjusted upon the position selection, the production is increased and scrap reduced to a minimum.

Key words: thickness; sheet metal; pressing; metals; machining; heights; controllability.

Datum prijema članka/Paper received on: 13. 02. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 11. 03. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 15. 03. 2013.

HEURISTIKA I OPERACIONA ISTRAŽIVANJA U FUNKCIJI EDUKACIJE SUBJEKATA SISTEMA CIVILNE ODBRANE ZA VANREDNE SITUACIJE

Paun J. Bereš^a, Kristian P. Bereš^b

^a Ministarstvo odbrane Republike Srbije,
Uprava za obaveze odbrane, CMO Zrenjanin

^b Univerzitet „Politehnika“, Računari i informatičke tehnologije,
Temišvar, Rumunija

DOI: 10.5937/vojtehg62-4360

OBLAST: informatika i računarstvo
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

U ovom radu prezentira se rešavanje problema primenom heuristike i operacionih istraživanja radi donošenja adekvatnih odluka u vanrednim situacijama i vanrednom stanju sa posebnim osvrtom na primenu heurističkog modela edukacije timova –štabova za vanredne situacije. Namenjeno je komandnom i nastavnom kadru, kao i subjektima Civilne odbrane, sistema zaštite i spasavanja (Sektor za vanredne situacije) i lokalne samouprave (načelnicima upravnih okruga, gradonačelnicima i predsednicima opština – komandantima)

Heuristički pristup rešavanju problema i operaciona istraživanja treba da omoguće komandnom kadru od lokalnog do nacionalnog nivoa donošenje adekvatnih odluka u vanrednim situacijama po proglašenju vanredne situacije i vanrednog stanja na delu teritorije ili celoj teritoriji Republike Srbije.

Ključne reči: civilna zaštita, rešavanje problema, operator, operaciona istraživanja, heuristika, odbrana, odluka.

Uvod

Savremenom svetu (postindustrijskom, tehnološkom, informatičkom, globalnom) potrebni su obučeni, spremni i sposobni ljudi, koji koriste nova kompleksna oruđa, brzo i efikasno usvajaju, izgrađuju i

primenjuju raznovrsna znanja, aktivno i odgovorno učestvuju u složenim društvenim i ekonomskim odnosima i procesima u svakodnevnom životu i donose adekvatne, racionalne i najbolje odluke, a pogotovo u **vanrednim situacijama**.

U svetu, koji se brzo menja i u kojem se znanja svakodnevno uslo-
žavaju i proširuju, a izvori informacija iz oblasti **vanrednih situacija** ne-
slučeno umnožavaju, podatak, informacija i činjenica mogu postati bes-
predmetni i prevaziđeni i pre nego što su upotrebljeni. „Heurističkim pri-
stupom rešavanju problema” (Kvašček, 1978) i projektovanjem budućih
sistema u funkciji vanrednih situacija teži se prevazilaženju pomenutih
problema.

Civilna odbrana je deo jedinstvenog sistema odbrane, organizova-
na radi uspešnog funkcionisanja državnih organa, organa autonomnih
pokrajina i jedinica lokalnih samouprava, privrednih društava i drugih
pravnih lica, radi zaštite i spasavanja i obezbeđenja uslova za život i rad
građana i zadovoljenje potreba snaga odbrane u vanrednom i ratnom
stanju.

Civilna zaštita je organizovan sistem čija je osnovna delatnost zašti-
ta, spasavanje i otklanjanje posledica elementarnih nepogoda, tehničko-
tehnoloških nesreća i drugih većih opasnosti koje mogu ugroziti stanovni-
štvo, materijalna i kulturna dobra i životnu sredinu u miru i vanrednom i
ratnom stanju (Bereš, 2005).

Integrisani sistem zaštite i spasavanja je uspostavljanje jedinstve-
nog sistema rukovođenja, organizovanja građana i logističke podrške u
zaštiti i spasavanju sa efikasnim sistemom informisanja u miru, vanrednoj
situaciji, vanrednom i ratnom stanju (Bereš, 2013).

Kadrovi Službe osmatranja, obaveštavanja i veze prikupljaju infor-
macije u skladu sa pravilnikom o razmeni informacija po listi pitanja. Na
teritoriji lokalne samouprave (region, opština) mogu se pojaviti sve vrste
opasnosti (rat, opasnosti od elementarnih nepogoda kao što su: poplave,
požari većih razmera, zemljotresi, klizanje tla i sl.) i tehničke nesreće, tj.
vanredne situacije (prepoznali smo 36) (Bereš, 2013), koje treba pra-
vovremeno otkriti radi preduzimanja mera zaštite i sklanjanja stanovni-
štva i materijalnih dobara.

Pravovremena, tačna i precizna informacija u ovakvim situacijama
znači život. Zbog toga se kadrovima koji rade na ovim poslovima posve-
ćuje posebna pažnja, kada je u pitanju njihova obučenost, spretnost u ru-
kovanju najmodernijom i raznovrsnom opremom, snalažljivost u vanred-
nim situacijama i pravovremenom prenosu informacija do subjekata za-
duženih za brze intervencije u pomenutim situacijama.

Pojam, zadatak i cilj operacionih istraživanja u odbrani

Operaciona istraživanja obuhvataju primenu naučnih metoda za rešavanje kompleksnih problema upravljanja i organizacije privrednih, administrativnih, vojnih i drugih sistema sa upravljanjem. To znači da su operaciona istraživanja interdisciplinarna oblast u kojoj se primenjuju različite kvantitativne metode i tehnike u pronalaženju najefikasnijih ili optimalnih rešenja za razne proizvodne, ekonomske, tehničke, vojne i druge probleme. Ova rešenja treba da posluže radi donošenja odluka u procesu upravljanja nekim sistemom, pa je zadatak operacionih istraživača ne samo da donosiocu odluka ponude jedno ili više rešenja, nego i da kvantitativnim metodama ocene kakve će biti posledice odluka donetih na osnovu takvih rešenja. Operacionim istraživanjima traže se optimalna rešenja u procesu donošenja odluka pri razmatranju problema sa raznim tipovima ograničenja. Po jednom od osnivača ove oblasti, poznatom engleskom fizičaru Blackett-u, operaciona istraživanja, kao multidisciplinarna oblast, imaju sledeći zadatak: jasno formulisanje cilja koji se želi postići, prikupljanje neophodnih podataka i proučavanje svih uslova ograničenja, definisanje matematičkog modela problema, izbor podesne metode za egzaktno rešenje problema i rešenje problema, odnosno utvrđivanje jednog ili više predloga koji se nude donosiocu odluke kao moguća rešenja. Iz svega toga se mogu izvesti sledeće glavne karakteristike operacionih istraživanja: sistemski pristup, primena naučnih metoda u izučavanju funkcionisanja sistema i pripremi odluka, formulisanje matematičkog modela i iznalaženje optimalnog ili zadovoljavajućeg rešenja i kompleksnost radnog tima koji analizira i rešava postavljene zadatke i predlaže rešenja donosiocu odluka i kasnije vrši uvid i kontrolu njihove realizacije u praksi (Petrović, 2009).

Sistemi u oblasti obrane, od konstrukcijskih, proizvodnih do informacionih, zahtevaju, kao i u drugim oblastima, detaljno poznavanje suštine i uslova primene različitih konstrukcijskih i tehnoloških rešenja, kako bi bili uspešno projektovani i primenjeni u konkretnom procesu i u funkciji konkretnog zadatka. U ovom kontekstu treba posmatrati i primenu teorije pouzdanosti i uslove u kojima se ostvaruje zadatak optimizacije pouzdanosti proizvodnih i drugih sistema u vanrednim situacijama. Težnja ka formiranju realnih modela i uspostavljanju egzaktnih veza između postignute pouzdanosti, rezultata rada i ostvarenih troškova ili profita, uzrokovali su formiranje vrlo složenih modela, sa numeričkog aspekta teško rešivih standardnim metodama operacionih istraživanja. Zbog toga se naučnoistraživački rad u ovoj oblasti, i uopšte u oblasti operacionih istraživanja, sve više usmerava ka razvoju heurističkih metoda (Ivković, Popović, 2005).

Heuristika u vanrednim situacijama

Heuristika je „nauka o načinima iznalaženja novih naučnih spoznaja” (Hotomski, 1995).

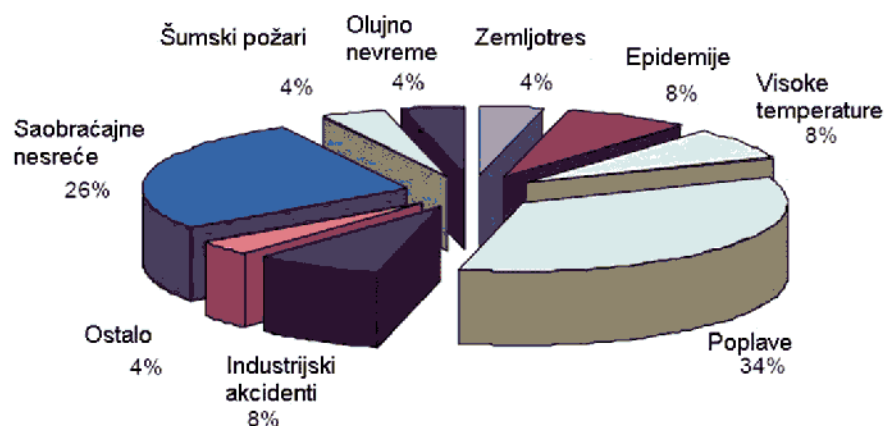
Heuristički prilaz problemu je empirijska pretraga ili optimizacioni metod koji obično rešava probleme, ali nema nikakav dokaz koji bi matematičari i fizičari prihvatili. Niko ne zna da li će uvek dati najbolji odgovor (rešenje problema). Dok je metaheuristika šematski metod za pronalaženje dobre heuristike za pojedinačne probleme, u evolutivnim (razvojnim) algoritmima ili fazi-logičkim aplikacijama često ce javljaju pitanja:

- „Kakve parametre podešavanja da koristim da bih dobio dobre rezultate kada primenjujem heurističku metodu X na problemu Y?”.
- „Kako da prilagodim parametre heuristike X da bih dobio bolje rezultate problema Y?”.
- „Šta je bolje – heuristika X ili heuristika Y ?” (Amaldi, 2003).

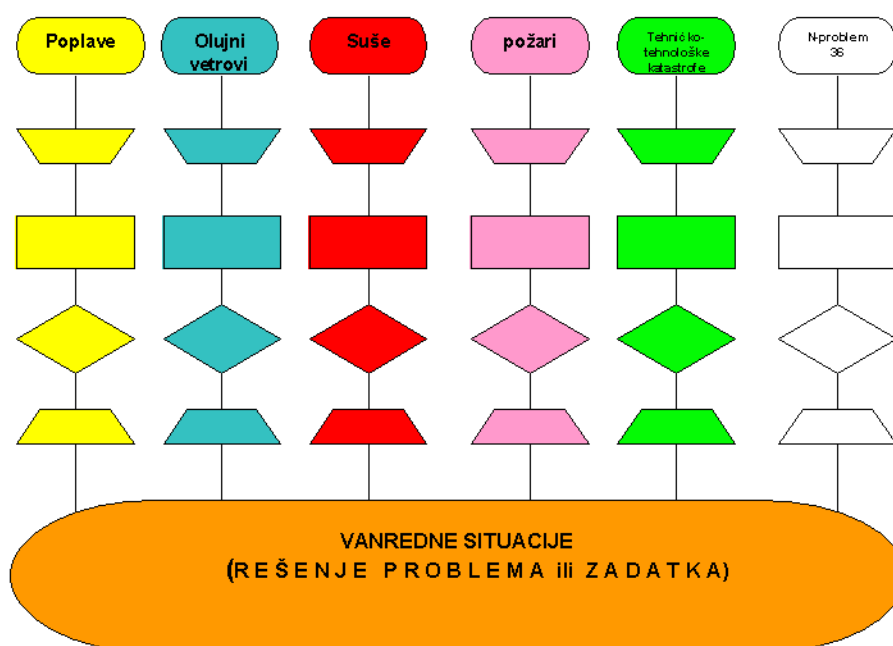
Pod heurističkim modelovanjem podrazumeva se stvaranje takvog modela koji ima heurističko značenje i reprezentuje više originala u jednom te istom modelu, tj. taj model omogućuje pronalaženje novih znanja i razvija stvaralaštvo zahtevajući od subjekata izvesnu samostalnost, uz uvažavanje nivoa predznanja svakog subjekta u svom domenu ponaosob (primer: frekventne vanredne situacije sa aspekta istorijske analize i sl). Heuristički model veoma malo determiniše radnje u toku rešavanja problema, tako da ostavlja subjektu – članu tima (**štaba za vanredne situacije**) mogućnost pronalaženja jednog ili svih mogućih rešenja zavisno od predznanja, stepena samostalnosti i njegovih stvaralačkih sposobnosti. Ovakav pristup rešavanju problema omogućuje svakom subjektu – članu tima (**štaba za vanredne situacije**) da postigne svoj maksimum, kako slabijim, prosečnim, tako i natprosečnim, tj. talentovanim članovima tima. Postavljanje problema heurističkom strategijom znači da je član tima stavljen u položaj da otkrije, primenom starog iskustva u novim situacijama, da poznata znanja dovodi u novu situaciju (funkciju), otkriva nove puteve kreativnog rešavanja problema (Bereš, 2013).

Rešavanje problema i donošenje adekvatnih odluka

Teorijski opis problema prikazan je kvantitativnim metodama operacionih istraživanja radi opisivanja stanja ili ustanovljavanja uzročno-posledičnih odnosa između pojava u svakoj od n-broja vanrednih situacija koje mogu da nas zadese (slika 1 i 2).



Slika 1 – Zastupljenost različitih vanrednih situacija u Srbiji i Crnoj Gori (1989–2006). Preuzeto iz Finalnog izveštaja o rizicima zemalja jugoistočne Evrope – Inicijative za upravljanje rizicima od vanrednih situacija u jugoistočnoj Evropi – SEEDRMI, jul 2007
Figure 1 – Representation of different emergency situations in Serbia and Montenegro (1989-2006). Taken from the Final Report on the risks of the countries of the South East Europe Initiative for risk management of emergencies in SEE-SEEDRMI, July 2007



Slika 2 – Problemska situacija – heuristički algoritam
Figure 2 – Problem situation-heuristic algorithm

Potencijalni rizici na nivou administrativno-teritorijalnih jedinica: Srednjobanatskog okruga – Srbija i županije Timiș – Rumunijasu:

- PRIRODNI RIZICI: opasne meteorološke pojave, kao što su: oluje, poplave, tornado, suša, jaki mrazovi, šumski požari, snežne lavine i destruktivne pojave geološke prirode: klizišta, zemljotresi, zemljotresi.

- BIOLOŠKI RIZICI: epidemije, životinjske epidemije, zoonoze.

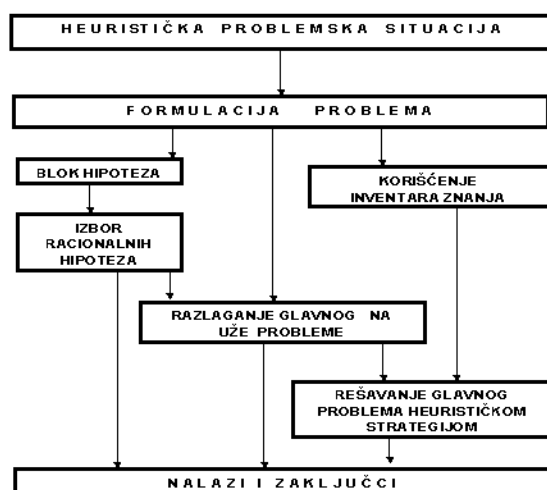
(http://www.gov.bc.ca/h1n1/attachments/pandemic_response_framework.pdf), (Ministry of Education, Canada).

- TEHNOLOŠKI RIZICI: industrijski, transport i skladištenje opasnih proizvoda, masovni požari i eksplozije, transporti drumski i železnički, plovni putevi, vazdušni putevi, nuklearni rizici, zagađenje voda, potencijalna zagađenja, rušenje zgrada, instalacija ili uređenja, nesreće prouzrokovane otkazivanjem javnih usluga, padanje predmeta iz atmosfere ili svemira, neeksplozivna municija ... **ukupno 36** rizika, tj. vanrednih situacija koje mogu da nas zadese Evroregion Banat sa jedne i druge strane granice (Bereš, 2013).

Rešavanje problema

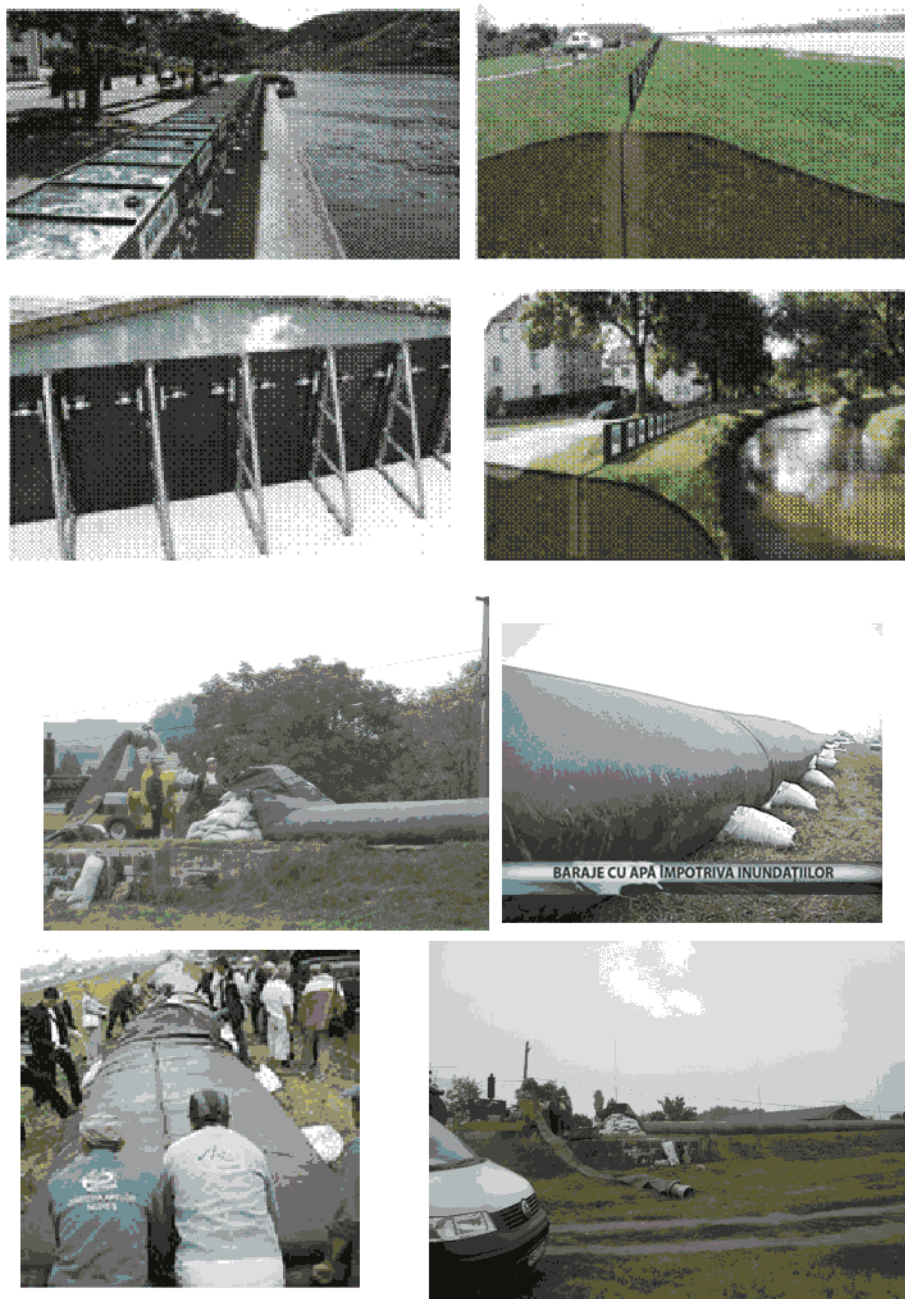
Heurističke metode analizirane su sa stanovišta njihove upotrebljivosti u praktičnoj primeni i testirane na standardnim ispitnim zadacima u novorazvijanom programskom okruženju za konstrukciju, ispitivanje i parametrizaciju heurističkih algoritama (Bereš, 2013). Metode su upoređene sa vodećim heurističkim metodama i upotrebljene za rešavanje problema frekventnih vanrednih situacija u realnom skupu vanrednih situacija koje mogu da nas zadese.

Sematski prikaz rešavanja problema heurističkom strategijom



Slika 3 – Rešavanje problema heurističkom strategijom (Bereš, 2013)

Figure 3 – Problem solving using the heuristic strategy (Bereš, 2013)



Slika 4 – Nove tehnologije – mobilni nasipi
 Figure 4 – New technologies – mobile dykes
 (www.noah-systems.de & www.sealegs.com)



Sredstva za brze intervencije sa kopna na vodi;
– from land to water;



Sredstva za brze intervencije iz vazduha;
– from the air;

(<http://martinjetpack.com/video-gallery.aspx>)



Sredstva veze (ALE-Automatic Link Establishment).
means of communication(ALE-Automatic Link Establishment).

Slika 5 – Sredstva za brze intervencije:
Figure 5 – Means for rapid intervention:

Edukacija – rešavanje problema – donošenje odluka

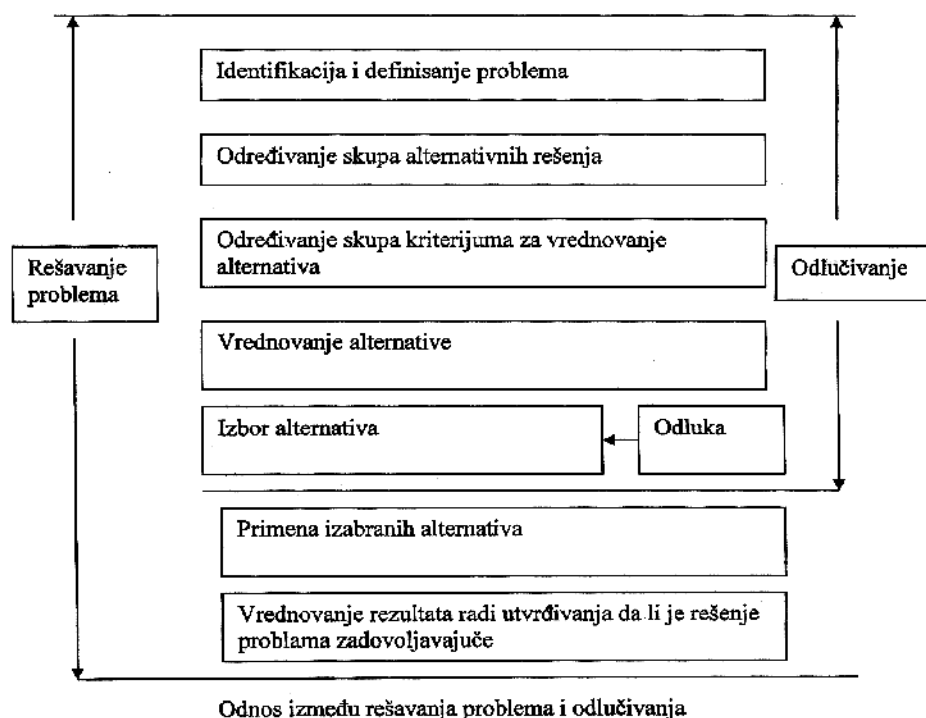
Donošenje odluke je problem koji se pojavljuje u svakoj delatnosti. U kontekstu višekriterijumske optimizacije problem odlučivanja najčešće se posmatra kao problem u kojem se donositelj odluke mora opredeliti za jednu od alternativa, uzimajući u obzir sve relevantne faktore, odnosno kriterije. Kako su kriteriji po pravilu konfliktni, izbor donositelja odluke neće biti

optimalno rešenje u tradicionalnom smislu, već će biti reč o zadovoljavajućem rešenju od kojeg u datoj situaciji ne postoji bolje, a to su heurističke metode, u našem slučaju primenjene u edukaciji štabova za vanredne situacije kroz rešavanje problema i donošenje odluka (Bereš, 2013).

Članovi štaba za vanredne situacije suočeni su sa lepezom problema (slika 1 i 2), koje treba rešavati heurističkim metodama (slika 3) i lepezom mogućnosti (slika 4 i 5), koje treba staviti u funkciju rešavanja problema, tj. doneti pravovremenu i adekvatnu odluku (slika 6).

Štab za vanredne situacije čine predstavnici iz:

- lokalnih samouprava (gradova i opština),
- MUP-a – Sektor za vanredne situacije,
- MO – Uprava za obaveze odbrane,
- javnih– komunalnih preduzeća,
- zdravstva– hitne medicinske pomoći,
- Crvenog krsta,
- medija i dr..



Odnos između rešavanja problema i odlučivanja

Slika 6 – Odnos: rešavanje problema/odlučivanje
Figure 6 – Relation-problem solving/decision making

Efekti obrazovanja putem rešavanja heuristički koncipiranih problema u pogledu povećanja vaspitno-obrazovnih ishoda

Eksperimentalno istraživanje realizovano je na izabranim nastavnim sadržajima iz oblasti vanrednih situacija, pogodnih za obradu heurističkim pristupom koje je uslovalo adekvatne nastavne metode, oblike i sredstva rada radi trajnog sticanja znanja. Realizacija rada u eksperimentalnoj grupi E1 odvijala se kroz intenzivniji misaoni rad vojnika na civilnom služenju, poštovanje određenih faza rada i povećane saznajne efekte. Istraživanje je sprovedeno u Odeljenju za vanredne situacije Srednjobanatskog okruga Zrenjanin. Eksperimentom su obuhvaćene dve grupe vojnika na civilnom služenju koji čine jednu eksperimentalnu grupu gde želimo da ustanovimo koliki je napredak vojnika na civilnom služenju prilikom usvajanja gradiva iz oblasti vanrednih situacija, primenom heurističkog modela pomenute teme. U eksperimentalnoj grupi izabrani programski sadržaji realizovani su primenom heurističkog modela kao putokaz (uputstvo) u toj realizaciji. Zavisnu varijablu eksperimentalnog istraživanja definisali smo kao: „**povećane efekte nastave pri edukaciji vojnika na civilnom služenju iz oblasti vanrednih situacija, putem korišćenja heuristike i operacionih istraživanja (OI)**“.

Uticaj korišćenja heurističkog modela na efekte nastave iz oblasti vanrednih situacija ogleda se u rezultatima ispitivanja znanja vojnika na civilnom služenju. Proučavanjem heuristike i OI u nastavi, analizom i selekcijom izvršen je izbor najpogodnijih sadržaja, čija primena obezbeđuje optimalne efekte nastave iz oblasti vanrednih situacija, u uslovima kombinovanja frontalnog i individualnog rada.

Rezultati delovanja eksperimentalnog faktora dobijeni su na osnovu sprovedenog testiranja vojnika na civilnom služenju, na kraju svake nastavne jedinice ili nastavne teme. Da bi ustanovili čist učinak eksperimentalnog faktora od rezultata finalnog stanja, tj. kvantiteta usvojenih znanja, oduzeli smo inicijalno stanje (ono što su vojnici na civilnom služenju već znali), tj. rezultate inicijalnog stanja koje smo odredili na početku navedene programske oblasti testiranjem vojnika na civilnom služenju (v/cs).

Eksperimentom je obuhvaćeno 84 vojnika na civilnom služenju (v/cs). Aritmetička sredina finalnog stanja svih učesnika bila je $X_f = 4,29$, a aritmetička sredina inicijalnog stanja $X_i = 3,45$. Prema tome, prosečna efikasnost eksperimentalnog faktora $XF = X_f - X_i = 4,29 - 3,45 = 0,84$ ili procentualno $XF\% = 17\%$. Naravno, ovde nismo koristili rezultate pojedinih vojnika na civilnom služenju (v/cs) već smo uzeli u obzir aritmetičke sredine. Na osnovu toga možemo konstatovati da je čist učinak vojnika na civilnom služenju (v/cs) heurističkog modela oko 17%, što znači da se nivo znanja vojnika povećao na završetku realizacije nastavne jedinice, tj. blok-časa za 17% u odnosu na znanja koja su vojnici na civilnom služenju (v/cs) imali na početku.

Zaključak

Prednost heurističkog modela edukacije predstavlja timski rad u rešavanju problema u vanrednim situacijama, jer više ljudi donosi različite veštine u tim, što pospešuje efikasnost. Takođe, karakteristike ovog modela su i: više znanja i informacija; heuristička predviđanja problema; veće razumevanje i posvećenost problemima u vanrednim situacijama; fokus, usredsređenost na problem; proces odlučivanja po fazama sa odgovarajućim aktivnostima.

Faza odlučivanja predstavlja proces donošenja odluke i obuhvata sledeće aktivnosti: analizu problema i definiciju ciljeva, analizu rizika, razradu strategija, razradu modela i simulacija ponašanja i donošenje odluke i njeno prenošenje na subjekte; primenu heurističkih tehnika na rešavanje kombinatornih problema u vanrednim situacijama; primenu heurističkih metoda usmerenu na dva pravca: (a) na rešavanje složenih problema koji se mogu predstaviti u kvantitativnom obliku, ali su toliko složeni da njihovo rešenje nije moguće naći pomoću strogih analitičkih tehnika i (b) na probleme koji se ne mogu predstaviti matematičkim modelom, jer su promenljive u modelu kvantitativne prirode. Cilj heurističke metode jeste da omogući nalaženje prihvatljivih rešenja složenih problema koji ne mogu da se reše pomoću klasičnih metoda i rešavanje heuristički koncipiranih problema (ovaj pojam označava: veštinu korišćenja relativnih znanja u postizanju postavljenih ciljeva, transformaciju dobijene situacije u željenu ili unapred definisanu pomoću razumevanja problema i sprovođenjem adekvatnih upravljačkih akcija). Pojam rešavanje problema označava razumevanje događaja i transformaciju znanja u odgovarajuće akcije. Rešavanje problema može da se ostvari na dva načina: **primenom heurističkih metoda** (rešavanje problema sa aspekta upravljanja podacima) i **primenom analitičkih metoda** (rešavanje problema sa aspekta upravljanja modelima). Razvijanjem modela i metoda unapredio bi se kvalitet donošenja odluka kvantitativnim sredstvima (softverska podrška), a radi racionalnijeg korišćenja resursa (energije, novca, vremena, radne snage, hrane, itd.) u svim vanrednim situacijama. Takođe, važno je predlaganje originalnih rešenja i biti konkurentan vodećim istraživanjima u oblasti vanrednih situacija. Pored toga, potrebno je uključivati mlade istraživače i osposobljavati ih da u budućnosti budu vodeći domaći i svetski eksperti u oblasti vanrednih situacija.

Ovi rezultati mogu služiti kao putokaz pri planiranju i opremanju svih subjekata sistema odbrane savremenim sredstvima za brzo reagovanje u vanrednim situacijama (kao što su: nove tehnologije – mobilni nasipi; sredstva za brze intervencije sa kopna na vodi i iz vazduha – protivgradni, protivpožarni avioni i sl i sredstva veze –ALE-Auto-

matic Link Establishment), kao i za projektovanje predloga kurikuluma za osposobljavanje kadrova Civilne odbrane (lokalnih samouprava, privrednih društava, javnih preduzeća, udruženja, organizacija javnog informisanja, NVO i sl.), Sektora za vanredne situacije MUP-a, (štabova za vanredne situacije), subjekata Ministarstva odbrane (Uprave za obaveze odbrane, Civilno-vojne saradnje J-9, Vojske Srbije) i drugih subjekata na teritoriji Republike Srbije. Cilj je da se stvori kontinuitet u praćenju, obučavanju i osposobljavanju budućih kadrova neophodnih reformisanoj Civilnoj odbrani u vanrednim situacijama i vanrednom stanju kako bi se mladi edukovali u duhu racionalnog korišćenja postojećih resursa, kroz timski rad na zajedničkom projektu koji objedinjuje različite ideje članova tima – uključenost svih subjekata sa lokalnog nivoa u funkciji upravljanja vanrednim situacijama (poplave, olujni vetrovi, suše, požari, tehničko-tehnološke katastrofe, i sl.) i stavljanje ovakvih modela u funkciju vanrednih situacija kroz demonstraciju primene na konkretnim primerima i donošenju pravovremenih racionalnih odluka u preventivnom delovanju i otklanjanju posledica eventualnih katastrofa koje mogu da nas zadese.

Literatura

Amaldi, E., Capone, A., Malucelli, F., 2003, Optimization models with power control and algorithm.

Bereš, P., 2005, Heuristički modeli nastave politehničkog obrazovanja u osposobljavanju kadrova za potrebe civilne odbrane, doktorska teza, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet, Zrenjanin.

Bereš, P., 2013, Heuristički model edukacije i prototip sistema za daljinsko aktiviranje sirena u vanrednim situacijama, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(1), str. 46-57.

Kvašček, R., 1978, Modeli procesa učenja, Beograd, Prosveta.

Hotomski, P., 1995, Sistemi veštačke inteligencije, Tehnički fakultet, „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin.

Ivković, B., Popović, Ž., 2005, Upravljanje projektima u građevinarstvu, Građevinska knjiga, Beograd.

Petrović, 2009, Primena operacionih istraživanja u građevinarstvu sa posebnim osvrtom na dinamičko programiranje, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu.

Ministry of Education, Canada. Pandemic Response Framework And Pandemic Planning Guidelines for School Districts, [Internet], 2009.

http://www.gov.bc.ca/h1n1/attachments/pandemic_response_framework.pdf. (pristupano 2010)

www.noah-systems.de & www.sealegs.com (pristupano 2010)

<http://martinjetpack.com/video-gallery.aspx> (pristupano 2010)

HEURISTICS AND OPERATIONAL RESEARCH IN EMERGENCY SITUATIONS AND CIVIL DEFENCE EDUCATION

FIELD: Computer Science, Information Technology

ARTICLE TYPE: Professional Paper

Abstract:

This paper presents problem solving using heuristics and operational research in order to make appropriate decisions in emergency situations with a particular emphasis on the application of a heuristic model of team training for emergency situations. It is intended for military command and teaching personnel as well as for civil defense personnel (Department of Emergency Management) and local government authorities (administrative district chiefs and mayors - commanders).

The heuristic approach to problem solving should enable adequate decision making for command staff from the local to the national level after the proclamation of emergency and a state of emergency in some regions or the whole territory of Serbia.

Keywords: civil protection; problem solving; operator; operational research; heuristics; defense; decision.

Datum prijema članka/Paper received on: 23. 08. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 04. 10. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 06. 10. 2013.

METODOLOGIJA ZA IZBOR TRASE ZA TRANSPORT OPASNOG TERETA – STUDIJA SLUČAJA

Slobodan M. Starčević^a, Aleksandar M. Gošić^b

^a Ministarstvo odbrane Republike Srbije,
Kabinet ministra, Beograd

^b Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Sektor za materijalne
resurse, Uprava za opštu logistiku, Beograd

DOI: 10.5937/vojtehg62-4970

OBLAST: logistika, saobraćaj
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

Transport opasnog tereta jedan je od zadataka jedinica i ustanova Vojske Srbije. Zbog specifičnosti ove vrste transporta, kao i obaveza iz zakonske regulative koja uređuje ovu oblast, lica uključena u proces planiranja i realizacije transporta dužna su da preduzmu mere kako se ne bi dogodio akcidentni događaj. Radi preduzimanja preventivnih mera vrši se procena rizika.

U Vojski Srbije najzastupljeniji je transport nafte i naftnih derivata za potrebe jedinica i ustanova. Prilikom planiranja transporta vrši se izbor trase za kretanje vozila. U radu je opisana metodologija za izbor trase za transport opasnog tereta i primena na konkretnom slučaju u Vojski Srbije.

Ključne reči: transport, planiranje, metodologija, opasan teret.

Uvod

Realizaciju svakog od transportnih procesa sa opasnim teretom prati određeni rizik od neželjenog – akcidentnog događaja sa štetnim posledicama koji nastaju usled izlivanja opasnog tereta (iz transportnog suda ili pakovanja), a zatim njenog štetnog dejstva, srazmerno klasi opasnosti kojoj ona pripada (eksplozija, požar, otrovna isparenja, radijacija,...).

Štete koje su nanete akcidentima, pri transportu opasnog tereta, mogu imati ogromne negativne posledice: umiranje i oboljevanje ljudi, zagađenje okoline, uništavanje prirodnih i nacionalnih bogatstva, oštećenje tehničkih sredstava, rušenje industrijskih objekata, zgrada za stanovanje, puteva, utovarno-istovarnih stanica itd.

Rizik se može smanjiti ukoliko se preduzmu sve potrebne mere i aktivnosti, a jedan od ključnih koraka za efikasno upravljanje rizikom pri transportu opasnog tereta jeste izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta.

Postojanje velikog rizika, odnosno mogućnost posledica koje mogu nastati pri transportu opasnog tereta zahteva od svih učesnika u transportnom procesu maksimalnu odgovornost.

Vojska Srbije u okviru svojih redovnih aktivnosti realizuje veliki broj zadataka transporta opasnog tereta na teritoriji Republike Srbije. I pored činjenice da je Vojska Srbije, u toku realizacije svojih zadataka, oslobođena obaveze primene odredbi zakona kojima se uređuje transport opasnog tereta u Republici Srbiji, potrebno je sagledati rizike koji se javljaju prilikom realizacije njegovog transporta.

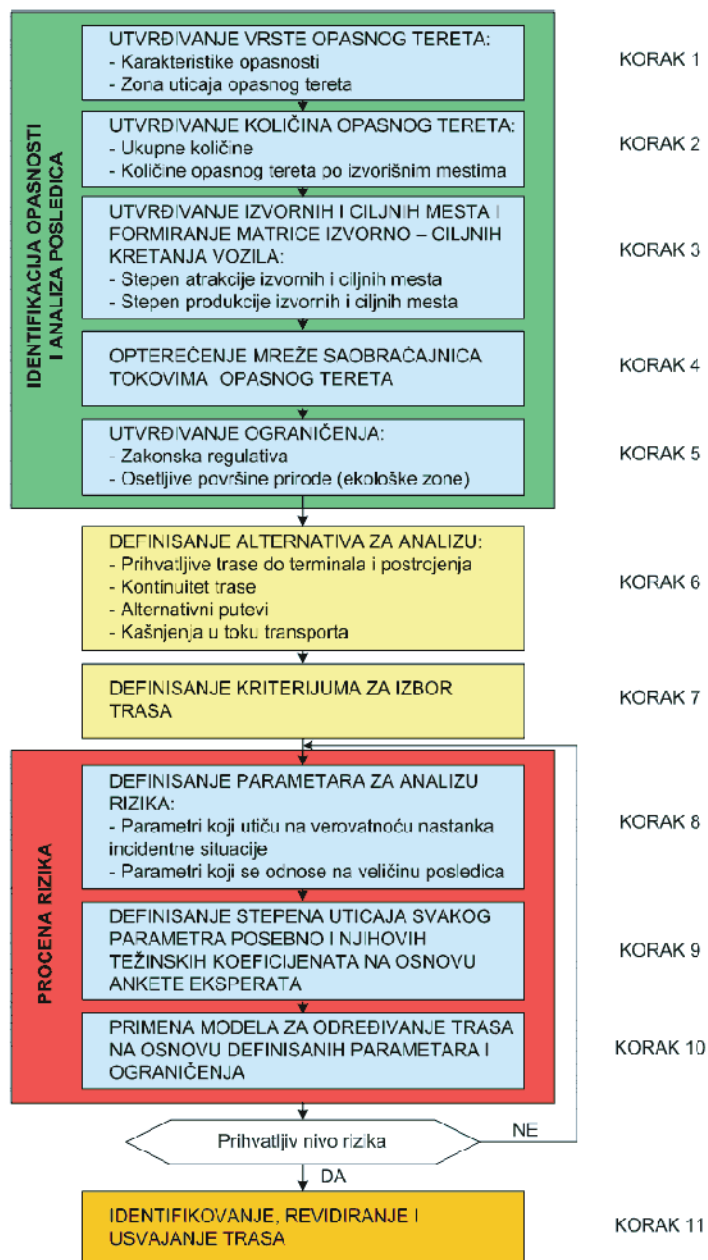
U ovom radu, primenom predložene metodologije za izbor trase za transport opasnog tereta, izvršiće se sagledavanje rizika pri transportu nafte i naftnih derivata iz skladišta Vojske Srbije u Kniću do kasame „Topčider“ u Beogradu.

Metodologija za izbor trasa za transport opasnog tereta

Transport opasnog tereta predstavlja vrstu transporta za koju se vežuju najveći rizici i najveća potencijalna veličina štete po stanovništvo i životnu sredinu. Radi toga neophodno je preduzeti određene mere kako bi se uticalo na smanjenje veličine rizika, odnosno sprovesti niz procedura i posedovati podatke o karakteristikama opasnog tereta, broju incidentnih situacija u prethodnom periodu, veličini posledica po stanovništvo i životnu sredinu, kao i kapacitetima službi za reagovanje u slučaju nastanka incidentne situacije.

Prva faza u procesu upravljanja rizikom od pokretnih izvora opasnog tereta i ključni korak za efikasno upravljanje rizikom od nastanka incidentne situacije jeste izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta.

Jedna od metodologija za izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta, a koja će biti korišćena u ovom radu, prikazana je na slici 1. i sastoji se od 11 osnovnih koraka kojima su obuhvaćene sve tri faze upravljanja rizikom od incidentne situacije (Milošević, 2012).



Slika 1 – Prikaz metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta sa aspekta upravljanja rizikom

Figure 1 – Methodologies for the selection of routes for the movement of vehicles transporting dangerous goods in terms of risk management

Utvrdjivanje karakteristika opasnosti opasnog tereta koji se transportuju predstavlja izuzetno značajan korak, jer ukoliko se na adekvatan način ne definišu vrste i stepeni opasnosti opasnog tereta, kao i zona uticaja tog tereta, nije moguće proceniti veličinu rizika.

Nakon identifikovanja vrste opasnog tereta koji se transportuje neophodno je utvrditi ukupne količine koje se transportuju na posmatranom području opsluge za koje se vrši izbor trasa za njegov transport.

U trećem koraku metodologije definišu se kretanja tokova opasnog tereta između svakog fiksnog izvora opasnog tereta i njenog cilja na osnovu kojih se, u četvrtom koraku, vrši opterećenje saobraćajnica veličinama idealnih tokova opasnog tereta i dobija opterećenje saobraćajne mreže tokovima opasnog tereta.

U petom koraku, koji predstavlja i završni korak u okviru identifikacije opasnosti i analize posledica, definišu se ograničenja koja mogu uticati na izbor trasa (fizička ograničenja, ekološke zone, ograničenja u okviru zakonskih regulativa...).

Nakon toga definišu se alternative za analizu i vrši definisanje kriterijuma za izbor trasa, što predstavlja šesti i sedmi korak. Na osnovu alternativa i kriterijuma iz skupa saobraćajnica koje opslužuju izvorišta i ciljeve vrši se izbor saobraćajnica koje zadovoljavaju sve zahteve u pogledu transportnih zahteva.

Izabrane trase moraju biti proverene sa aspekta dozvoljene veličine rizika, odnosno mora se utvrditi veličina rizika na svakoj deonici pojedinačno izabranih trasa – izvršiti procena rizika. Da bi se izvršila procena rizika, neophodno je definisati parametre koji mogu imati uticaja na veličinu rizika i povezati svaki od parametara sa adekvatnom veličinom rizika.

Nakon definisanja parametara i njihovih težinskih vrednosti, pristupa se proceni rizika za svaku od deonica izabranih trasa, odnosno formira se matrica rizika za svaku od izabranih deonica. Na osnovu utvrđene vrednosti rizika za svaku deonicu, donosi se odluka da li je posmatrana deonica dozvoljena za transport opasnog tereta ili ne.

Izbor trase za transport nafte i naftnih derivata za potrebe jedinica Vojske Srbije

Primena predložene metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta biće prikazana na primeru izbora trasa za transport nafte i naftnih derivata iz skladišta Vojske Srbije u Kniću do garnizona Beograd.

Utvrđivanje vrste opasnog tereta

Prema međunarodnoj klasifikaciji (Službeni glasnik RS br. 88, 2010) (United Nations, 2011) opasan teret se svrstava u devet različitih klasa i svaka od klasa opasnog tereta ima svoje karakteristike opasnosti, odnosno vrste i stepene opasnosti.

Nafta i njeni derivati (benzin, dizel i dr.) pripadaju klasi 3 opasnog tereta – zapaljivih tečnosti. Karakteristike koje definišu svaku vrstu opasnog tereta, pored njegovih fizičkih i hemijskih osobina, jesu i karakteristike opasnosti, odnosno vrsta i stepen opasnosti.

Nafta i naftni derivati, prema svojim karakteristikama opasnosti, pripadaju grupi F1 – zapaljive tečnosti bez dodatnog rizika koje isparavaju na temperaturi od 50°C pri pritisku manjem od 300 kPa, nalaze se delimično u gasovitom stanju na temperaturi od 20°C i standardnom pritisku 101,3 kPa i imaju tačku paljenja na temperaturi manjoj ili jednakoj 61°C (United Nations, 2011).

Opasnosti koje prete od ove vrste opasnog tereta jesu opasnost od požara i opasnost po zdravlje. Nafta i naftni derivati predstavljaju zapaljive tečnosti čije pare sa vazduhom na otvorenom prostoru čine zapaljive, a u zatvorenom prostoru eksplozivne koncentracije koje se u dodiru sa izvorom toplote veoma lako i brzo pale.

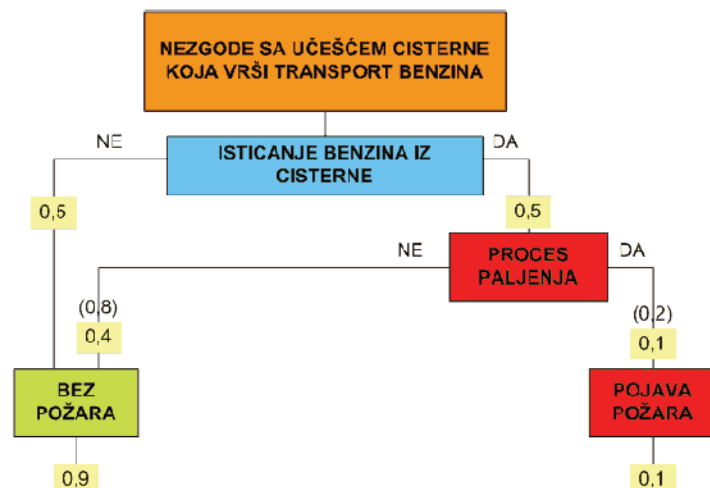
Količina oslobođenih para u vazduhu zavisi od isparljivosti tečnosti, te je benzin, kao najispariviji, istovremeno i najopasniji, jer se kod njega, u normalnim uslovima, najviše tečnosti pretvori u paru koja sa vazduhom čini opasnu koncentraciju. Pare i tečnosti naftnih derivata štetne su po zdravlje ljudi, naročito u većim koncentracijama i pri dužim izlaganjima. Pare su prozime – nevidljive i teže od vazduha, pa u zatvorenim prostorijama mogu izazvati gušenje. Pare benzina su otrovne, pa mogu izazvati i trovanje, dok tečnosti u dodiru sa kožom pri čestom izlaganju izazivaju njeno oštećenje.

Druga karakteristika opasnosti kod svakog opasnog tereta predstavlja stepen opasnosti, koji se definiše pomoću tzv. „ambalažnih grupa”.

Nafta i naftni derivati se, u skladu sa klasifikacijom u odnosu na stepen opasnosti (United Nations, 2011), svrstavaju u ambalažnu grupu III – grupe opasnog tereta sa malim nivoom opasnosti, čija je tačka paljenja jednaka ili veća od 23°C, ali manja ili jednaka 60,5°C, osim benzina koji pripada ambalažnoj grupi II – grupe opasnog tereta sa srednjim nivoom opasnosti, čija je tačka paljenja manja od 23°C i početna tačka ključanja veća od 35°C.

Nakon definisanja vrste i stepena opasnosti neophodno je definisati i stablo događaja za naftu i naftne derivate kada dođe do primarne opasnosti. Stablo događaja pokazuje kolika će biti verovatnoća pojave određenih negativnih pojava prilikom nastanka incidentne situacije.

Na osnovu velikog broja incidentnih situacija definisano je stablo događaja za naftu i naftne derivate (slika 2) (Milovanović, 2012).



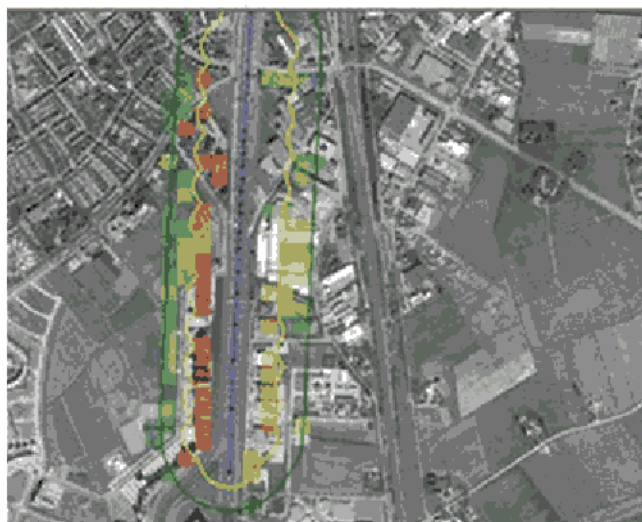
Slika 2 – Stablo događaja za naftu i naftne derivate
Figure 2 – Event tree for oil and petroleum products

Kao što se sa slike može videti, prilikom nastanka incidentne situacije sa opasnim teretom klase 3 – benzin, verovatnoća isticanja ovog opasnog tereta iz transportnog suda iznosi 0,5, odnosno verovatnoća da dođe do pojave požara iznosi 0,2. To praktično znači da će u svakoj desetoj incidentnoj situaciji u kojoj učestvuje cisterna koja vrši transport benzina doći do požara.

U ostalim slučajevima, u 90% slučajeva pri incidentnoj situaciji neće doći do požara, ali će u 40% incidentnih situacija doći do isticanja opasnog tereta iz transportnog suda, što za posledice može imati zagađenje zemljišta i vodotokova ili vodovodne i kanalizacione mreže ukoliko opasan teret prodre do ovih instalacija.

Za ostale opasne terete klase 3 – dizel goriva, usvojeno je isto stablo događaja, jer imaju isti klasifikacioni kod kao i benzin – F1, odnosno istu vrstu opasnosti od požara (Milovanović, 2012).

Poslednja karakteristika izabrane vrste opasnog tereta koja je od izuzetne značajnosti jeste veličina uticajne zone. Može se zaključiti da određene vrste opasnog tereta, kada dođe do nastanka incidentne situacije, mogu izazvati različite efekte. Veoma važna osobina opasnog tereta, pored njenih vrsta i stepena opasnosti, jeste zona uticaja opasnog tereta, koja predstavlja radijus od mesta, odnosno izvora do krajnje granice negativnog uticaja opasnog tereta uzrokovano isticanjem iz tovarnog prostora, odnosno transportnog suda.



Slika 3 – Zona uticaja opasnog tereta
Figure 3 – Zone of influence of dangerous goods

Faktori koji utiču na širinu uticajne zone delovanja opasnog tereta su (Jovanović i ostali, 2010):

- vrsta opasnog tereta,
- količina opasnog tereta,
- vremenski uslovi i
- karakteristike terena.

Imajući u vidu da se u radu vrši izbor trase za prevoz nafte i naftnih derivata, kao i činjenicu da takve vrste opasnog tereta spadaju u kategoriju zapaljivih tečnosti, može se zaključiti da veličina zone uticaja za naftu i naftne derivate iznosi 800 metara (Transport Canada Safety and Security, 2005).

Utvrdjivanje količina opasnog tereta

Da bi se stekao detaljan uvid u karakteristike tokova nafte i naftnih derivata za potrebe jedinica Vojske Srbije u garnizonu Beograd, potrebno je izvršiti identifikovanje mesta gde se opasan teret skladišti, proizvodi i sl., odnosno identifikovanje fiksnih izvora opasnog tereta. Kada se utvrde ukupne količine u zavisnosti od njihove vrste, neophodno je istražiti kojim sve vidovima transporta se vrši transport opasnog tereta od tih mesta do ciljnih odredišta.

Snabdevanje stanica pogonskog goriva naftom i naftnim derivatima za potrebe jedinica Vojske u garnizonu Beograd u 2012. godini realizovano je na dva načina:

- auto-cisternama za gorivo direktno od strane JP „NIS“ – 53% od ukupne količine transportovanog tereta i

– auto-cisternama za gorivo Vojske kojima se vrši transport nafte i naftnih derivata iz vojnog skladišta u selu Knić – 47% ukupne količine prevezene nafte i naftnih derivata.

Imajući u vidu da Vojska nema uticaja na izbor trase za kretanje autocisterni kojima se vrši transport nafte i naftnih derivata iz skladišta JP „NIS“, u ovom radu vršiće se izbor trase za kretanje auto-cisterni Vojske kojima se vrši prevoz nafte i naftnih derivata iz skladišta Knić, koje ujedno predstavlja i fiksni izvor opasnog tereta, odnosno izvorno mesto na kojem se vrši utovar.

Jedinice Vojske u garnizonu Beograd razmeštene su i grupisane na nekoliko lokacija, dok je popuna motornih vozila i drugih potrošača goriva za sve ustanove i jedinice centralizovana i organizovana na stanicama pogonskog goriva koje se nalaze u kasarni „Vasa Čarapić“ i kasarni „Topčider“.

Prvi korak prilikom definisanja transportnih zahteva Vojske na teritoriji grada Beograda jeste određivanje ukupne količine nafte i naftnih derivata koje se transportuju za potrebe jedinica Vojske koje su razmeštene u garnizonu Beograd.

Na teritoriji garnizona Beograd u toku 2012. godine za potrebe Vojske transportovano je ukupno preko 50.000 litara nafte i naftnih derivata, pri čemu je bitno istaći da su navedene količine isključivo transportovane drumskim transportnim sredstvima, jer u navedenim objektima Vojske u kojima se nalaze pumpne stanice nema infrastrukture koja bi omogućila snabdevanje naftnom i naftnim derivatima drugim vidovima transporta.

Utvrđivanje izvornih i ciljnih mesta i formiranje matrice izvorno-ciljnih kretanja vozila

Nakon definisanja raspodele transportnih zahteva u vremenu, neophodno je definisati i karakteristike transportnih zahteva u prostoru. Prvo što je neophodno uraditi prilikom definisanja karakteristika tokova u prostoru jeste definisanje karakteristika izvorno-ciljnih kretanja.

Analizirajući moguće pravce kretanja od skladišta Knić do Beograda, može se zaključiti da se za kretanje vojnih vozila auto-cisterni, kojima se vrši transport nafte i naftnih derivata, mogu koristiti dva putna pravca:

- s.Knić–Batočina–Beograd (korišćenje dela auto-puta Beograd–Niš) i
- s.Knić–Mrčajevci–Ljig–Beograd (korišćenje dela Ibarske magistrale).

U skladu sa navedenim, primenom metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta izvršiće se izbor trase i analiza rizika za izabranu trasu za kretanje vojnih vozila auto-cisterni kojima se vrši transport nafte i naftnih derivata iz skladišta Knić do kasarne „Topčider“ u Beogradu.

Opterećenje mreže saobraćajnica tokovima opasnog tereta

Radi sagledavanja svih relevantnih faktora koji utiču na rizik prilikom transporta opasnog tereta, potrebno je sagledati i analizirati karakteristike područja opsluge, odnosno sagledati postojeću mrežu saobraćajnica, ukupan broj stanovnika, raspodelu broja stanovnika po opštinama, strukturu stanovništva prema polu, godinama starosti, stepenu aktivnosti, visini zarada i dr.

Na osnovu podataka o starosnoj strukturi (Republički zavod za statistiku Srbije, 2010) može se zaključiti da je na području opštine Knić visok stepen odgovora stanovništva na incidentnu situaciju, jer je veliki procenat radno sposobnog stanovništva (preko 60%).

Na osnovu podataka o starosnoj strukturi (Republički zavod za statistiku Srbije, 2010) može se zaključiti da je na području opštine Gomji Milanovac visok stepen odgovora stanovništva na incidentnu situaciju, jer je veliki procenat radno sposobnog stanovništva (preko 65%).

Na osnovu podataka o starosnoj strukturi (Republički zavod za statistiku Srbije, 2010) može se zaključiti da je na području opštine Ljig veoma visok stepen odgovora stanovništva na incidentnu situaciju, jer veliki procenat čine radnosposobni stanovnici (oko 70%).

Na osnovu kriterijuma da minimalna širina saobraćajnice za transport opasnog tereta iznosi 5 m, može se zaključiti da 68,12%, odnosno 587,9 kilometara od ukupne dužine mreže saobraćajnica predstavlja potencijalne saobraćajnice za transport opasnog tereta.

Opštine Vračar, Stari grad i Novi Beograd, kao najgušće naseljene opštine, mogu predstavljati ograničenje za izbor potencijalnih trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta sa aspekta upravljanja rizikom, jer bi posledice bile veoma velike ukoliko bi se incidentna situacija dogodila u okviru bilo koje od njih.

Pored navedenih gradova i opština, potrebno je analizirati i karakteristike drugih manjih naselja kroz koje prolazi trasa za transport nafte i naftnih derivata, a koji mogu znatno uticati na bezbednost izvršenja prevoženja, odnosno na stepen rizika nastanka incidentne situacije.

Utvrđivanje ograničenja

Ograničenja koja se javljaju prilikom izbora trase za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta ogledaju se u raznim vrstama ograničenja definisanim u okviru zakonske regulative, fizičkim vrstama ograničenja i ograničenjima koja se odnose na osetljive oblasti prirode (tzv. „ekološke zone”).

Najbitnija oblast na području prostiranja trase za kretanje vozila za transport nafte i naftnih derivata iz s. Knić do kasarne „Topčider“ jeste Gružansko jezero.

Takođe, treba analizirati i položaj i uticaj tzv. „ekoloških zona“ na teritoriji grada Beograda. One predstavljaju površine pod zaštitom države ili one koje su od velikog značaja za stanovništvo.

Prilikom izbora trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta treba voditi računa da definisane trase sa svojim zonama uticaja ne dodiruju ili ne presecaju zone uže sanitarne zaštite, jer se izlivanjem opasnog tereta može ugroziti zdravlje građana.

Kada se posmatraju ograničenja u pogledu zakonske regulative, u Gradu Beogradu doneto je Rešenje o režimu saobraćaja teretnih i zaprežnih vozila kroz Beograd, kojim je regulisano da se na teritoriji gradskih opština: Voždovac, Vračar, Zvezdara, Zemun, Novi Beograd, Palilula, Rakovica, Savski venac, Stari grad i Čukarica teretna motorna vozila koja nisu u tranzitu, a čija najveća dozvoljena masa prelazi 3,5 t, mogu kretati, zaustaviti i parkirati mimo utvrđenog režima saobraćaja na osnovu dozvole koju izdaje Sekretarijat za saobraćaj pod uslovima definisanim ovim rešenjem.

Definisanje alternativa za analizu i kriterijuma za izbor trasa

Na osnovu sprovedene identifikacije opasnosti i analize posledica, kroz izbor robe i njenih karakteristika opasnosti, utvrđivanja karakteristika transportnih zahteva i ograničenja, neophodno je izvršiti izbor trase za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta.

Prilikom izbora trase za kretanje vojnih vozila koja vrše transport nafte i naftnih derivata, izabrane trase treba da:

- ispunjavaju sve ciljeve koje definišu vlasti sa gledišta nadležnosti,
- budu u saglasnosti sa postojećim modelima za izbor trasa za opasan teret koje dozvoljavaju pristup do terminala i do drugih objekata (fabrika, i sl.),
- budu bez ikakvih očiglednih fizičkih i zakonskih ograničenja koje mogu ozbiljno dovesti u pitanje njihovu primenu ili čak dovesti do zabrane njihove primene i
- imaju konstantnu trasu (bez prekida) i koje mogu da se povežu sa putevima drugih regija.

Za transport nafte i naftnih derivata do stanice pogonskog goriva u kasarni „Topčider“ najčešće se koristi putni pravac s.Knić–Mrčajevci–Ljig– Beograd (preko 75%). Navedeni putni pravac zadovoljava kriterijum da minimalna širina saobraćajnice za transport opasnog tereta iznosi 5 m, predstavlja jedan od značajnih koridora u Republici Srbiji koji se koristi za teretni saobraćaj i nema fizičkih i zakonskih ograničenja koja mogu dovesti do zabrane korišćenja.

Pored navedenog, jedan od kriterijuma za izbor trase predstavlja i podatak da trasa s.Knić–Mrčajevci–Ljig–Beograd u odnosu na trasu s.Knić–Batočina–Beograd (auto-put Beograd–Niš) predstavlja kraću deonicu, kao i činjenica da trasa s.Knić–Batočina–Beograd (auto-put Beograd–Niš) prolazi kroz grad Kragujevac, kao gusto naseljeno područje.

U skladu sa datim činjenicama i definisanim kriterijumima za izbor trase za transport opasnog tereta, primenom metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja vrše transport opasnog tereta, izvršena je analiza rizika za trasu za kretanje vojnih auto-cisterni kojima se vrši transport nafte i naftnih derivata do kasarne „Topčider”: s.Knić–Mrčajevci–Ljig–Beograd–kasarna „Topčider”.

Izbor trase nije završen, jer je neophodno da se ispita sa aspekta dozvoljene veličine rizika, odnosno sprovedene analize procene rizika za svaku deonicu u okviru trase posebno.

Radi procene rizika za navedenu trasu ona se deli na određeni broj posebnih deonica: Knić–Mrčajevci–Preljina–Gomji Milanovac–Nevade–Bućin Brod–Ugrinovci–Dići–Gukoši–Ljig–Poljanče–Dudovica–Županjac–Čelije–Lazarevac–Stepojevac–Vranić–Velika Moštanica–Lipovičke šume–Rušanj–Kružni put Kijevo – ul. Oslobođenica – ul. Patrijarha Dimitrija – ul. Patrijarha Pavla.

Nakon izbora potencijalne trase za kretanje vozila koja vrše transport nafte i naftnih derivata i definisanja deonica u okviru nje, neophodno je sprovesti proces procene rizika za svaku deonicu posebno.

Definisanje parametara za analizu

Dve osnovne komponente koje definišu rizik, tokom analize rizika, jesu: verovatnoća nastanka incidentne situacije i veličina posledica ili negativan uticaj po elemente izložene riziku od incidentne situacije. Određeni parametri utiču na verovatnoću nastanka incidentne situacije, dok druga grupa parametara definiše veličinu posledica od nastanka incidentne situacije (Milovanović, 2012).

Prva grupa parametara jesu oni koji utiču na verovatnoću nastanka incidentne situacije:

- kategorija saobraćajnice,
- geometrijske karakteristike saobraćajnice,
- kontrola pristupa,
- postojanje pružnih prelaza,
- stanje kolovoza,
- veličina saobraćajnog toka,
- učešće teretnih vozila u saobraćajnom toku,
- zagušenja u saobraćaju (odnos brzine saobraćajnog toka i kapaciteta saobraćajnice),
- saobraćajne nezgode.

Druga grupa parametara jesu oni koji utiču na veličinu posledica od incidentne situacije:

- gustina naseljenosti stanovništva,
- namena zemljišta,
- odgovor stanovništva na incidentnu situaciju,
- uticaj na životnu sredinu,
- drenažni sistem saobraćajnica,
- vreme reakcije službi za spasavanje (hitna pomoć, vatrogasci i policija),
- ograničenje brzine,
- klimatski uticaji (vremenski uslovi).

Definisanje stepena uticaja i težinskih koeficijenata parametara

Radi stvaranja uslova da rezultati analize procene rizika budu što približniji realnom stanju, neophodno je utvrditi težinske faktore za svaki parametar posebno. Tokom procene rizika korišćeni su težinski faktori koji su dobijeni anketom eksperata.

Za svaki ponuđeni parametar eksperti su zaokruživanjem jednog od ponuđenih pet odgovora dodeljivali stepen značajnosti svakom parametru posebno (od zanemarljivog do veoma značajnog). Eksperti su podeljeni u tri grupe kompetentnosti, pri čemu su pojedinačni stavovi jedne grupe eksperata množeni „ponderom kompetentnosti” po metodologiji koja je uobičajena kod takve vrste istraživanja (Milovanović, 2012). Stavovi i mišljenja eksperata zatim su na odgovarajući način obrađeni i prikazani.

Parametri koji utiču na verovatnoću nastanka incidentne situacije sa težinskim koeficijentima prikazani su u tabeli 1 (Milovanović, 2012).

Tabela 1 – Parametri koji utiču na verovatnoću nastanka incidentne situacije i njihovi težinski koeficijenti

Table 1 – The parameters that affect the probability of occurrence of incidents and their weights

Parametar	Kategorija saobraćajnice	Geometrijske karakteristike saobraćajnice	Kontrola pristupa	Postojanje pružnih prelaza	Stanje kolovoza	Veličina saobraćajnog toka	Učešće teretnih vozila u saobraćajnom toku	Zagušenja u saobraćaju (odnos V/C)	Saobraćajne nezgode
Težinski koeficijent	1,090	1,027	0,884	0,900	0,926	1,102	0,951	0,989	1,128

Parametri koji utiču na veličinu posledica incidentne situacije sa težinskim koeficijentima prikazani su u tabeli 2 (Milovanović, 2012).

Tabela 2 – Parametri koji utiču na veličinu posledica incidentne situacije i njihovi težinski koeficijenti

Table 2 – The parameters that affect the extent of the consequences of incidents and their weights

Parametar	Gustina naseljenosti stanovništva	Namena zemljišta	Odgovor stanovnika na incidentnu situaciju	Uticaj na životnu sredinu	Drenažni sistem saobraćajnica	Vreme reakcije službi za spašavanje	Ograničenje brzine	Klimatski uticaji
Težinski koeficijent	1,284	1,032	1,164	1,171	0,548	1,051	0,733	1,013

Radi provere potencijalne trase za transport nafte i naftnih derivata, odnosno svake deonice posebno, neophodno je utvrditi vrednost svakog od parametra koji utiče na veličinu rizika. Kako bi se to ostvarilo neophodno je posedovati veliku bazu podataka o svakom parametru posebno i proračunati njihove vrednosti u okviru zone uticaja opasnog tereta za svaku deonicu posebno.

U okviru modela za proračun rizika, korišćeni su realni podaci iz dostupnih baza JP „Putevi Srbije” (JP „Putevi Srbije”, 2011), navedenih gradova i opština, kao i podaci iz baze podataka Istraživanja karakteristika saobraćaja na jedinstvenoj uličnoj mreži grada Beograda za 2006. godinu (Vukanović i ostali, 2007).

Primena modela za određivanje trasa na osnovu definisanih parametara i ograničenja

Za svaki parametar, na osnovu prikupljenih podataka o deonici, određuje se nivo rizika na skali od 0 do 100 (zanemarljiv – vrednost 5, nizak – vrednost 20, umeren – vrednost 50, visok – vrednost 80, veoma visok – vrednost 95) čime se vrši kvantifikacija rizika (Milovanović, 2012). Usvojen nivo rizika množi se sa težinskim koeficijentom i dobija se vrednost parametra. Veličina verovatnoće nastanka incidentne situacije dobija se kao aritmetička sredina vrednosti parametara (tabela 3).

Tabela 3 – Vrednosti parametara koji utiču na verovatnoću nastanka incidentne situacije za deonicu kroz Stepovevac

Table 3 – The values of the parameters affecting the probability of occurrence of incidents for the section through Stepovevac

Kriterijum	Kategorija saobraćajnice	Geometrijske karakteristike saobraćajnice	Kontrola pristupa	Postojanje pružnih prelaza	Stanje kolovoza	Veličina saobraćajnog toka	Učešće teretnih vozila u saobraćajnom toku	Zagušenja u saobraćaju (odnos V/C)	Saobraćajne nezgode
Vrednost nivoa rizika	zanemarljiv vrednost – 5	zanemarljiv vrednost – 5	zanemarljiv vrednost – 5	-	zanemarljiv vrednost – 5	nizak vrednost – 20	visok vrednost – 80	umeren vrednost – 50	nizak vrednost – 20
Težinski koeficijent	1,090	1,027	0,884	0,900	0,926	1,102	0,951	0,989	1,128
Vrednost parametra	5,45	5,14	4,42	0,00	4,63	22,04	76,08	49,45	22,56
Vrednost verovatnoće nastanka incidentne situacije								23,72	

Po istoj metodologiji vrši se proračun vrednosti veličine eventualnih posledica (tabela 4).

Tabela 4 – Vrednosti parametara koji utiču na veličinu posledica incidentne situacije za deonicu kroz Stepovevac

Table 4 – The values of the parameters affecting the extent of the consequences of incidents for the section through Stepovevac

Kriterijum	Gustina naseljenosti stanovništva	Namena zemljišta	Odgovor stanovnika na incidentnu situaciju	Uticaj na životnu sredinu	Drenažni sistem saobraćajnica	Vreme reakcije službi za spašavanje	Ograničenje brzine	Klimatski uticaji
Vrednost nivoa rizika	zanemarljiv vrednost – 5	veoma visok vrednost – 95	zanemarljiv vrednost – 5	nizak vrednost – 20	zanemarljiv vrednost – 5	veoma visok vrednost – 95	nizak vrednost – 20	-
Težinski koeficijent	1,284	1,032	1,164	1,171	0,548	1,051	0,733	1,013
Vrednost parametra	6,42	98,04	5,82	23,42	2,74	99,85	14,66	0,00
Vrednost veličine posledica incidentne situacije								35,85

Na osnovu proračunatih vrednosti parametara i veličine rizika dobijene primenom kvantitativne metode za proračun rizika na bazi apsolutnog rizika (Milovanović, 2012), naredni korak jeste donošenje odluke da li je određena deonica na osnovu veličine rizika prihvatljiva za transport opasnog tereta ili ne. Ta odluka donosi se na osnovu poređenja vrednosti veličine rizika za tu deonicu (kombinacija vrednosti veličine verovatnoće i veličine posledica) sa veličinom dozvoljenog rizika.

Poređenje vrednosti veličine rizika za tu deonicu sa veličinom dozvoljenog rizika sprovodi se pomoću matrice rizika, gde se na osnovu vrednosti verovatnoće i vrednosti veličine eventualnih posledica vrši poređenje sa dozvoljenim nivoom rizika.

U tabeli 3. prikazane su veličine verovatnoće nastanka incidentne situacije i veličine posledica za svaku od deonica i odluka da li je ta deonica prihvatljiva da se na njoj odvija transport opasnog tereta ili ne.

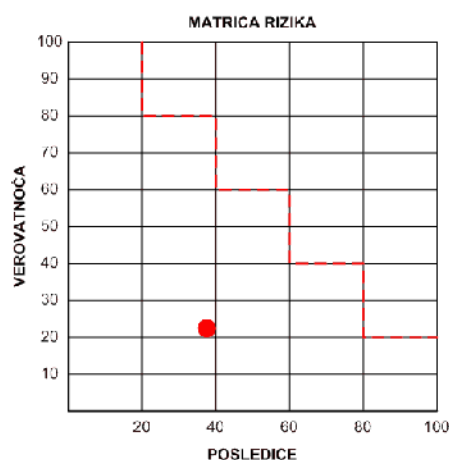
Tabela 5 – Veličina rizika za svaku od deonica potencijalne trase za transport nafte i naftnih derivata

Table 5 – Degree of risk for each of potential route sections for the transport of oil and petroleum products

Šifra	Saobraćajnica	Verovatnoća	Posledice	Prihvatljiv
1.	Knić–Mrčajevci	14,19	36,67	Da
2.	Mrčajevci	15,06	38,36	Da
3.	Mrčajevci–Preljina	16,74	27,95	Da
4.	Preljina	19,96	33,91	Da
5.	Preljina–Gornji Milanovac	20,31	30,72	Da
6.	Gornji Milanovac	20,16	32,09	Da
7.	Gornji Milanovac–Nevade	17,54	28,50	Da
8.	Nevade – Bućin Grob	17,55	28,88	Da
9.	Bućin Grob – Ugrinovci	19,22	28,88	Da
10.	Ugrinovci–Dići	19,27	31,37	Da
11.	Dići–Gukoši	19,33	28,88	Da
12.	Gukoš – Ljig	17,87	34,14	Da
13.	Ljig	16,82	32,12	Da
14.	Ljig–Poljanče	17,42	25,98	Da
15.	Poljanče–Dudovica	18,33	28,88	Da
16.	Dudovica–Županjac	18,01	28,88	Da
17.	Županjac–Čelije	17,50	28,88	Da
18.	Čelije – skretanje za Lazarevac	20,51	27,95	Da
19.	Lazarevac–Stepojevac	20,18	28,88	Da
20.	Stepojevac	23,72	35,85	Da
21.	Stepojevac–Vranić	21,65	30,44	Da

Šifra	Saobraćajnica	Verovatnoća	Posledice	Prihvatljiv
22.	Vranić–Vranić (Barajevo)	21,36	27,95	Da
23.	Vranić (Barajevo)–Velika Moštanica	20,19	27,95	Da
24.	Velika Moštanica–skretanje za Barajevo	19,95	27,95	Da
25.	Skretanje za Barajevo–Lipovačke šume	19,03	25,74	Da
26.	Lipovačka šuma–Rušanj	20,64	25,74	Da
27.	Rušanj–Kružni put Kijevo	19,06	27,95	Da
28.	Kružni put Kijevo	21,64	27,95	Da
29.	Oslobodilaca Rakovice	14,55	33,79	Da
30.	Patrijarha Dimitrija	14,34	26,87	Da
31.	Bulevar Patrijarha Pavla	14,09	29,36	Da

U zavisnosti od veličine verovatnoće nastanka i posledica od incidentne situacije izvršena je procena rizika tako što su za svaku deonicu formirane matrice rizika i izvršena upoređivanja vrednosti rizika sa dozvoljenom vrednošću. Na osnovu prikazanih podataka može se zaključiti da je svaka od potencijalne 31 deonice, odnosno izabrana trasa, prihvatljiva za transport nafte i naftnih derivata iz skladišta Knić do kasarne „Topčider” u Beogradu.



Slika 4 – Matrica rizika za deonicu kroz Stepoevac
Figure 4 – Risk matrix for the section through Stepoevac

Od svih posmatranih potencijalnih deonica u okviru trase za transport nafte i naftnih derivata do kasarne „Topčider” u Beogradu, najveća verovatnoća nastanka incidentne situacije je u mestu Stepoevac, dok je najveća veličina posledica u mestima Stepoevac i Mrčajevci.

Kako su deonice na trasi sa aspekta veličina verovatnoće nastanka i posledica incidentne situacije prihvatljive, nema razloga za revidiranjem trase.

Zaključak

Obezbeđenje bezbednog transporta opasnog tereta predstavlja odgovoran i važan zadatak. Štete koje mogu nastati pri transportu opasnog tereta mogu biti ogromne, tako da je potrebno da svi učesnici transportnog procesa imaju maksimalnu odgovornost. Potpuna zaštita od opasnih tereta ne postoji. To bi bilo moguće jedino u situaciji kada se one ne bi proizvodile, koristile i transportovale. To nas upućuje na zaključak da rizik od štetnog dejstva opasnih tereta po zdravlje živih bića i očuvanje prirodnih resursa i materijalnih dobara treba smanjiti na najmanju moguću meru primenom odgovarajućih mera i postupaka.

Radi toga, nadležni organi u Vojski Srbije, prilikom planiranja i realizacije transportnih procesa opasnih tereta za potrebe Vojske Srbije, treba da razmotre sve faktore koji mogu uticati na rizik od incidentne situacije, kao i eventualne posledice, kako po ljudstvo i tehniku Vojske Srbije, tako i po okolinu.

Jedan od postupaka pri planiranju transporta opasnih tereta za potrebe Vojske, kao što je transport nafte i naftnih derivata za potrebe jedinica Vojske u garnizonu Beograd, jeste da se prilikom izbora trase za realizaciju transportnih zadataka izvrši njena procena sa aspekta rizika od nastanka incidentne situacije.

Literatura

Vukanović, S., Jović, J., Stanić, B., & Čelar, N. 2007. *Istraživanje karakteristika saobraćaja na jedinstvenoj uličnoj mreži grada Beograda za 2006. godinu*. Beograd: Institut saobraćajnog fakulteta.

Jovanović, B., Milovanović, B., & Mladenović, D. 2010. *Transport opasne robe u drumskom saobraćaju*. Beograd: Saobraćajni fakultet.

Milovanović, B. 2012. *Prilog razvoju metodologije za izbor trasa za kretanje vozila koja transportuju opasnu robu sa aspekta upravljanja rizikom*. Beograd: Saobraćajni fakultet.

JP „Putevi Srbije“. 2011. *Prosečan godišnji dnevni saobraćaj – PGDS*.

Republički zavod za statistiku Srbije. 2010. *Statistički godišnjak Republike Srbije*.

Službeni glasnik RS 2010. Zakon o transportu opasnog tereta. *Službeni glasnik RS*, 88.

Transport Canada Safety and Security, Emergency Response Guidebook 2005. Montreal, Canada.

United Nations. 2011. *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road – ADR*.

METHODOLOGY FOR CHOOSING A ROUTE FOR TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS - CASE STUDY

FIELD: Logistics, Movement and Transportation

ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

In the Serbian Armed Forces, oil and petroleum products are transported primarily for military units and institutions. The route for the movement of vehicles is selected during the transportation planning process. This paper describes a methodology for the selection of a route for the transport of dangerous goods and its application on one particular case in the Serbian Armed Forces.

Introduction

The existence of high risk or the possibility of hazards that can occur when transporting dangerous goods requires the maximum responsibility of all participants in the transportation process.

The Serbian Armed Forces in their regular activities implement a number of tasks of transport of dangerous goods within the territory of the Republic of Serbia. Despite the fact that the Serbian Armed Forces, during the course of their duties, are exempted from the application of the provisions of the law governing the transport of dangerous goods in the Republic of Serbia, it is necessary to consider the risks that arise during the implementation of the transport of dangerous goods.

The methodology for the selection of a route for the transport of dangerous goods

The transport of dangerous goods is a type of transport linked with major risks and potentially most serious harm to humans and the environment. For this purpose, it is necessary to take certain measures to reduce the level of risk by implementing a set of procedures and gathering information on the characteristics of dangerous goods, the number of incidents in the past, the extent of the impact on the population and the environment as well as on the capacity of the relevant services in case of incidents.

The determination of the hazards of dangerous goods being transported is a very important step because if the types and degrees of risk of dangerous goods as well as the zone of influence of cargo are not defined properly, it is not possible to estimate the level of risk.

After identifying the type of hazardous cargo that is transported, it is necessary to determine the total amount to be transported to the required area for which a route for the transport of dangerous goods is selected.

In its third step, the methodology defines the movement of dangerous goods between each fixed source of dangerous goods and its target destination on the basis of which, in the fourth step, the routes are loaded with an ideal flow of traffic of dangerous goods and subsequently the dangerous load-carrying capacity of the route is determined.

In the fifth step, which represents the final step in the hazard identification and the analysis of consequences, the limitations (physical limitations, ecological zones, limitations regarding legal regulations, etc.) that may affect the choice of a route are defined.

The selection of a route for the transport of oil and petroleum products for the needs of the Army of Serbia

The methodology for the selection of routes for the movement of vehicles carrying dangerous goods can be applied in the selection of routes for the transport of oil and petroleum products from the warehouse of the Serbian Army in Knić to the garrison of Belgrade.

Characteristics of oil and petroleum products as hazardous cargo

Oil and petroleum products (gasoline, diesel, etc.) belong to class 3 of dangerous goods - flammable liquids. The characteristics that define each type of dangerous goods, in addition to its physical and chemical properties, are also the characteristics of the hazard, i.e. the type and degree of risk.

Another characteristic of risk for each hazardous cargo is the degree of hazard. The degree of hazard is defined by the so-called "Packaging groups".

The last feature of the selected types of dangerous goods which is of great significance is the size of the zone of influence. It can be concluded that, after an incident has occurred, certain types of hazardous cargo can cause a variety of effects. A very important feature of dangerous goods, in addition to its type and degree of hazard, is the zone of its influence, i.e. the radius from the source to the limit of the negative impact of hazardous cargo caused by leakage from the cargo, i.e. transport vessel.

Characteristics of the transport of oil and petroleum products for Army units in the Belgrade garrison

For a detailed insight into the characteristics of the transport of oil and petroleum products for the needs of the Serbian Army garrison in Belgrade, it is necessary to identify the locations where dangerous goods are stored, produced, etc, or, in other words, to identify fixed sources of dangerous goods. When total amounts are determined, depending on their types, it is necessary to establish all modes of transportation of dangerous goods from these sources to target destinations.

The first step in defining the transport demands of the Army in the city of Belgrade is the determination of the total amount of oil and petroleum products transported for the needs of army units deployed in the garrison of Belgrade.

After defining the distribution of transport demands in time, it is also necessary to define the characteristics of transport demands in the area. The characteristics of the source -target destination movement are first to be defined.

Accordingly, the methodology for the selection of routes for the movement of vehicles carrying dangerous goods will be applied for choosing a route and analysing the risk for the selected route for the movement of military tank trucks that transport oil and petroleum products from the storage in Knić to the "Topčider" barracks in Belgrade.

Risk assessment by sections within the selected route

The two main components that define the risk in the risk analysis are: likelihood of incidents and extent of their impact or a negative impact on the elements exposed to the risk of incidents. Certain parameters affect the probability of occurrence of incidents, while the second group of parameters defines the extent of the consequences of the occurrence of the incident.

In order to test a potential route for the transport of oil and petroleum products, and each section separately, it is necessary to determine the value of each of the parameters affecting the level of risk. In order to achieve this, it is necessary to have a large database of each parameter separately and calculate their values within the zone of influence of dangerous goods for each section separately.

Comparing the degree of risk of that section with the degree of the allowed risk is carried out by using a risk matrix where the comparison with the acceptable levels of risk is performed based on the probabilities and values of the risk level of potential consequences.

Conclusion

One of the procedures in planning the transport of hazardous cargo (such as the transport of oil and petroleum products for the units of the Army garrison in Belgrade) for the Army, is to assess the route in terms of risk occurrence of the incident prior to choosing it for the realization of the transport task.

Keywords: transportation; planning; methodology; dangerous goods.

Datum prijema članka/Paper received on: 22. 11. 2013.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 16. 12. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 18. 12. 2013.

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Nove podmornice za Azijsko-pacifički region¹

Azijsko-pacifički region je kritična tačka koju će možda u skorije vreme osporavati Rusija, Kina i Indija, ali i druge zemlje koje su odlučne da odbrane svoje interese i održe postojeći pomorski status kvo.

Mnogi faktori mogu uticati na remećenje ravnoteže snaga na Pacifiku. Kina ima ambicije da uspostavi nove pomorske granice koje će se kretati i do 2,700 km od njenih kopnenih granica.

Pomorske snage biće odlučujući faktor u predstojećim događanjima, što je razlog da države pojačavaju svoje podmorničke snage. Flote se uvećavaju u skladu sa zaštitom nacionalnih interesa. Region je u potpunosti zavistan od pomorske trgovine, a prepun je lokacija koje se mogu zatvoriti pretnjom površinskim brodovima putem podmornica. Strateška kontrola regiona može biti izvršena ispod površine mora.

Rusija ima vodeću ulogu na tržištu podmornica preko svojih prodaja i isporuka. Plan nabavke Ministarstva odbrane Rusije do 2020. godine planira ojačavanje Pacifičke flote koja ove godine dobija svoju prvu nuklearnu podmornicu klase *Borei*. Podmornica je druga u ovoj klasi i nosi ime *Aleksandar Nevski*, a biće u sastavu 25. podmorničkog divizionu u gradu *Viljuchinsk* na poluostrvu Kamčatka. Uprkos teškoćama u razvoju njenog osnovnog naoružanja, interkontinentalne balističke rakete R-30 *Bulava*, mornarica planira nabavku osam podmornica koje će biti isporučene – pola Pacifičkoj, a pola Severnoj floti.

Ruske dizel-električne podmornice pojavile su se u ovom regionu zahvaljujući izvozu. Druga podmornica unapređene *Kilo* klase (Projekat 636.1) predana je Vijetnamu u januaru. Ta zemlja je naručila šest podmornica tokom 2009 godine koje bi bile naoružane raketnim sistemom *Klub-S*.

Neke zemlje u susedstvu Vijetnama već raspolažu podmornicama iste klase. Kina ima 10 plovila koje pripadaju projektima 636 i 636 M, a koje su isporučene tokom devedesetih i dvehiljaditih godina. Indija, sa svoje strane, upotrebljava originalne podmornice klase *Kilo* (Projekat 877EKM) od kojih su neke modernizovane sa raketnim sistemom *Klub-S*.

Ruska mornarica će se orijentisati na sledeću generaciju dizel-električnih podmornica projekta 677 *Lada*. Izgradnja je ponovo započeta 2013. godine, nakon što je mornarica odobrila izgradnju i upotrebu prve podmornice u klasi *St. Petersburg* koja je završila svoj probni period od 2010–2012 godine. Druga podmornica iz klase, *Kronshtadt*, trebala da bude završena do 2017. godine.

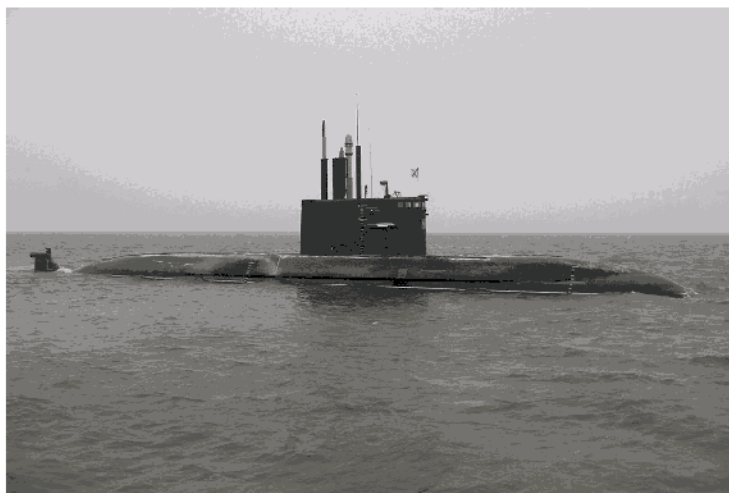
¹ Aviation Week & Space Technology February 17.

Glavni ruski projektantski biro *CDB ME Rubin* uneće znatna unapređenja, kao što su modernizovan kontrolni sistem, električni pogon i napredna navigacija.

Kompanija, takođe, radi na pogonskom sistemu nezavisnom od vazduha (air independent system AIP) predviđenom za klasu *Lada*. Veliki broj raznih AIP sistema na tržištu znatno povećava mogućnost preživljavanja dizel-električnih podmornica. Upotreba sistema AIP takođe povećava nivo automatizacije uređaja, što vodi do smanjenja broja posade i povećava korisnu nosivost za gorivo i municiju.

AIP sistem za klasu *Lada* podrazumeva elektrohemijski generator koji koristi vodonik za snabdevanje električnom energijom pogonskog sistema ili za punjenje baterija. Vodonik se generiše putem obrade dizel goriva.

Prvi proizvodni modul sa sistemom AIP biće spreman 2016. godine, dok će prva podmornica sa sistemom AIP biti kompletirana do 2018. godine. To će biti podmornica *Sevastopolj*, treće plovilo u okviru projekta 677.



Rusija nudi kupcima sa Azijsko-pacifičkog regiona podmornice Lada, projekat 677, od kojih je St Petersburg prva iz klase

Sve ove tehnologije biće dostupne za izvoz. *Rubin* nudi eksportnu verziju klase *Lada*, *Amur 1650* za Indijsku mornaricu, u okviru projekta 751, tendera za šest konvencionalnih podmornica.

Kompanija *Rubin* nudi Indiji pomoć u razvoju domaćeg AIP sistema. Ruski sistem ima mnogo zajedničkih osobina u odnosu na indijski koji je razvila Indijska organizacija za istraživanje i razvoj (DRDO). Dok ruska strana koristi dizel gorivo za generisanje vodonika, Indijci koriste borohidrat ali je osnova i dalje ista.

Još jedna od prednosti klase *Amur 1650* je i instalacija rusko-indijske protivbrodske supersonične krstareće rakete *PJ-10 Brahmos*. Kompanija *Rubin* sprovela je dizajn studiju radi potvrđivanja mogućnosti smeštanja teškog projektila u podmornicu.

Kompanija *Rubin* takođe je radila na litijum-jonskim baterijama radi povećanja podvodnog radijusa projekta *Amur 1650* za jedan i po put operativnim niskobrzinskim brzinama ili do tri puta maksimalnim brzinama. Ove baterije prvo će biti testirane na podmornicama klase *Lada*.

Ruske kompanije takođe traže druge azijske klijente. Potvrđeno je da je kompanija ušla u razgovore sa Kinom u vezi s prodajom klase *Amur 1650*.



Vijetnam je najnoviji kupac podmornica ruskog projekta 636 od kojih su dve u izgradnji u Sankt Petersburgu

Francuska i Nemačka se takođe uključuju u ove transakcije i to sa Pakistanom i Indijom. Pakistan je prva azijska zemlja koja je kupila francuske podmornice. Prve dve podmornice klase *Agosta 70* kupljene su 1978. godine. *Hashmat* (S135) i *Hurmat* (S136) bile su prvobitno namenjene Južnoj Africi, ali je ta prodaja stopirana zbog međunarodnog embarga na oružje režimu aparthejda.

Godine 1994. Pakistan je poručio još tri modernizovane podmornice *Agosta 90B* za 1,2 milijarde dolara. Ovaj ugovor je i dalje kontroverzan zbog navodne povezanosti sa francuskim predsedničkim izborima, a zatim i zbog terorističkog napada 2002. godine kada je u Karačiju ubijeno 11 inženjera koji su radili za francusku brodograditeljsku firmu DCNS.



Malezijska podmornica Tunku Abdul Rahma, klase Scorpene

Prvu od podmornica klase *Agosta 90B* napravila je kompanija DCNS u Šerburu, Francuskoj, dok su druge dve sastavljene u Karačiju uz tehničku pomoć Francuske. Poslednja po redu podmornica, *Hamza (S139)*, uvedena je u operativnu upotrebu tokom 2008. godine. Ova podmornica poseduje AIP sistem *Mesma* koji omogućava plovilu uvećanje podvodnih kapaciteta za tri nedelje i poboljšava streljane karakteristike. Podmornice *Khalid (S137)* i *Saad (S138)* ušle su operativnu upotrebu tokom 1999. i tokom 2003. godine i naknadno su opremljene sa pomenutim AIP sistemom.

Agosta 90B ima posadu od 36 ljudi, duga je 76,24 metara (9 metara više od prve serije *Agosta*) i nosivosti je 1,510 metričkih tona na površini i 1,980 metričkih tona podvodnog deplasmana, odnosno 1,760 metričkih tona sa AIP sistemom *Mesma*.

Pakistan takođe poseduje tri podmornice *MG110* od 110 tona namenjene upotrebi u plićim vodama koje su u operativnoj upotrebi od 2005. godine.

Plan za razvoj oružanih snaga Pakistana tadašnjeg predsednika Perveza Mušarafa predviđao je veću podmorničku flotu od 12 podmornica u odnosu na sadašnjih 8. Međutim, 2008. godine MMF je primorao Pakistan da odustane od nekoliko milijardi dolara vrednog ugovora sa nemačkom kompanijom HDW u vezi s kupovinom tri podmornice U-214. Nedavno je napušten i dogovor sa Kinom u vezi s nabavkom šest dizel-električnih podmornica zbog nedostatka sredstava.



Malezijska podmornica Tunku Abdul Rahma, klase Scorpene

Glavni suparnik Pakistana u regionu – Kina, takođe je klijent DCNS. Godine 2005. potpisan je ugovor za nabavku šest podmornica *P75 Scorpene* sa kompanijom DCNS i španskim brodogradilištem *Navantia*. Dva brodogradilišta su udružila snage u vezi s projektom *Scorpene*. Nakon problema sa projektom trenutno se svih šest trupova podmornica sklapaju u brodogradilištu *Mazagon*, u Mumbaiju. U ovom slučaju došlo je do velikog tehnološkog transfera iako se neki elementi, kao što su osovina propelera i torpedne cevi, prave u Francuskoj.

Očekuje se početak uvođenja u operativnu upotrebu tokom 2015. godine, tri godine nakon roka i to tako što će poslednja podmornica biti uvedena u naoružanje tokom 2018. godine. Očekuje se da će prvobitna cena od 4,6 milijardi dolara biti premašena za milijardu dolara.

U međuvremenu indijska mornarica dobija svoju prvu nuklearnu podmornicu – *INS Arihant*, koja će uskoro krenuti sa operativnim testiranjem. Za nekoliko nedelja očekuje se završetak testiranja u luci, a zatim kreće ispitivanje na moru. Svi sistemi podmornice biće testirani uključujući i ispaljivanje balističkih projektila.

U brodogradilištu *Visakhapatnam* u toku je rad na drugoj nuklearnoj strateškoj podmornici, *INS Aridhaman*, dok Indija pregovara sa Rusijom o lizingu druge nuklearne podmornice klase *Akula – II* za cenu od 1,5 milijardi dolara. Prva nuklearna podmornica – *INS Chakra*, iznajmljena je putem lizinga od aprila 2012. godine po ceni od skoro milijardu dolara.

Malezija je u međuvremenu tokom 2008. i 2009. godine primila isporuku od dve podmornice klase *Scorpene* od kompanije DCNS bez AIP sistema. *KD Tun-ku Abdul Rahman* i *KD Tun Razak* poznate su u Maleziji kao podmornice klase *Merteri*, napravljene su u Francuskoj bez prenosa tehnologije.

Dragan Vučković

Formula za uspeh – novi algoritam KdV^2



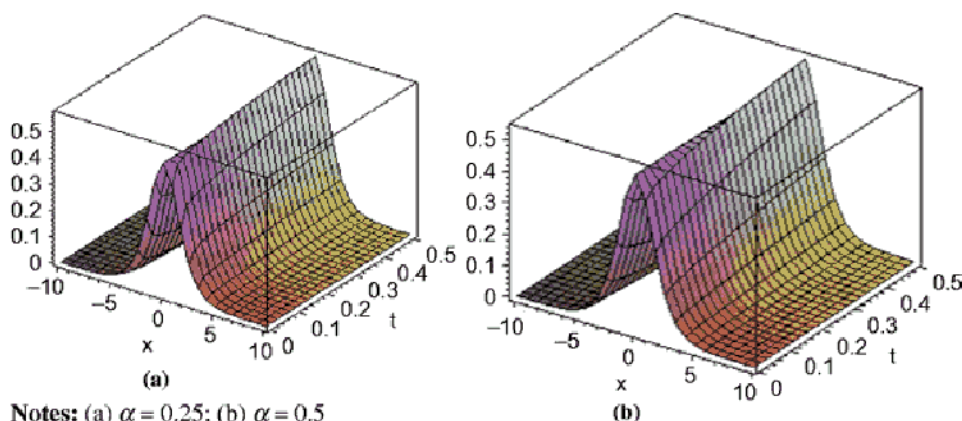
Veliki tenk, kao što je ruski T-90, može prikriti svoj pokret koristeći pozadinski šum, ali može biti otkriven senzorima koji koriste algoritam zasnovan na KdV jednačini.

² Aviation Week & Space Technology February 17.

Sistemi za praćenje ciljeva oslanjaju se na algoritme koji izračunavaju kretanje, brzinu i poziciju meta, dok u pozadini prečišćavaju pozadinski šum koji zamračuje ove podatke ili proizvodi lažne alarme. Algoritmi su sačinjeni tako da mogu obrađivati većinu zadataka u vezi s praćenjem ciljeva sa različitim stepenom uspešnosti, ali izgleda da još nije sačinjen algoritam koji bi mogao ispuniti sve zahteve u vezi s praćenjem ciljeva, naročito kada se radi o uočavanju jedne ili više pokretnih meta u odnosu na pozadinski šum.

To bi se moglo promeniti. Istraživanje koje su sproveli Igor K. Kulikov i njegov kolega Michail Zak iz Instituta za mlaznu propulziju u Kaliforniji, ukazuje da bi algoritam zasnovan na posebno sročenoj jednačini mogao precizno pratiti pokretnu metu i odvojiti je od pozadinskog i drugih šumova.

Rad je baziran na aplikaciji nelinearnih forma diferencijalne jednačine *Korteweg-de-Vries* (KdV) koja se koristi za ubacivanje solitona, jedinstvenog talasa koji se širi u odnosu na brzinu i tako se uvećava.



KdV jednačina

Kada sistem za praćenje ubaci tačkasti signal mete, nelinearna verzija KdV jednačine koristi nasilnu funkciju, odnosno vremenski zavistan proces koji izračunava, sa svoje desne strane, energiju koju generiše dinamična meta, što je izraženo amplitudom signala. Amplituda signala prikazana kao kriva povećava se za vreme praćenja, što je fenomen poznat kao rezonanca solitona. Rezonanca solitona predlaže da KdV jednačina pojačava samo objekte koji se kreću jednim tempom, dok su brze oscilacije i pozadinski šum raspršeni i isfiltrirani. Povećanje amplitude na taj način odvaja metu od pozadinskog šuma i od lažnih alarma. To, takođe, omogućava sistemu za praćenje da uspostavi brzinu, kurs i druge relevantne podatke u vezi kretanja mete.

Algoritam može biti integrisan sa radarima, infracrvenim i elektrooptičkim senzorima. U kompjuterskoj simulaciji jednačina je uspešno isprobana praćenjem brzina mete u 1-D (ravnoj liniji) i u 2-D (zakrivljenoj ravni). Takođe, pretpostavlja se da ju je moguće koristiti i za 3-D praćenje iako to još nije isprobano.

Algoritam može pratiti mete na kopnu, na moru ili u vazduhu. Nije određena granica za otkrivanje pretnji, ali je rečeno da nelinearna jednačina može pratiti mete koje idu brzinama od nekoliko stotina metara u sekundi.

Inovacija koja proizilazi iz ovog istraživanja je u upotrebi KdV jednačine. Bez ove formule prisilna funkcija ne bi mogla biti dodata kalkulacijama i ciljevi ne bi mogli biti identifikovani putem rezonance solitona.

Istraživanja su započeta pre nekoliko godina, a sredstva je obezbedila Američka kancelarija za nacionalno izviđanje (*US National Reconnaissance Office, NRO*) koja je bila zainteresovana za matematički aspekt projekta. U ovom trenutku sredstva su iscrpna i projekat je za sada ostavljen po strani do obezbeđivanja novih sredstava od NRO ili neke druge vladine agencije ili industrije.

Otkriće Kulikova i Zaka moglo bi voditi ka razvoju moćnog sistema za otkrivanje ciljeva.

Dragan Vučković

Indija i van granica Indije – BrahMos supersonična raketa³

Kompanija *BrahMos Aerospace* ima lepu perspektivu po pitanju svojih projekata, kada je reč o prodaji u Indiji, ali i po pitanju izvoza – uključujući supersoničnu raketu smanjenih dimenzija koja je još uvek u razvoju.

Kompanija navodi da njeni ugovori sada prelaze cifru od 6 milijardi dolara i da očekuju dalje povećanje broja sklopljenih ugovora u sledećih 10 godina. Inače, kompanija radi na različitim projektima u saradnji sa Rusijom.

Kompanija *BrahMos* širi proizvodnju radi podmirivanja očekivanih narudžbenica za hiljade raketa.

Nadzorni savet sastavljen od indijskih i ruskih zvaničnika dao je zeleno svetlo za izvoz proizvoda kao što je *BrahMos-M* (Mini) prijateljskim zemljama, a tom raketom biće naoružane i buduće indijske lansirne platforme. Težina ostalih raketa kompanije *BrahMos* nije dozvolila ovakvu integraciju. Letelice kao što su *Suhoj-30MKI* i *Mig-29K* biće prve opremljene raketom, ali će umanjena verzija rakete biti montirana i na buduće lovce kao što je višenamenska letelica *Rafale* francuske kompanije *Dassault Aviation* i budući lovac pete generacije koji zajedno razvijaju Indija i Rusija. *Su-30 MKI* moći će da nosi tri rakete, a *Mig-29* dve.

Kompanija *BrahMos* završava projekat rakete *Mini* sa kojom će 2017. započeti borbena testiranja. *BrahMos-M* težiće 1,5 t, biće duga 6 m, imaće dijametar od 510 mm i maksimalnu brzinu od 3,5 maha. Isporuke se očekuju u periodu od 3 do 5 godina nakon prvog probnog lansiranja. Modifikovana raketa biće prilagođena sletanju na nosač aviona.

Kompanija će, takođe, razmotriti mogućnost integrisanja rakete u ponuđeni projekat 75-I, podmornice koja će moći da lansirna *BrahMos* na morske i kopnene ciljeve, a s obzirom na to da će *BrahMos-M* moći da bude smešten u torpedne cevi predviđena je njegova upotreba i u protivpodmorničkom ratu.

Rusija, koja planira da ponudi svoju podmornicu *Amur-1650* u okviru projekta 75-I, već pravi odgovarajuće nacрте za smeštaj rakete. Očekuje se da će Francuska, Nemačka i Španija takođe konkurisati za ugovor o nabavci šest podmornica.

³ Aviation Week & Space Technology February 17.



Raketa BrahMos lansirana za vreme vežbi Tropex-2012 sa broda klase Ranvir

Kompanija *BrahMos* očekuje da će *BrahMos-M* otvoriti veliko potencijalno tržište i to sa specifikacijama koje će retko ko od konkurencije moći ispratiti. Već ima 12 zemalja koje su zainteresovane za kupovinu različitih modifikacija super-sonične krstareće rakete *BrahMos*, iako još nisu potpisani konkretni ugovori.

U međuvremenu, pre kraja godine, Indijsko ratno vazduhoplovstvo sprovešće letne testove supersonične rakete *BrahMos-A* (predviđene za lansiranje iz vazduha) pomoću aviona *Su-30 MKI*. Ratno vazduhoplovstvo i kompanija *BrahMos* rade na projektu vrednom 966 miliona dolara koji će omogućiti avionu *Su-30MKI* da ispod trupa ponese jednu raketu od 2,5 tone.

BrahMos namerava da prebaci oružje Indijskom ratnom vazduhoplovstvu tokom 2015. godine, a njime će biti opremljena najmanje tri eskadrile. Vojska i mornarica već upotrebljava raketu kojoj je prvi stepen na čvrsto raketno gorivo, dok drugi stepen ima ramdžet na tečno gorivo.

BrahMos-A je modifikovana verzija osnovne kopnene i brodske verzije koja je snabdevena malim busterima i krilcima za vazдушnu stabilnost nakon lansiranja. Raketa je projektovana za otpuštanje sa aviona *Su-30MKI* na visinama od 500 do 14.000 metara visine. Nakon slobodnog pada od 100 do 150 metara, *BrahMos-A* leti krstarećom brzinom na visini od 14.000 metara, a u završnoj fazi na visini od 15 metara. Vazduhoplovna verzija je lakša od kopnene i brodske rakete koje teže 3 t.

Supersonična krstareća raketa sa dometom od 290 km uspešno je lansirana sa broda *INS Trikand* u salvo modu ovog meseca za vreme testiranja obavljenog u Arapskom moru blizu indijske zapadne obale. Nakon ovog testiranja sada je moguće lansirati osam raketa istovremeno u salvi.

Pored rakete *BrahMos-A*, kompanija planira razvoj hipersonične rakete koja bi dostizala brzinu od 7 maha, što bi predstavljalo najbržu raketu na svetu. Pod kodnim nazivom *BrahMos 2* raketa bi mogla isporučiti bojevu glavu, snimiti razaranje mete, vratiti se i pripremiti za ponovno gađanje.

Indija radi u saradnji sa Rusijom u okviru projekta hipersonične rakete. Trenutno osnovni izazov predstavlja pronalaženje materijala otpornih na vrlo visoke temperature. Iako je trup napravljen od kompozitnih materijala, hipersonične brzine ih stavljaju na velika iskušenja. Radi pronalaženja rešenja razvijen novi materijal od posebnih legura, a novi motori su već dostupni.

Prve indijske hipersonične rakete očekuju se u sledećih pet do sedam godina.

Dragan Vučković

Produženje životnog veka i modernizacija tenkova⁴

Promena operativne upotrebe i sve izglednija situacija da se tenkovske posade ne mogu više oslanjati samo na opasnosti usmerene na čeonu deo tenka, ohrabrila je mnoge korisnike da ispituju mogućnosti poboljšanja sposobnosti tenkova u gradskoj borbi, kao i u protivustaničkim dejstvima.

Ova poboljšanja uglavnom se odnose na povećanu zaštitu oko i ispod vozila radi odbrane od ručnih raketnih bacača kratkog i dugog dometa, protivtenkovskih raketa i improvizovanih eksplozivnih naprava (IEN).

Među zapadnim korisnicima koji uvode ovakve izmene prednjače Kanada i Danska. Ove dve zemlje su modernizovale svoje tenkove u operativnoj upotrebi u Avganistanu, dok su Italija, Velika Britanija i SAD unapredile svoje tenkove koji su u upotrebi u Iraku.

⁴ IHS Jane's International Defence Review February 2014.

Međutim, kao i uvek kada su u pitanju izmene na oklopnim borbenim vozilima, dodavanje zaštite utiče na odnos težine i snage vozila, a izmene na tenkovima tiču se i pokretljivosti, unapređenja i vatrene moći.

Ovakva zaštita može se postići pasivnim i eksplozivnim reaktivnim oklopom, ali je vrlo popularna zaštita protiv kinetičkih projektila, kao i razvoj i upotreba elektronskih protivmera radi zaštite od improvizovanih eksplozivnih naprava i daljinski kontrolisanih mina.

Poboljšanja na polju pokretljivosti uključuju instalaciju novih dizel motora visokih performansi. Iako to nije neophodno za tenkove *Leopard 2* i *M1A1/M1A2*, koji već poseduju odličnu pokretljivost, američka armija još uvek razmišlja o zameni vrlo neštedljive gasne turbine na tenku *Abrams*.

Takođe, poboljšane su mogućnosti i praćenja i akvizicije ciljeva preko instalacije najnovije generacije termalnih uređaja i laserskih daljinomera za komandira i nišandžiju.

Standardna elektro-hidraulična kontrolna oprema topa zamenjuje se električnom i sistemi za kontrolu vatre su kompletno digitalizovani.

Vatrena moć tenkova može biti poboljšana ugradnjom topa većeg kalibra ili duže cevi kao što je to urađeno na tenkovima *Leopard 2A6* i *Leopard 2A7* koji su sada naoružani topom glatke cevi kompanije *Rheinmetall* kalibra 120 mm, ali dužine 155.

Većina korisnika tenkova unapredila je vatrenu moć uvodeći u upotrebu nove tipove municije koje omogućavaju bolje probojne karakteristike ili su optimizirani za upotrebu u gradskim uslovima.

Koaksijalni mitraljezi i dalje ostaje deo standardne opreme, ali su zato nezaštićeni kupolni mitraljezi kalibra 7,62 mm najvećim delom zamenjeni oružnim stanicama ili daljinski upravljanim oružnim stanicama naoružanim mitraljezima kalibra .50.

Sa druge strane, faktori prirodnog okruženja takođe su uticali na unapređenje. Svi operativni zapadni tenkovi projektovani su za operacije u Evropi, ali je njihova kasnija upotreba u zemljama sa visokim temperaturama na bliskom istoku i Avganistanu uslovlila instalaciju klima uređaja radi zaštite elektronske opreme i posade.

S obzirom na instalaciju naprednih komunikacionih sistema, sistema za upravljanje vatrom, opreme za suzbijanje improvizovanih eksplozivnih naprava, klima uređaja, potrošnja električne energije u vozilu naglo je povećana, tako da je sve više tenkova snabdeveno dodatnim agregatima koji takođe služe štednji goriva.

Veći deo novca za modernizaciju tenkova biće potrošen na Srednjem istoku i u istočnoj Aziji, a očekuje se da će taj trend potrajati duže vreme.

Modernizacija kineskih tenkova

S obzirom na ogromnu flotu tenkova, Narodna oslobodilačka armija uvek je imala u operativnoj upotrebi mešavinu novih i modernizovanih tenkova, dok su ostali bili u procesu modernizacije.

Prva generacija kineskih tenkova *Type 59* zasnovana je na ruskom *T-54* poboljšanim novim kompjuterizovanim sistemom za upravljanje vatrom i olučnim topom od 105 mm.

Danas, kineska korporacija *China North Industries Corporation (NORINCO)* nudi modernizaciju ruskog tenka *T-54/T-55m*, *T-72* kao i za kineske tenkove *Type 59* i *69*. Modernizacija se sastoji od dodatnog oklopa (pasivnog ili eksplozivno reaktivnog oklopa – ERO), poboljšane pokretljivosti i vatrene moći.



Type 59p

Najveći poznati kineski klijent je Pakistan sa svojim faznim programom koji, pored proizvodnje novih tenkova, uključuje modernizaciju postojećih tenkova *Type 59* i *type 69*.

Novi tenkovi su *Type 85* i *Al Khalid* sa topovima od 125 mm i automatskim punjačima, što smanjuje broj posade na tri čoveka – komandira, nišandžiju i vozača.

Dok je NORINCO glavni izvoznik kopnenih sistema u Kini, kompanija *Poly Technologies* projektovala je sličan paket za modernizaciju tenka *Type 59*.

Modernizacija francuskog tenka Leclerc

Kompanija *Nexter Systems* proizvela je 406 tenkova *Leclerc* za francusku vojsku i 436 tenkova *Leclerc* i njegovih varijanti za Ujedinjene arapske emirate.

Kupola tenka *Leclerc* je proizvedena u gradu *Tarbes* dok je proizvodnja trupa i konačno sklapanje smešteno u *Roanne* koji predstavlja sadašnji centar kompanije *Nexter* za oklopna borbeno vozila i artiljerijske sisteme. *Roanne* trenutno radi modernizaciju tenka *Leclerc* i to po 10 vozila godišnje.

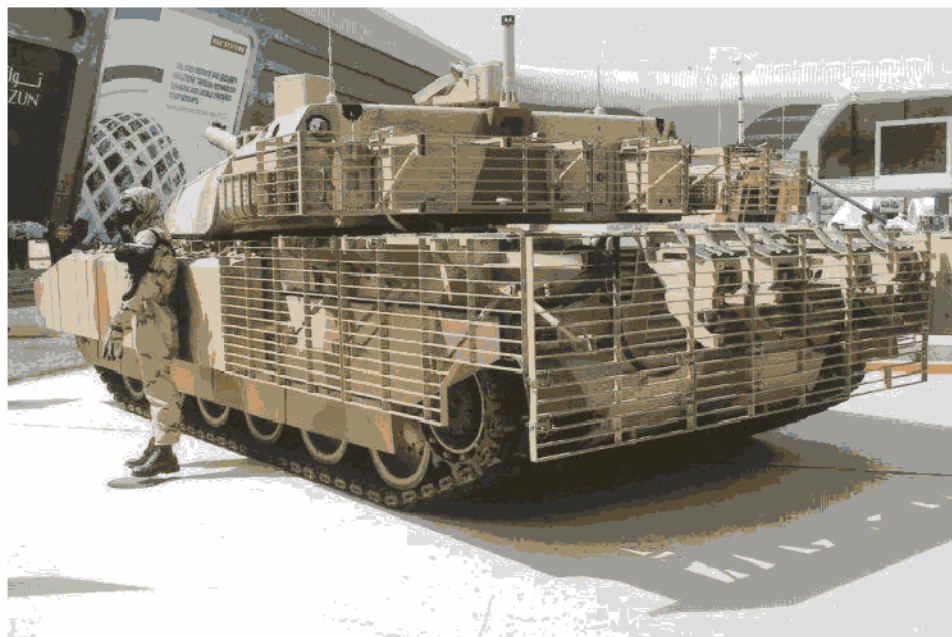
Nakon zadnjeg restrukturiranja, francuska vojska je smanjila svoju flotu tenkova *Leclerc* na nekih 254 vozila dok su prva proizvedena vozila izbačena iz operative upotrebe.

Poslednja 54 tenka *Leclerc* pripadaju seriji *Block II+*, što podrazumeva dodatni oklop, nišansku spravu komandira kompanije *Sagem* sa dnevnim i termalnim kanalima, kao i sa ugrađenim laserskim daljinomerom.

Dva osnovna zrna koje ispaljuje top od 120 mm F1 sa glatkom cevi kompanije *Nexter* su zrno APSFDS (podkalibarna municija) i eksplozivno zrno (HEAT). Automatski punjač sadrži ukupno 22 barkodirane granate 120 mm.

Francuska vojska nedavno je uvela u operativnu upotrebu novu visokoeksplozivnu rasprskavajuću granatu (HE) od 120 mm F1 koju je projektovala kompanija *Nexter Munitions i NAMMO*. Isporučeno je 10.000 takvih granata. Ova granata ima montiran upaljač na vrhu sa dva načina rada – nakon udara i odloženi sa maksimalnim dometom od 5.000 m, a sadrži 3,2 kg visokoeksplozivne smeše i 9,2 kg rasprskavajućeg materijala.

Kompanija *Nexter systems* proizvela je komplet za gradske borbe – *Action en Zone Urbaine (AZUR)* koji je testirala francuska vojska, ali još nema narudžbi. Ova oprema podrazumeva dodatni pasivni oklop preko čeonog dela, rešetkasti oklop preko zadnjeg dela kupole i poboljšanu zaštitu od projektila koji napadaju gornji deo kupole.



Tenk Leclerc Ujedinjenih Arapskih Emirata sa kompletom AZUR

Daljinski kontrolisana oružna stanica sa mitraljezom 7.62 mm montirana je na krov kupole radi bliske zaštite, dok panoramska kamera montirana na vrh kupole snima situaciju u krugu od 360 stepeni. Oprema, takođe, podrazumeva i pešadijski komunikacioni sistem i odbacive kutije za snabdevanje na zadnjem delu trupa umesto rezervoara za dizel gorivo.

Iako su izrađene mnoge studije u vezi s poboljšanjem mogućnosti tenkova francuske vojske *Leclerc* još nisu sklopljeni nikakvi ugovori.

Ujedinjeni Arapski Emirati sklopili su ugovor o nabavci 388 tenkova *Leclerc* i 46 oklopnih vozila za izvlačenje, tako da su isporuke počele tokom 1994. godine i završile sa 2004. godinom. Svi tenkovi su opremljeni motorom *EuroPowerPack* od 1.500 KS kojim je opremljeno i 20 tenkova za izvlačenje *Leclerc* francuske vojske.

Ovi tenkovi takođe poseduju i druga unapređenja u vidu dodatne oklopne zaštite, klima-uređaja, instaliranog sistema *FINDERS* (za brzu informaciju, navigaciju, donošenje odluka i prijavu), panoramski nišan komandira sa termalnim kanalom i laserskim daljinarom, kao i dodatnu energetska jedinicu.

Ujedinjeni Arapski Emirati takođe su primili prvu turu kompleta zaštite *AZUR* za jednu četu svojih tenkova *Leclerc*.

Modernizacija tenka Leopard 2

Prvi tenk *Leopard 2* sišao je sa proizvodne trake 1979. godine, a od tada je doživio značajne modifikacije. Kompanija *Krauss-Maffei Wegmann (KMW)* proizvela je 990 komada za nemačku vojsku, dok je drugih 810 komada proizveo *MaK* sada *Rheinmetall*.

U okviru nemačke vojske postoji veliki broj različitih tenkova *Leopard 2*, a zadnja serija je označena kao *Leopard 2A4*. Dalja poboljšanja tenka rađenog za nemačku vojsku rezultirala su tenkom *Leopard 2A5* koji je zadržao top kompanije *Rheinmetall* 120 mm L/44 sa glatkom cevi. Zatim je sledio *Leopard 2A6* na koji je montiran duži top kompanije *Rheinmetall* 120mm L/55, takođe sa glatkom cevi.



Kanadski Leopard 2A4M CAN u Avganistanu sa rešetkastim oklopom

Obe verzije sadržale su i druge modifikacije, uključujući dodatni pasivni oklop na čeonom delu.

Danska je uvela u operativnu upotrebu tenk *Leopard 2A5 DK*, koji je, uprkos oznaci, modifikacija starijeg tenka, dok Švedska poseduje novi *Strv 122* koji je jedno vreme važio za najbolje zaštićenu varijantu tenka *Leopard 2*. Oba tenka naoružana su standardnim topom 120 mm L/44 sa glatkom cevi.

Novoprodukcioni tenk *Leopard 2A6* nalazi se u operativnoj upotrebi u grčkoj vojsci pod oznakom *Leopard 2A6 HEL*, a isti tenk u španskoj vojsci ima oznaku *Leopard 2E*. Prva vozila isporučila je kompanija KMW pre nego što je pokrenuta lokalna proizvodnja.

Najnoviju verziju *Leopard 2A7* razvila je kompanija KMW za nemačku vojsku koja je već primila prvih 20 tenkova.

Ova verzija obuhvatila je sve sugestije potrošačke zajednice, a vozila su optimizirana za gradske borbe ili mirovne misije.

Leopard 2A7 naoružan je topom kompanije *Rheinmetall* 120 mm L/55 sa koksijalnim mitraljezom 7.62 mm. Na krovu je montirana daljinski kontrolisana oružna stanica KMW FLW 200 RWS koja se već nalazi u naoružanju oklopnih vozila.

Dodat je pasivni oklop kao i oprema za zaštitu od minsko-eksplozivnih sredstava. Ovakva zaštita nalazi se na jednom broju tenkova koji se nalaze u naoružanju kanadske, danske, nemačke i švedske vojske.

Vozač se sada nalazi na sedištu koje je odvojeno od poda i ima svoju termalnu spravu za noćno osmatranje. Komandirov panoramski osmatrački uređaj sada ima ugrađenu termalnu kameru, dok nišanski uređaj sada uključuje termalnu kameru i laserski daljinomer.

Tenk je opremljen i reflektorom kojim je opremljena danska verzija *Leopard 2A5 DK* s obzirom na to da se to pokazalo kao delotvorno u Avganistanu.

Druga unapređenja uključuju pomoćnu pogonsku jedinicu, telefonsku vezu sa pešadijom na zadnjem delu tenka i unapređeni amortizacioni sistem s obzirom na povećanu težinu.

Početkom 2013. godine Katar je sklopio ugovor sa kompanijom KMW u vezi s isporukom 62 tenka *Leopard 2A7*, kao i za 24 samohodne haubice *PzH 2000 155mm/52*.

Kao što je prethodno rečeno, kompanija *Rheinmetall* proizvela je 810 tenkova *Leopard 2* za nemačku vojsku, kao i određenu količinu za izvoz, što ukupno iznosi 997 komada.

S druge strane, kompanija *Rheinmetall* je o svom trošku razvila komplet za modernizaciju tenka za izvoz pod nazivom „Revolucija tenka“. Ovaj komplet prvi put je prikazan sredinom 2010. godine, a sačinjen je na osnovu iskustva kompanije u proizvodnji ranijih verzija tenka *Leopard 2*, kao i na osnovu iskustava stečenih nakon izvršenih isporuka topova 120 mm, municije i kompjuterizovanih sistema za upravljanje vatrom.

Komplet „*Revolucija tenka*“ sadrži novi pasivni oklop koji pojačava zaštitu tenka u radijusu od 360 stepeni.

Instaliran je ROSY sistem sa bacačima dimnih patrona, a taj sistem ugrađen je na modifikovanu i potpuno digitalizovanu kupolu. U samoj kupoli smanjen je broj kutija i kablova, a svi članovi posade imaju TFT panele.



"Tenk Revolution"

Stari elektrohidraulični sistem GCE zamenjen je novim, potpuno električnim sistemom, dok kamere obezbeđuju pokrivenost od 360 stepeni.

Komandir ima stabilizovani elektrooptički senzorski sistem (SEOSS) kompanije *Rheinmetall* koji omogućuje otkrivanje ciljeva na velikim daljinama pod svim meteorološkim uslovima. Takođe, prisutna je pomoćna pogonska jedinica, klimatizovana površina, telefon za kontakt sa pešadijom na zadnjem delu tenka, kao i kočnica komandira ukoliko je vozač povređen.

Kompanija *Rheinmetall* kupila je određen broj tenkova od nemačke i švajcarske vojske radi potencijalnog izvoza. Kompanija je nedavno prodala 103 tenkova *Leopard 2* i 42 oklopnih vozila pešadije *Marder 1A3* Indoneziji od kojih će jedan deo biti modernizovan.

Kompanija *Rheinmetall* je u saradnji sa švajcarskom kompanijom *RUAG Defence* projektovala oklopno inženjersko vozilo *Kodiak* izrađeno od viškova tenkova *Leopard 2*. Ovakva vozila prodana su Holandiji (6), Švedskoj (6) i Švajcarskoj (12).

Modernizacija tenka *Ariete*

Italijanska vojska primila je isporuku 2000 tenkova *Ariete* u periodu od 1995. do 2002. godine. Ovi tenkovi zamenili su zastarele *Leopard 1*.

Nisu razvijene varijante tenka *Ariete*, tako da su u Italiji specijalna vozila za izvlačenje, za pontonske mostove, zasnovane na tenku *Leopard 1* i dalje su u operativnoj službi.

Glavni ugovarač za tenk *Ariete* i druga oklopna vozila, kao što su oklopno vozilo pešadije, jeste Konzorcijum *Iveco Oto* s tim što je kompanija *Oto Melara* odgovorna za proizvodnju oklopnih vozila pešadije – guseničara, a kompanija *Iveco Defence Vehicles* za točkaše oklopne transportere.

Kompanija *Oto Melara* takođe je odgovorna za kupole i oružne sisteme za ova vozila, dok je kompanija *Iveco Defence Vehicles* odgovorna za pogonski deo, uključujući i italijanski dizel agregat.

Kompanija je isporučila italijanskoj vojsci 200 kompleta za unapređenu zaštitu i još 30 dodatnih kompleta za mirovne misije. Kompanija *Oto Melara* sprovela je studije u vezi s potencijalnim tenkom *Ariete Mk 2* koji bi predstavljao dalji razvoj tenka *Ariete*, a ne novi tenk. Ovakav tenk imao bi novi dizel motor za turbo punjačem od 1.500 KS, šire gusenice radi smanjenja pritiska o tlo, hidropneumatsku amortizaciju radi boljih kros-kantri performansi, poboljšanu zaštitu, potpunu elektrifikaciju kupole i unapređeni sistem za kontrolu vatre. Pomenuti sistem je *Selex TURMS* i instaliran je u oklopnom vozilu/samohodnom topu *Centauro* 105 mm 8X8 koji se nalazi u naoružanju italijanske vojske.

Ukoliko to bude predviđeno budžetom, italijanska vojska planira modernizaciju jedne trećine svoje flote tenkova *Ariete*, ali je moguće da se izvrši samo zamena zastarelih sistema za upravljanje vatrom.

Kompanija *Oto Melara* je, uz finansiranje italijanskog ministarstva odbrane, radila na aktivnom sistemu odbrane *Scudo hard-kill* i postoji mogućnost da takav sistem bude instaliran na tenk *Ariete*.

Modernizacija ruskog T-72

Ruski tenkovi T-72 su poslednjih 40 godina proizvedeni u količinama većim od bilo kojih drugih tenkova. Pored proizvodnje u Rusiji, T72M1 se proizvodio u bivšoj Čehoslovačkoj, Poljskoj i bivšoj Jugoslaviji, obično kao modifikovana verzija.



T-72M1

Kompanija *UralVagonZavod* razvila je nekoliko vrsta modifikacija, od kojih je poslednja ponela naziv *T-72M1 Modernized*, a modifikacija pokriva oblasti oklopa, pokretljivosti i vatrene moći.

Postojeći top 125 mm zamenjen je najnovijim topom 125 mm 2A46M sa glatkom cevi koji proizvodi kompanija *Artillery Plant Nb 9*, a za koji se tvrdi da je precizniji od prethodnika. Top je takođe opremljen termalnim prekrivačem, eks-traktorom izduvnih gasova i referentnim sistemom na ustima cevi kojim nišandži-ja može vršiti poravnanje nišanske ose topa bez napuštanja kupole, što obezbe-đuje veću preciznost.

Novi sistem za upravljanje vatrom uključuje stabilizovanu nišansku spravu ni-šandžije sa dnevnim i termalnim kanalom i ugrađenim laserskim daljinarom *Sosna-U*. Nišandžija takođe poseduje i nišanski sistem TPD-1K. Režim automat-skog praćenja ciljeva se upotrebljava zajedno sa termalnim kanalom nišanske sprave *Sosna-U* u slučaju kada je sistem za upravljanje vatrom u osnovnom reži-mu rada. Komandir ima dnevno/noćnu nišansku spravu koja je stabilizovana po elevaciji i sada pomoću nje može upravljati svojim mitraljezom 12.7 mm montira-nim na krovu kupole, a i komandir i nišandžija imaju svoju osmatračku spravu.

Top 125 mm 2A46 sa glatkom cevi može takođe ispaljivati laserski navođene projektele do maksimalne daljine od 5.000 m čak i u pokretu. Ispaljivanje laserski vo-đenih raketa mogu sprovoditi i komandir i nišandžija, a, prema navodima kompanije *UralVagonZavod*, vreme leta do maksimalne daljine iznosi 17,6 sekundi.

Osnovna verzija *T-72M1* već je snabdevena „naprednim“ oklopom, ali je na tenk *T-72M1 Modernized* dodat i najnoviji aktivno-reaktivni oklop *Relikt-5* koji obezbeđuje visok nivo zaštite od projektila sa kinetičkom, ali i hemijskom energijom, naročito u oblasti čeonog dela.

Vozilo je takođe opremljeno elektromagnetnim sistemom, za koji se tvrdi da štiti od protivtenkovskih mina sa magnetskim upaljačima. Takođe, prisutan je i zaštitni sistem koji upozorava posadu da je naciļjana laserskim snopom na dalji-nama do 371 m. Sistem tada može ometati protivtenkovske sisteme sa poluau-tomatskim navođenjem. Integrisani bacači granata 81 mm tada mogu lansirati granate tipa 3D17 ili 3D6.

Pokretljivost je poboljšana dizel motorom V-92S2 od 1.000 KS i automat-skim menjačem. Amortizacija je takođe poboljšana ugradnjom jačih torzionih šip-ki, novim i većim pogonskim točkovima i novim gusenicama.

T-72M1 Modernized ima borbenu težinu od 46 t, što znači odnos teži-ne/snaga 21.73 KS/t.

Ugrađen je sistem za upravljanje bitkom koji uključuje sistem za satelitsku navigaciju sa procesorom za mapiranje i dvokanalni radio-uređaj R-168-25UE-2.

Standardna oprema podrazumeva sistem za otkrivanje i supresiju vatre, dva rezervoara za gorivo u buradima za dužu autonomiju na kraju trupa i kom-plet za NBH.

Challenger 2 LEP

Britanska vojska i Kraljevska vojska Omana jedine su oružane snage koji koriste tenk *Challenger 2*. Omanska vozila su optimizovana za temperature Srednjeg istoka.

Restrukturiranjem snaga, britanske snage smanjene su na nivo tri tenkovska puka, s tim što se u ratnom rasporedu u svakom od njih nalazi po 58 tenkova *Challenger 2*. Ukupan broj ovih tenkova u britanskoj vojsci je oko 227 vozila, s time što je ukupan broj isporučenih tenkova 386, u koje spadaju i trenažni tenkovi, kao i tenkovi koji se nalaze na održavanju. Ostatak tenkova je predviđen za kanibalizaciju i rezervne delove.

Tenk *Challenger 2* naoružan je topom 120 mm L30A1 sa olučenom cevi koji ispaljuje dvodelnu municiju (projektil i punjenje).

Challenger 2 je, u okviru programa tehničke demonstracije koji je dodeljen kompaniji *BAE Systems*, opremljen topom 120 mm L/55 kompanije *Rheinmetall* sa glatkom cevi i testiranje je završeno tokom 2006. godine u Velikoj Britaniji.

Očekivalo se da će *Challenger 2* biti uključen u program *Challenger Capability Sustainment Programme (CCSP)* u okviru kojeg bi bio izvršen jedan broj modernizacija, kao što su zamena topa L30A1 topom 120 mm L/55, što bi podrazumevalo upotrebu većeg broja različitih granata predviđenih za topove sa glatkom cevi.

Međutim, odustalo se od programa CCS, a umesto toga preostali tenkovi *Challenger 2* biće uključeni u program produženja životnog veka (*LEP Life Extension Programme*), nakon čega će tenkovi ostati u operativnoj upotrebi do 2035. godine. Ciljevi programa nisu u potpunosti jasni, ali se pretpostavlja da će biti zamenjeni zastareli podsistemi umesto kapitalnih radova. Program će vredeti oko 812 miliona dolara.

Kompanija *Vickers Defence Systems* prvobitno je projektovala tenk *Challenger 2*, a proizvodnja je pokrenuta u fabrici u gradu *Leeds* (sada je zatvorena) i u gradu *Newcastle* čiji će pogoni biti zatvoreni početkom 2014. godine.

Kompanija *BAE Systems* sada vodi projekat *Challenger 2*, kao i vozilo za izvlačenje i popravku *TITAN AVLB* i *TROJAN Breacher*, a vozila imaju zajedničke kompatibilne delove. Generalni remont na tenku *Challenger 2* rađen je u fabrici kompanije *Defence Support Group* u gradu *Bovington*.

Povodom operacija u Iraku, jedna serija tenkova *Challenger 2* modernizovana je ugradnjom mešovito oklopa – pasivnim oklopom sa rešetkama preko zadnjeg dela tenka, elektronskim uređajima za borbu protiv improvizovanih eksplozivnih naprava i oružnom stanicom *Selex Enforcer*, montiranoj na krovu, naoružanoj mitraljezom 7.62 mm, uređajem za sečenje žice, modifikovanim uređajem za prečišćavanje i hlađenje vazduha.

To je dodatno opteretilo vozilo na oko 73 tone, što je uzrokovalo smanjenje nosa snage/težine na 16.4 KS/toni. Pri tome ništa nije urađeno kako bi se to ispravilo.

Manji broj tenkova za izvlačenje *Challenger 2* takođe je modernizovan za učestvovanje u operacijama u Iraku.

Velika Britanija nije poslala nijedan tenk *Challenger 2* u Avganistan, ali je poslala jedan manji broj vozila *TROJAN breacher*, kao i tenkove za izvlačenje *Challenger*.

Modernizacija tenka M1 Abrams

Kompanija *General Dynamics Land Systems (GDLS)* dobijala je ugovore za modifikacije tenka *M1 Abrams* od kako je prvo vozilo sišlo sa proizvodne trake još 1980. godine naoružano topom 105 mm M68 sa olučenom cevi (takvim topom je naoružan i stariji tenk M60).

Nakon tenka M1 sledio je tenk M1A1 i M1A2. Oba su naoružana topom 120 mm M256 sa glatkom cevi, rađenog na osnovu topa L/44 koji je projektovala kompanija *Rheinmetall*. Prvobitni tenkovi *M1 Abrams* izbačeni su iz operativne upotrebe. Međutim, vozila koja su nešto kasnije proizvedena nalaze se i dalje u službi sa australijskim oružanim snagama (*M1A1 AIM*), u egipatskim oružanim snagama (*M1A1* zajednička proizvodnja), u Iraku (*M1A1*), u Kuvajtu (*M1A2*) i Saudijskoj Arabiji (*M1A2*), kao i u SAD (*M1A1/M1A2* vojska SAD i *M1A1* Marinski korpus).

Abramsi koji se koriste u Iraku opremljeni su kompletom za preživljavanje u gradu (*Tank Urban Survival Kit TUSK*) koji je projektovala kompanija GDLS. Ovaj komplet podrazumeva poboljšanu zaštitu i poboljšani pregled situacije.

Proizvodnja tenkova *M1A1/M1A2* okončana je, ali je američka vojska kontinuirano modifikovala značajan deo svoje flote preko programa Paket za sistemsko unapređenje (*System Enhancement Package SEP*), što je rezultiralo tenkovima *M1A2 SEP v1* i *SEP v2*.

Osnovni cilj projekta je povećanje sposobnosti vozila i zamena zastarelih i ne podržanih podsistema bez promene osnovnog naoružanja i pogonskog agregata.

Ovaj posao sprovela je kompanija GDLS u svojim pogonima u gradu Lima, država Ohajo. Do kraja 2013. godine oko 1.600 *Abramsa*, od ukupne flote od skoro 2.400 tenkova, modifikovano je na *standard M1A2 SEP v2*. Verzije tenkova *M1A2 SEP v3* nosiće naziv *M1A3*.

Na izložbi naoružanja u Vašingtonu, u oktobru 2013. godine, kompanija GDLS prikazala je novi dizel agregat 12V883 kompanije MTU od 1.500 KS, novi rashladni sistem sa automatskom transmisijom kompanije Allison. Ovakva modifikacija omogućuje tenkovima *M1A1/M1A2* znatno povećanje operativnog radijusa, umanjiti troškove održavanja, ali i smanjiti broj cisterni koje podržavaju oklopni bataljon.

U međuvremenu, kraljevina Saudijska Arabija primila je prve isporuke tenka *M1A2s* sa modifikovanim podsistemima. Detalji još nisu poznati, ali s obzirom na to da je proces modifikacije započet peskiranjem moguće je da se radi o značajnim modifikacijama.

Modernizacija tenkova *M60A1/M60A3*

Tenk M60 proizvela je kompanija *Chrysler Corporation* koju je kasnije kupila kompanija GDLS.

Tenkove M60, u američkoj vojsci, zamenili su tenkovi *Abrams*, ali je značajan broj starijih M60, naoružanih topom 105 mm M68 sa olučenom cevi, ostao u naoružanju nekih država.

Izraelska kompanija *Israel Military Industries* projektovala je komplet za modernizaciju *Sabra M60*

koji je izrađen na osnovu izraelskih iskustava upotrebe tog tenka.

Sabra je modularni sistem modifikacije prilagođen M60.

U međuvremenu, komanda turskih kopnenih snaga primila je prve isporuke od 170 tenkova M60A3 nazvane M60T.

Prvi prototip modernizovan je u Izraelu, dok je konverzija ostatka serije urađena u pogonima *Kayserie*, gde su modernizovani raniji primerici tenkova M48.

Modernizacija tenka M60T podrazumeva zamenu topa 105 mm topom 120 mm sa glatkom cevi, novi kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom koji omogućavaju napad na pokretne i nepokretne ciljeve u svim vremenskim uslovima sa povećanom mogućnošću pogotka prvim zrnom.



M60T

Poboljšana je i otpornost tenka ugradnjom novog pasivnog i aktivno-reaktivnog oklopa.

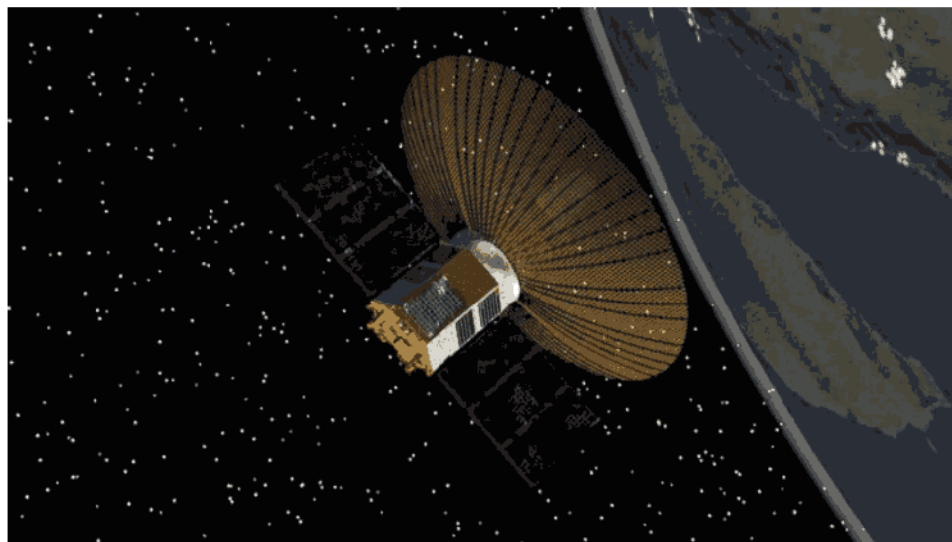
Ugrađen je novi dizel motor kompanije MTU od 1.000 KS sa transmisijom *Renk*, a poboljšan je i amortizacioni sistem tenka s obzirom na povećanu težinu.

Kompanija *L-3 Combat Propulsion Systems* takođe je razvila komplet za modernizaciju tenka M60 za izvoz. Ovaj komplet uključuje zamenu topa 105 mm topom 120 mm M256 sa glatkom cevi. Taj top je inače ugrađen na tenkove M1A1 i M1A2, i novim kompjuterizovanim sistemom za upravljanje vatrom. Zadržani su koaksijalni mitraljez 7.62 mm i kupolni mitraljez kalibra .50, ali se sada na krovu kupole nalazi i oružna stanica sa topom 25 mm.

Pokretljivost tenka unapređena je instalacijom hidro-pneumatskog amortizacionog sistema, novim pogonskim dizel agregatom od 1,200 KS kompanije *L-3 Combat Propulsion Systems* i automatskom transmisijom kompanije *Allison*.

Otpornost tenka povećana je novim oklopnim kompletom koji uključuje rešetkasti i pasivni oklop, a ugrađena je i pomoćna pogonska jedinica i klimatizovan je prostor unutar tenka.

Dragan Vučković



U skladu sa naporima za unapređenje sposobnosti prikupljanja obavještajnih podataka, Izrael je 9. aprila u orbitu lansirao novi špijunski satelit opremljen radarom sa sintetičkim otvaranjem (*synthetic aperture radar* – SAR).

Satelit kodnog naziva *Ofek 10* (*Ofeq 10*, u prevodu: horizont 10) lansiran je uz pomoć rakete šavit (*Shavit*) iz vazduhoplovne baze Palmahim, a izraelsko Ministarstvo odbrane saopštilo je da je satelit uspešno izveo manevar i ušao u planiranu orbitu, te uspostavio vezu sa zemaljskom stanicom. Očekuje se da će novi satelit postati operativan kroz nekoliko meseci. Prema izjavama zvaničnika Kosmičke uprave Ministarstva odbrane Izraela, pokretljivost satelita *Ofek 10* omogućiće nadzor velikog broja ciljeva na području više država za veoma kratko vreme. S obzirom na relativno veliki broj špijunskih satelita u Zemljinjnoj orbiti, Izrael ima mogućnost neprekidnog praćenja situacije na terenu. Prvi satelit opremljen SAR tehnologijom Izrael je lansirao još 2008. godine iz Indije, a poslednji u nizu razvijan je oko osam godina uz troškove izražene u stotinama miliona šekela. Sudeći po izjavama predstavnika kompanije IAI, satelitu *Ofek 10* potrebno je devedeset minuta da obiđe našu planetu, te da bez obzira na vremenske prilike može pružiti radarsku sliku koja se kvalitetom može meriti sa onom koju pruža optička fotografija.

Izrael je jedna od dvanaest država u svetu koje su sposobne da proizvedu i samostalno lansiraju vojne satelite, a prvi u nizu, *Okufek 1* (*Oqfek 1*) lansiran je još 1988. godine. Može se pretpostaviti da će najnoviji dodatak „floti“ imati najviše posla iznad Islamske Republike Iran, s akcentom na iranski nuklearni program.

Mladen Tišma

⁵ <http://www.janes.com/article/36784/israel-launches-sar-spy-satellite> [posećeno: 13. maj 2014].

Serijski AH-6i obavio prvi let⁶



Prvi serijski Boingov laki jurišno-izviđački helikopter *AH-6i little bird* (AH-6i *Little Bird*) uspešno je, 1. maja ove godine, obavio prvi let u trajanju od dvadeset minuta, tokom kojih je ispitano ponašanje letelice tokom letenja napred, nazad i u stranu.

Ovaj helikopter zapravo predstavlja izvoznu verziju helikoptera AH-6S koji koristi Kopnena vojska Sjedinjenih Država, a vodi poreklo Hjušovog modela 369, u američkoj službi poznatog i kao OH-6 kajuz (*Hughes OH-6 Cayuse*) iz šezdesetih godina prošlog veka.

Novi AH-6i deli sa prethodnim modelima, OH-6 i MD 500, brojne zajedničke karakteristike, pre svega izuzetno male dimenzije. Naime, letelica ima dužinu od svega 9,95 metara, a prečnik glavnog rotora je tek 8,33 metara. Poput prethodnih modela osnovu zmaja čini tzv. A-okvir uz krute sanke za sletanje, čime se povećava žilavost u slučaju udesa. Pored toga, AH-6i takođe ne koristi sistem hidrauličnih komandi leta, već mehanički, što obezbeđuje jednostavnije rukovanje, ali i osetljivost na komande pilota. Helikopter je pogonjen Rols-Rojsovim motorom 250-C30R/3M opremljenim FADEC-om, odnosno potpuno digitalizovanom kontrolom, a obezbeđuje maksimalnu snagu od 650 KS, s tim da je ograničen na 600 KS, imajući u vidu radne limite sistema prenosa. Masa vazduhoplova na uobičajenom zadatku sa dva člana posade, naoružanjem i gorivom iznosi svega 1.800 kg, pri čemu novi helikopter ima četiri nosača za podvešavanje ubojnih sredstava, dok su raniji modeli iz ove „porodice“ imali po dva. U borbeni komplet letelice spadaju getling mitraljezi M134D kalibra 7,62 mm i GAU-19 kalibra 12,7 mm, mitraljez FN Herstal M3P kalibra 12,7 mm, vođene rakete vazduh-zemlja AGM-114 helfajer (AGM-114 *Hellfire*), kao i raketna zrna kalibra 70 mm. Avionika je usklađena sa ITAR standardima i zasniva se na softverskim rešenjima za AH-64E, a uključuje digitalnu „staklenu“ kabinu opremljenu višenamen-

⁶ <http://www.janes.com/article/37325/production-standard-ah-6i-little-bird-makes-maiden-flight> [posećeno: 13. maj 2014]

skim prikazivačima za oba člana posade. Pored toga, helikopter je opremljen i optoelektronskim i IC senzorima smeštenim ispod pilotske kabine.

Boing procenjuje da će tržištu biti potrebno oko 700 ovakvih aparata za zamenu zastarelih helikoptera kakvi su MD 500 i AH-1.

Mladen Tišma

*Sikorski izveo demonstraciju opciono
bespilotnog helikoptera na bazi crnog jastreba⁷*



Američka kompanija Sikorski (*Sikorsky*) sredinom marta sprovela je prvi let opciono bespilotne varijante svog poznatog helikoptera *crni jastreb* (*Optionally Piloted Black Hawk – OPBH*).

Prvi let izveden je u pogonima kompanije na Floridi, a tokom leta helikopterom je upravljano uz pomoć prenosive zemaljske upravljačke stanice, slično kontrolama dečjih letećih modela aviona. Demonstracija se smatra važnom i za projekat MURAL (*Manned/Unmanned Resupply Aerial Lifter*), na kojem zajednički rade Direktor za razvoj avijacije KoV Sjedinjenih Država, Kancelarija KoV SAD za helikoptere opšte namene i Sikorski.

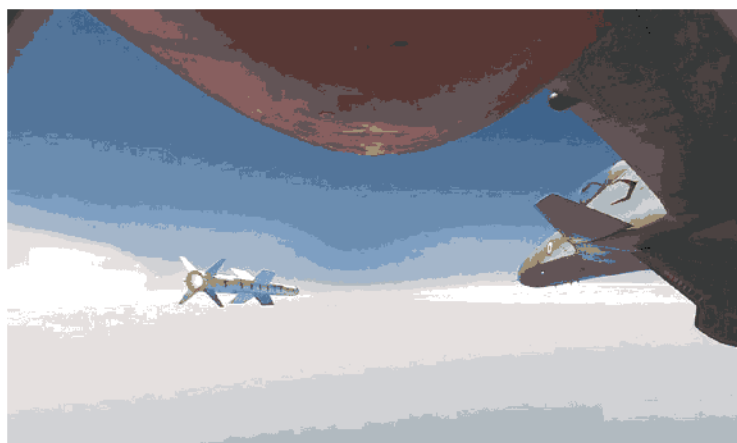
Program MURAL predstavlja deo šireg napora oružanih snaga SAD u razvijanju automatizovanih sposobnosti snabdevanja pozadine snaga prve linije, posebno Marinskog korpusa, a pored ovog programa uključeni su i projekti novog bespilotnog helikoptera K-MAX koji zajednički razvijaju Lockheed Martin i Kaman, te program AACUS kojim rukovodi Mornarička razvojna kancelarija.

Sikorski, za sada, u programu učestvuje sa svoja dva modifikovana helikoptera tipa UH-60MU.

Mladen Tišma

⁷ <http://www.janes.com/article/36894/sikorsky-demonstrates-optionally-piloted-black-hawk>
[posećeno: 13. maj 2014]

Uspešno lansiranje nove indijske rakete v-v astra sa aviona Su-30MKI⁸



Indijsko ratno vazduhoplovstvo uspešno je izvršilo letna ispitivanja domaće rakete vazduh-vazduh srednjeg dometa tipa *astra* (*Astra*) „živim“ lansiranjem sa lovačkog aviona Su-30MKI.

U saopštenju indijske Organizacije za odbrambena istraživanja i razvoj istaknuto je da je tokom opitovanja novi projektil zadovoljio sve zahteve i ispunio planove, potvrđujući i uspešnost domaćih komponenti rakete, poput data-linka, računara, inercijalnog navigacijskog sistema i fiber-optičkog žiroskopa. Razvoj rakete *astra* započeo je kroz kombinovanje elemenata francuske rakete Matra R 530D i ruskog Vimpelovog projektila R-77, sa ciljem da se dobije raketa sposobna za dejstvo u svim vremenskim uslovima, u klasi raketa kakve su R-Darter, IRIS-T i kineska PL-11. Radi se o raketi na čvrsto gorivo, dužine 3,57 m, prečnika 178 mm i mase pri lansiranju od 154 kg, pri čemu 15 kg otpada na konvencionalno eksplozivno punjenje bojeve glave. Projektil je namenjen za dejstvo po ciljevima velike brzine i pokretljivosti. Daljine lansiranja kreću se u kratkodomnoj verziji do 20 km iz zadnje polusfere, dok u verziji namenjenoj za dejstva dugog dometa raketa može da dejstvuje do 80 km u prednju polusferu cilja. Na nivou mora domet rakete iznosi 20 km, a proizvođač tvrdi da može dostići 44 km na visini od 8.000 m, odnosno 80 km ako se lansira sa visine od 15.000 m. Raketa ima aktivno radarsko samovođenje u završnoj fazi leta, a opremljena je i elektronskim protivmerama. Takođe, pogonsku grupu projektila karakteriše i bezdimno sagorevanje, što značajno umanjuje šanse za vizuelno otkrivanje njenog lansiranja. Verzija ove rakete, pod oznakom Mk II, trebalo bi da ima domet od 100 km, a njeno opitovanje očekuje se do kraja ove godine.

Očekuje se da će raketa *astra*, pored lovaca Su-30MKI, biti uvedena u naoružanje drugih aviona indijskog ratnog vazduhoplovstva, posebno MiG-29UPG, tejas (*Tejas LCA*) i miraž 2000 (*Mirage 2000*).

Mladen Tišma

⁸ <http://www.janes.com/article/37521/india-successfully-tests-home-grown-astra-aam>
[posećeno: 14. maj 2014]

Prototip novog japanskog borbenog aviona poleće ove godine⁹



Japanski ministar odbrane potvrdio je planove da prototip demonstratora novog, domaćeg borbenog aviona koji se razvija u okviru programa *Advanced Technology Demonstrator-X* (ATD-X), i pored kašnjenja od nekoliko meseci, obavi svoj prvi let tokom 2014. godine.

Projekat ATD-X, poznat i pod kodnim nazivom šinšin (*Shinshin*, u prevodu srce boga), razvija Tehnički istraživačko-razvojni institut japanskog ministarstva odbrane radi dobijanja lovačkog aviona za postizanje prevlasti u vazduhu velike pokretljivosti i umanjenog radarskog odraza (tzv. stelt), čijim bi se ispitivanjima dobio F-3 – proizvodni model aviona šeste generacije sa naprednim tehnologijama, protiv-stelt sposobnostima i na kojem bi bio primenjen koncept i3 (informisan, inteligentan, instant/trenutan), a koji bi zamenio postojeću flotu domaćih lovaca-bombardera F-2, razvijenih na bazi američkog F-16. Japanski parlament trebalo bi 2018. godine da donese konačnu odluku da li će se nastaviti razvoj domaćeg borbenog aviona ili će se ući u saradnju sa partnerima iz inostranstva, posebno zbog protivljenja SAD japanskom ulaganju u spostvene vazduhoplovne industrijske kapacitete i samostalnu proizvodnju borbenih aviona.

Najveću brigu Japana predstavlja razvoj ruskih i kineskih borbenih aviona pete generacije: T-50 i J-20 koji će bitno umanjiti sposobnosti japanskog sistema VOJIN koji trenutno sačinjava 28 radarskih položaja.

Mladen Tišma

⁹ <http://www.janes.com/article/36713/japan-s-indigenous-stealth-jet-prototype-to-fly-this-year>
[posećeno: 14. april 2014]

Prvi let aviona-topovnjače MC-27J¹⁰

Avion-topovnjača MC-27J, verzija poznatog italijanskog transportnog aviona C-27J *spartanac* (C-27J *Spartan*) obavio je svoj prvi let u punoj konfiguraciji.

Vazduhoplov je opremljen podvesnikom ispod pilotske kabine tipa L-3 *Wescam* MX-15HD sa fiber-optičkim i infracrvenim senzorima, novim sistemom veze *Selex ES*, te data-linkom i hardversko-softverskim paketom *Link16*. Pored toga, na letelicu treba da budu ugrađeni i modularni misiono-borbeni sistemi ATK koji bi se koristili poput paleta, primenom ro-ro sistema rukovanja teretom, a na bočna vrata biće postavljeni topovi tipa GAU-23 kalibra 30 mm, što se očekuje do kraja maja, nakon čega će uslediti nova opitovanja sa upotrebom naoružanja. Pored topova, italijanski proizvođač se nada da će izvršiti integraciju savremenih pametnih VUBS, poput američkih vajper strajk (*Viper Strike*) i grifon (*Griffon*) koji bi se nosili na podvesnim nosačima ili, pak, u unutrašnjosti trupa i lansirali kroz cevi. Cilj je da se dobije vazduhoplov koji se lako može transformisati iz klasičnog transportnog aviona u borbenu platformu, i obratno.

Alenija procenjuje potrebe tržišta za pedesetak aparata ovog tipa, s tim da se šest letelica već očekuje za potrebe italijanskog ratnog vazduhoplovstva sa rokom isporuke do 2016. godine, a pretpostavlja se i da bi sedam aviona C-27J koji su naručeni za potrebe Komande za specijalne operacije Vazduhoplovnih snaga SAD (AFSOC) mogli biti isporučeni upravo u konfiguraciji modularne topovnjače.

Mladen Tišma

¹⁰ <http://www.janes.com/article/37118/maiden-flight-for-mc-27j-gunship> [posećeno: 14. maj 2014]

*An-70 prošao ukrajinska državna opitovanja*¹¹



Taktički transportni avion *An-70* prošao je ukrajinska državna prijemna opitovanja i konačno je spreman za ulazak u serijsku proizvodnju, saopštio je konstrukcioni biro Antonov.

Nakon završetka modifikacija, septembra 2012. godine, avion je tokom opitovanja izveo 122 leta u ukupnom trajanju od 220 časova, dok su istovremeno tekla i ispitivanja na zemlji. Prema rečima proizvođača, avion je postigao tražene parametre, zahtevane od planiranih kupaca.

Ipak, s obzirom na političku situaciju u Ukrajini, i odnose sa Ruskom Federacijom, koja je (bila) partner u čitavom projektu, a njeno vazduhoplovstvo verovatno i najveći kupac ovog aviona sa planom nabavke od šezdeset aparata, postavlja se pitanje budućnosti celog projekta. Naime, ukrajinsko ratno vazduhoplovstvo nije zainteresovano za veće nabavke ovog aviona, mnoge komponente se proizvode u Rusiji, a problem predstavlja i veliki nedostatak finansijskih sredstava. U međuvremenu, nove ukrajinske vlasti smenile su glavnog čoveka kompanije Antonov, što je izazvalo negodovanje radnika.

Mladen Tišma

¹¹ *IHS Jane's Defence Weekly*, Vol. 51, No. 17, p. 12.

Iran predstavio novi raketni sistem za PVD¹²

Odbrambena industrija Islamske Republike Iran prikazala je novi raketni sistem za protivzduhoplovna dejstva pod nazivom „treći Kordad“ (*Third of Khor-dad*).¹³

Ovaj sistem integrisan je na jednom vozilu, a namenjen je za dejstvo po borbenim avionima i krstarećim raketama na visinama do 25.000 m, a sadašnji domet mu je 100 km, mada bi, prema najavama iranskih zvaničnika, u budućnosti mogao da bude i udvostručen.

Rakete koje koristi iranski RS PVD vizuelno podsećaju na konfiguraciju projektila poznatih ruskih sistema KUB i BUK, mada ga iranski funkcioneri po performansama poredе sa S-300.

Mladen Tišma

¹²

http://www.armyrecognition.com/may_2014_global_defense_security_news_uk/iran_to_unveil_its_new_local-made_hormuz_mobile_launcher_vehicle_with_zelzal_ballistic_missiles_1205.html
[posećeno: 14. maj 2014]

¹³ Datum prema persijskom kalendaru kada je u Iračko-iranskom ratu oslobođen lučki grad Kōramšar.

Američka mornarica oprema bespilotne letelice MQ-8C za elektronsko ratovanje¹⁴



Američki Sekretarijat odbrane saopštio je da Ratna mornarica Sjedinjenih Američkih Država planira da opremi bespilotne helikoptere MQ-8C za elektronsko ratovanje.

Proizvođaču letelice, Nortrop Grumanu (*Northrop Grumman*), ugovorom je dato 10,8 miliona američkih dolara za razvoj i ugradnju spoljnog podvesnika sa potrebnom opremom za elektronska dejstva MCAP, čime će se obezbediti primena letelice za različita elektronska dejstva u priobalju. Završetak radova očekuje se u junu sledeće godine.

Bespilotni helikopter razvijen je iz klasičnog helikoptera sa ljudskom posadom *Bell 407*, a ima radijus od 150 nautičkih milja i nosivost od 317 kg. Američka mornarica planira da nabavi 28 letelica ovog tipa za potrebe obaveštajnih misija, izviđanja, osmatranja, ali i vatrenih dejstava, a ulazak u naoružanje očekuje se 2016. godine.

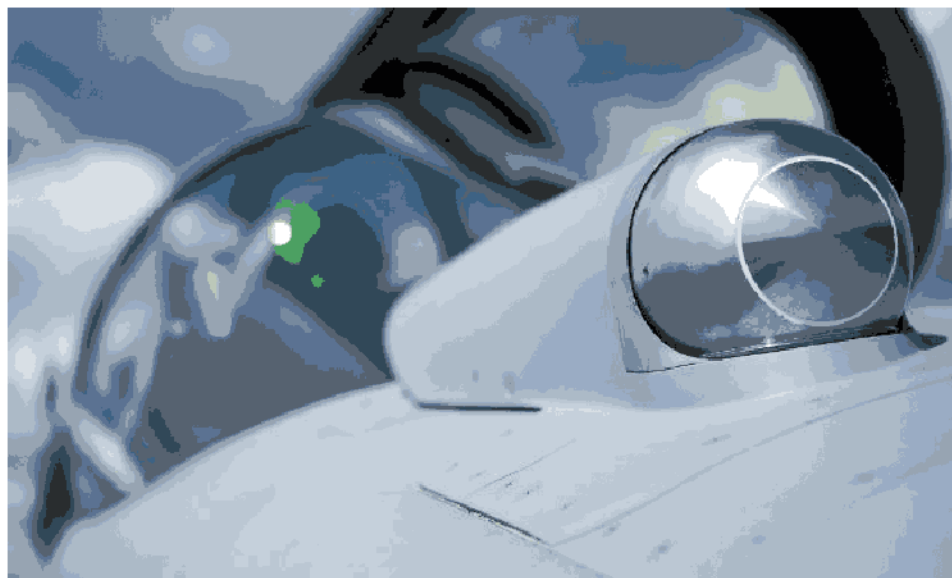
Mladen Tišma

Saab uspešno obavio ispitivanja novogIRST-a na gripenu E¹⁵

Švedska kompanija Saab saopštila je da je opitni avion *gripen E* (*Gripen E*) uspešno izveo prvi let sa uređajem za IC pasivno otkrivanje i praćenje ciljeva, poznat kao IIRST (*Infrared Search and Tracking*).

¹⁴ <http://www.janes.com/article/37321/us-navy-to-equip-mq-8c-uav-for-electronic-warfare> [posećeno: 14. maj 2014]

¹⁵ http://www.defense-aerospace.com/article-view/release/152977/saab-test_flies-irst-for-gripen-e.html [posećeno: 5. april 2014]



Uređaj je smešten na gornjoj strani nosnog konusa aviona i treba da obezbedi novoj generaciji *gripena* otkrivanje, identifikovanje i praćenje ciljeva, putem otkrivanja njihovog toplotnog odraza, što je posebno značajno kada se radi o vazduhoplovima sa umanjenim radarskim odrazom. Svrha opitnog leta bila je provera uspešnosti integracije, te pravilnog funkcionisanja uređaja, a prema rečima predstavnika kompanije Saab postignuti su veoma dobri rezultati. Sistem je, navodno, uspešno otkrio više ciljeva čime su ispunjena očekivanja.

Mladen Tišma

Steltnost aviona F-35 – još jedno iznevereno očekivanje¹⁶

Program razvoja novog američkog borbenog aviona pete generacije *F-35 lajtning II (F-35 Lightning II)*, poznat i kao združeni jurišni lovac (*Joint Strike Fighter*), potresa novi skandal. Naime, američki vojni stručnjaci došli su do zaključka da, usled niza tehničkih nedostataka nastalih prilikom projektovanja ovog borbenog aviona, savremeni radarski sistemi ruske i kineske proizvodnje mogu na vreme otkriti *F-35*.

¹⁶ <http://rt.com/usa/154956-stealth-jet-f35-growler/> [posećeno: 14. maj 2014]
<http://www.obramba.com/novice/nevidnega-lovca-f-35-je-mogoce-odkriti-z-ruskimi-radarji/>
 [posećeno: 5.5.2014]



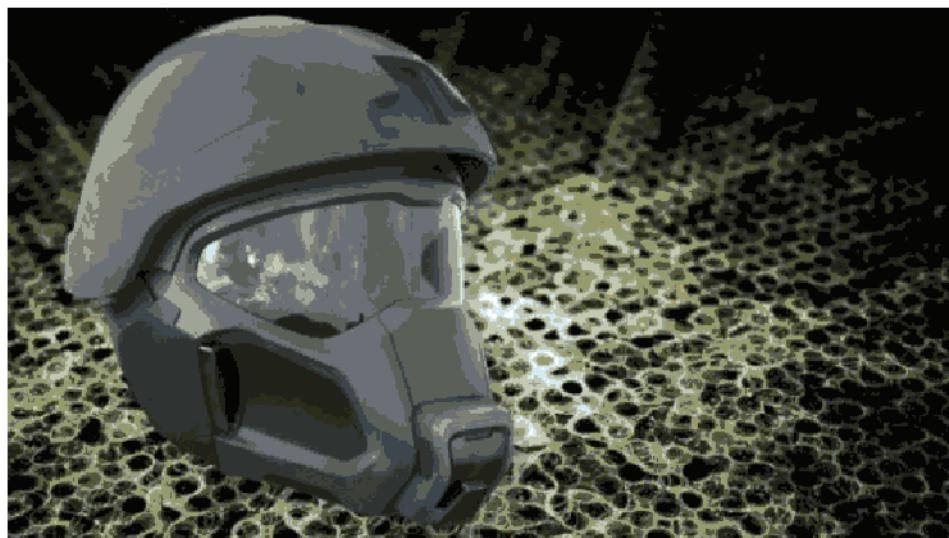
Naime, prilikom razvoja ove letelice pošlo se od potrebe za savlađivanjem radarskih sistema koji deluju u trocentimetarskom frekvencijskom opsegu, dok savremeni ruski i kineski radari deluju na mikrovalnim frekvencijama. Da stvar bude još interesantnija, takve tvrdnje potvrđuju i istraživanja koja je 1983. godine sproveda Linkolnova laboratorija MIT-a, pa je neverovatno da rezultati njihovih istraživanja nisu uzeti u obzir prilikom razvoja združenog jurišnog lovca.

Istovremeno, sve je više glasova koji dovode u pitanje i druge sposobnosti ovog aviona, ali i njegovu astronomsku cenu koja će, prema procenama Sekretarijata odbrane SAD, premašiti bilion američkih dolara (US\$ 1 trillion) za projekat, čime će postati (zapravo već je postao) najskuplja avantura Sjedinjenih Država u oblasti ratne tehnike. Čelnici rivalske kompanije Boeing doveli su u pitanje sposobnost F-35 za elektronska i protiv elektronska dejstva, a njihovim sumnjama nedavno se pridružila i sama Ratna mornarica SAD koja se odlučila za nabavku aviona EA-18G. Pored toga, brojni stručnjaci, uključujući i one koji su učestvovali u razvoju nekih od najuspešnijih američkih borbenih aviona kakvi su F-14, F-15, A-10 i F-16, istakli su da je pokretljivost ovog aviona na niskom nivou, kao i druge njegove letno-tehničke performanse, zbog kojih je beznačajno inferioran u bliskoj manevarskoj borbi u kojoj bi se protiv njega bolje pokazali i lovački avioni druge generacije, kakav je npr. veteran MiG-21.

Kakva je budućnost i da li će je uopšte biti za F-35 ostaje da se vidi.

Mladen Tišma

Nova generacija vojničke zaštitne maske¹⁷



Američka zaštitna maska nove generacije za kopnenu vojsku

Naučnici „Biološkog centra za hemijska istraživanja Edgewood“ (Edgewood Chemical Biological Center) objavili su, početkom 2014. godine, da razvijaju kompaktnu vojničku zaštitnu masku nove generacije. Maska poseduje nekoliko specifičnih inovacija. Naime, u maski, iza sistema za filtriranje vazduha, ugrađen je ventilator, koji velikom brzinom okretanja usisava vazduh kroz prečistače. U stvari, novi sistem sa mini-ventilatorom vuče vazduh kroz sistem za filtriranje sa obe strane maske. Time se umanjuje veličina konvencionalnih respiratora i eliminiše eventualna upotreba creva na kojima inače vise prečistači, posebno na maskama za dugotrajniju upotrebu. Vazduh se, pri udisaju usmerava bočno prema nosu. Pri izdisaju se zatvara udisni ventil, a vazduh izlazi kroz bočne ventile sa obe strane lica. Pored toga, ventilator hladi lice vojnika, što je veoma značajno kada je izložen velikim naporima na bojištu i lice počinje da mu prekriva znoj. Poznato je koliko znoj sa čela može da stvara problema kada preko tepavica pada na oči. S obzirom na to da maska obezbeđuje kompletnu zaptivost, i u uslovima promene potpritisaka i natpritisaka, na taj način sprečava se za-



Testiranje zaštitne maske u američkoj vojsci

¹⁷ Army designing next-generation protective mask, May 12, 2014, By ECBC Communications http://www.army.mil/article/125327/Army_designing_next_generation_protective_mask/.

gađivanje vazduha unutar maske. Kompaktna maska integrisana je sa šlemom, što obezbeđuje efikasnu zaštitu glave i disajnih organa.

Ova tehnologija moći će da se ugrađuje i u naredne generacije maske. Iza-
bran je ventilator koji troši manje energije, veoma je lagan i mali, tako da ne uve-
ćava veličinu maske. Pored toga, vizir omogućava široko vidno polje. Ovakva
maska pruža vojniku veći nivo udobnosti u odnosu na postojeće sisteme za za-
štitu od NHB opasnosti i kontaminiranoj atmosferi. Pored toga, ne ometa kori-
šćenje postojećih nišanskih i drugih elektrooptičkih sistema na oružju, što je veo-
ma značajno u odnosu na ergonomsku funkcionalnost.

U kopnenoj vojsci SAD, od 2009. godine, koristi se zaštitna maska M50. Ova maska ima dva filtera, koji se postavljaju sa obe strane, „avonov“ sistem za hidrataciju, vizir koji ujedno štiti od sunčevog zračenja, kao i torbicu koja se nosi na pojasu. U testovima tokom 2013. godine, nova maska se pokazala efikasni-
jom i prilagođenijom od maske M50.

Razvijeni model i primenjena tehnologija moći će da se integrišu i u sledeće generacije šlemova sa komunikacionim sistemom. Sa kompjuterom, koji se koristi u sistemu za vezu, svojim poboljšanjem, uz ugrađene senzore za kontrolu životnih uslova, moći će da sa prati i fiziološko stanje vojnika. On će automatski podešavati brzinu ventilatora u nekoliko modova, koji odgovaraju određenom nivou vojnike fizičke aktivnosti i zatrovanosti atmosfere. To je deo projekta za psihofizički monitoring vojnika, koji treba da obezbedi program nazvan „Veb ratnik“ (Warrior WEB¹⁸).

Koliko se vodi računa o određenim ergonomskim i funkcionalnim detaljima, te potrebama za povezivanjem više projekata, univerzalnoj modularnosti i drugim ka-
rakteristikama, ukazuje primer razvoja novog vojničkog šlema (Next Gen Modular Helmet Systems¹⁹). Na tom šlemu, najpre, uočava se dodatak ispred lica i brade, kao i novi vizir, kojim se zamenjuju naočare. Dodatak se pričvršćuje na šlem sa spojnicama i trakom, kako bi se veoma brzo i lako skinuo, da bi se na lice stavila zaštitna maska. Šlem se razvija u američkom „NATIK inženjerskom centru za vojnička istraživanja“ i nosi naziv „šlem – sistem elektronike i displej – unapređena zaštita“ (Natick Soldier Research, Development and Engineering Center called Helmet Electronics and Display System-Upgradable Protection — better known as HEaDS-UP). Treba da omogući integrisanje svih sistema koji se do sada ko-
riste na šlemu – od brojnih senzora, elektrooptičkih komponenti do sredstava za komunikacije, uključujući i sisteme za NHB zaštitu.



Koncepcija šlema nove generacije omogućava kvalitetniju zaštitu od NHB dejstava

¹⁸ DARPA, Warrior Web Concept, LTC Joseph Hitt, Program Manager DARPA - BAA-11-72, <https://team.sainc.com/WarriorWeb/Files/Warrior%20Web%20Concept.pdf>

¹⁹ Revision Displays Next Gen Modular Helmet Systems by Mike Hoffman, Military.Com on October 23, 2013, <http://kitup.military.com/2013/10/video-revision-displays-gen-modular.html>



Novi model ruske vojne maske
GP-7VMt-1

silo je 20 minuta, nakon čega je trebalo zamenjivati filtere. Pored te, iz vojne upotrebe eliminišu se i maske SGP, SGP-2, kao i zaštitni ogrtači OP-1M. Zameniče se novim modelom vojne verzije zaštitne maske GP-7, koja poseduje više poboljšanja u odnosu na civilnu verziju. Velika stakla znatno poboljšavaju vidljivost i omogućavaju rukovanje naoružanjem i elektrooptičkim uređajima za nišanje. Maska poseduje i dodatak za pijeње vode i adapter za vojnički filter, sa visokim stepenom upijanja. Štiti disajne organe, lice i oči od dejstva bojnih otrova.

„Tajvanski istraživački centar za zelenu gradnju 3M“ jedan je od većih razvojnih centara za ličnu zaštitnu opremu na Dalekom istoku. Na više sajмова protekle godine predstavljene su zaštitne maske ovog instituta. Za kinesku vojsku, kao i za prodaju, razvijeno je i nekoliko posebnih modela za zaštitu respiratornih organa, lica i oči kao što su modeli MF22, MFD-1 i „vojna maska za lice, model 911“. Svaka maska ima filter sa silikatnom smesom koja omogućava 95 postotnu zaštitu od svih vrsta bojnih otrova, u trajanju od više časova. Veći filteri za dugotrajniju i kvalitetnu zaštitu mogu se učvrstiti na masku preko creva, kao na primer „silikonski vojni zaštitni filter“. Prodaje se u pakovanju od deset komada.

Može se pretpostaviti da će postojeći američki projekat razvoja zaštitne maske nove generacije dati podsticaj svetskim industrijama da iskoriste tehnološke inovacije kako bi unapredile ličnu zaštitu od otrovnih supstanci u borbenim sukobima. Čini se da je svetska kriza sa sirijskim zalihama hemijskog oružja, 2013. godine, podigla nivo ozbiljnosti razmatranja ovog problema, ne zbog primene tog oružja u eventualnoj vojnoj intervenciji u toj zemlji (koja je na svu sreću izbegnuta), već zbog saznanja da mnoge druge zemlje, pa i međunarodne terorističke organizacije, verovatno poseduju zalihe takvog oružja za masovno uništavanje žive sile. Dovoljno je prisetiti se da je teroristička organizacija Aum-Šir-

Inače, na izložbi vojne tehnike i naoružanja IDEX 2013 u Abu Dabiju predstavljena je i zaštitna maska „Avon“ C50, koja poseduje dva ležišta za filtere.

U ruskoj vojsci je, takođe, započeo proces zamene starih zaštitnih maski. Ministarstvo odbrane uništiće 812.000 zaštitnih maski EO19 PBF, nazvane još i „hrčak“, jer filteri sa leve i desne strane čine obraze koji su karakteristični za tu životinju. Vreme zaštite od otrovnih gasova tom maskom izno-



Zaštitna oprema „Tajvanskog istraživačkog instituta 3M“ na jednoj od izložbi 2013. godine

Fotografija: Čen Jianlin/Epoh Tajms

niko upotrebila otrovni nervni gas u tokijskoj podzemnoj željeznici.²⁰ U Japanu su zaštitne maske masovno korišćene tokom incidenata u nuklearnim električnim centralama 2011. godine, nastalih usled zemljotresa i cunamija. Više je indicija i činjenica koje ukazuju na to da su, na primer, teroristi sa Kavkaza planirali i napad hemijskim oružjem tokom održavanja Zimskih olimpijskih igara u Sočiju 2014. godine. To su samo neki od razloga zbog kojih mnoge zemlje, s velikom pozornošću, poklanjaju veću pažnju razvoju savremenih zaštitnih sredstava od mogućih dejstava hemijskim borbenim sredstvima.

Nikola Ostojić

Hibridni kvadrotori na AUVSI 2014²¹



Hibridni kvadrokopter „skok-15” kompanije „Arkturus“

Ovogodišnja izložba bespilotnih sistema AUVSI 2014 ostaće zapamćena po tome što je, po prvi put, predstavljeno nekoliko hibridnih kvadrorotora, letelica na kojima su primenjene tehnologije klasičnih krilatih i novijih višerotorskih leteličkih vozila. Među njima je kompanija „Arkturus“ predstavila hibridni kvadrokopter, nazvan „skok-15” (Arcturus Jump-15, a Hybrid Quadcopter UAV). Za njega je rečeno da može poneti kameru TASE400 HD ugrađenu u donju stranu trupa. Vreme letenja iznosi oko 12 časova, što omogućavaju klasična krila. Kao što se vidi na slici, „skok-15” ima uobičajen oblik letelice, kod koje su na krila učvršćena po dva rotora, koji ostvaruju vertikalni uzgon. Iduće godine najavljena je nova verzi-

²⁰ Nuklerani, hemijski i biološki terorizam i ugrožavanje životne sredine, Biočanin Radomir-Rade R. IMK-14. Istraživanje i razvoj, 2003, vol. 9, br. 1-2, str. 101-114, Uprava za školstvo i obuku GŠ VJ.

²¹ Međunarodna izložba koju organizuje asocijacija za bespilotne sisteme AUVSI 2014 – Association for Unmanned Vehicle Systems International, Orange County Convention Center, Orlando, FL (USA).

ja koja će nositi naziv „skok-25“, a moći će da nosi kameru TASE500 HD. Treba imati u vidu da je ovo rešenje, u stvari, modifikacija izvedena iz letelice „arkturus T-15“, dodavanjem kvadrorotorskih motora.

Kompanija „Arcturus“ planira da primeni unapređenu tehnologiju za porodicu hibridnih vazduhoplova, među kojima će se naći i model CAT25, koji je u fazi razvoja i očekuje se da će biti dostupan kupcima 2015. godine. U njihove hibridne letelice biće integrisan sistem za autonomnu kontrolu letenja (Piccolo autopilot) i softver za vezu sa komandnim centrom. To znači da će se letom moći upravljati ručno ili će se programirati, što će omogućavati potpuno autonomne letove od lansiranja sa zemlje do povratka sa zadatka. Pripreme leta traju manje od 15 minuta, dok celokupnu planiranu aktivnost za ove modele mogu da

podržavaju dve posade operatera.



Sensintel SilverFox B4

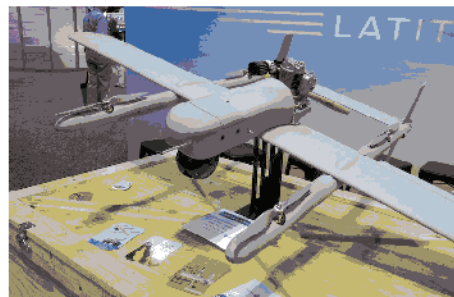
Na isti način je iz letelice „Sensintel SilverFox B4“, kompanije „Latitude inženjering“, dobijen hibridni kvadrokopter (Latitude the Hybrid Quadrotor concept). Spomenuta kompanija predstavila je platforme HQ20 i HQ50. Njihove letne mogućnosti omogućavaju da HQ20 provede u vazduhu do pet sati sa 2 kg tereta, a HQ50 može da leti 24 časa, noseći 8 kg tereta. VTOL uzletanje omogućuju četiri rotora vertikalno postavljena na površinu krila, u „tandem konfiguraciji“.

Sa tehničkog aspekta hibridne bespilotne letelice HQ imaju mogućnost da poleću i sleću, dok glavni motori rade, čime se smanjuje složena faza koja bi nastala zbog otpora vazduha ukoliko bi se hibridna letelica dizala i spuštala vertikalno pod uglom od 90 stepeni. Vodio se računa i o tome da glavni (pogonski) propeler ne udara po tlu. U ove letelice ugrađen je i sistem za GPS, koji omogućava precizno sletanje na označenom mestu.

Među mnogim objašnjenjima kvadrorotorski VTOL sistem namenjen je da bi se izbeglo rulanje pri poletanju i eventualno korišćenje padobrana pri sletanju. Tako se HQ hibridni sistemi mogu upotrebiti za isporuku medicinske opreme na udaljenim područjima, postavljanje zemaljskih senzora na određenim mestima, pa čak i čitave mreže ad-hok terenskih senzora, ili da pokupi uzorke sa terena. Kompanija takođe razmatra aplikacije letelica koje će moći da poleću i sleću na vodu ili brodove. Kao osnovni pogon ovakvih bespilotnih letelica mogu se koristiti benzinski ili električni motori, dok su kvadrorotori uobičajeno pogonjeni električnim motorima.

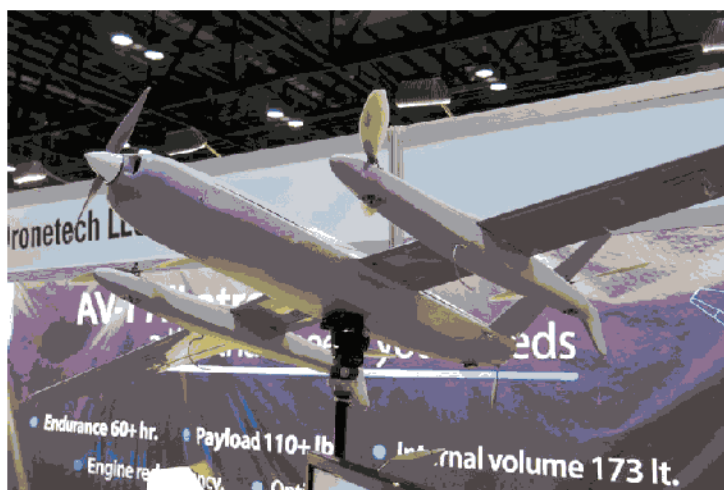
Kompanija „Droneteč bespilotne letelice“ (Dronetech UAV) iz Teksasa prikazala je kombinovani benzinski i električni pogon. Vozilo će koristiti šest motora – glavni motor od 2,5–3 KS, pomoćni električni motor za slučaj da glavni motor otkaze, dok će četiri elektromotora biti u kvadrokopterskoj konfiguraciji. Letelica ima masu 25 kg, od čega se 15 kg odnosi na korisni teret. Hibrid nosi oznaku „Albatros“ i u vazduhu može da se zadrži do 12 sati. Kompanija razmatra razvoj letelice za osmatranje pomorske površine i nadzor nad kretanjem plovila, koja bi posedovala glavni motor sa unutrašnjim sagorevanjem, sa izdržljivošću do 60 sati. Nosivost korisnog tereta bila bi do 110 kg. U letelicu bi bio ugrađen „Veronte autopilot“. Za sada hibridni „Albatros“ može da leti 12 časova, noseći 15 kg tereta.

Noviteti ukazuju na to da su hibridni kvadrrotori inovativna tehnika koja primenjuje osobenosti kvadrrotora da precizno vertikalno podigne letelicu u vazduh i krilate površine koje omogućavaju veću efikasnost leta, brzinu i dolet. Krilate površine obezbeđuju i lebdenje u vazдушnim strujama, što smanjuje potrošnju goriva. Koncept omogućava razvojnim timovima da projektuju bespilotnu letelicu kojoj neće biti potrebna pista za poletanje i sletanje, a moći će da se koristi u akcijama koje zahtevaju veći dolet, odnosno, kako to stručnjaci kažu, poseduju „veću izdržljivost u vazduhu“.



HQ-20 hibridni kvadrokoopter

Stručnjaci za ovu vrstu tehnike smatraju da hibridni kvadrokopteri, kombinujući osobine višerotorskih i klasičnih bespilotnih letelica, imaju prednosti u korišćenju i da će buduće vreme, unapređena i nanotehnologija doneti još neka novija rešenja, novu generaciju kvalitetnih i višanamenskih letelica.



Dronetečov hibridni bespilotni sistem „Albatros“

Hibridne bespilotne letelice koje kombinuju letne osobenosti kvadrokoptera i klasičnih krilatih vazдушnih vozila znatno se razlikuju od aviona sa VTOL sistemima. Kod ovih drugih kombinovana je osobenost aviona i helikoptera. Međutim, hibridna kombinacija pruža brojne prednosti za jednu ili drugu kategoriju bespilotnih letelica. Razvoj može da se nastavi u pravcu stvaranja borbenih hibridnih bespilotnih letelica, koje bi imale nekoliko prednosti u odnosu na sadašnje. Možda bi najznačajnija bila mogućnost da zastanu u letu i iz lebdenja preciznije naciljaju metu, što bi za posledicu imalo smanjenje kolateralne štete.

Nikola Ostojić

Ilustracije: Tamir Eshel, Defense-Update

Nova oprema vozača u kolonama za borbene zone



Američkim saobraćajnim propisima u vojsci strogo je propisano kako treba da izgleda kolona u civilnom ili vojnom rasporedu. Konvoj američkih vozila u Avganistanu

Februara 2014. godine „Centar američke vojske za istraživanje, razvoj i inženjering“ TARDEC, u delu koji je zadužen za prevozna i kopnena borbena vozila (U. S. Army Tank-Automotive Research, Development and Engineering Center) objavio da je, zajedno sa kompanijom „Lokid Martin“, na poligonu za testiranje u Fort Huachuca, u Teksasu, isprobao „aplikativni sistem za autonomnu mobilnost“ AMAS (Autonomous Mobility Appliqué System). Prototip je najpre razvijen za potrebe kopnene vojske i pomorske mornarice. To se može shvatiti kao činjenica da su problemi organizacije saobraćaja i prevoženja dostigli toliki nivo složenosti da je nužno upotrebiti savremenu tehnologiju i brojna znanja, kao i stečena iskustva koja se već primenjuju u civilnom saobraćaju, da bi se poteškoće otklonile. Međutim, postoji i dublja zajednička nit koja objedinjuje sve autonomne, inteligentne, robotizovane sisteme koji se razvijaju za američke oružane snage. Za sve dimenzije ratovanja nastoji se uspostaviti što više autonomnih robotizovanih sistema, zasnovanih na veštačkoj inteligenciji, koji će preciznije i uspešnije preuzeti ljudske funkcije u funkcijama gde čovek nije uvek u stanju da reaguje precizno i tačno, što je najčešće slučaj u oružanoj borbi.

Ovo predstavljanje programa za autonomnu mobilnost deo je šireg programa „demonstracije unapređenja i novih mogućnosti“ CAD (Capabilities Advancement Demonstration)²² i deo je projekata koji se realizuju u okviru „robotskog izazova budućnosti“.²³

²² Driverless Convoys to Push Supplies to the Combat Zone February 1, 2014 by Tamir Eshel. http://defense-update.com/20140201_amas.html (Pristupljeno 01. 02. 2014. g.)

²³ Google robot vodeći na DARPA robotskom takmičenju, DARPA robotski izazov (DARPA Robotics Challenge - DRC), Personal magazin, ICT novosti, 24. 12. 2013, <http://www.personalmag.rs/tehnika-na-google-robot-vodeci-na-darpa-robotskom-takmicenju/>

Sama zamisao o autonomnosti podrazumeva dva različita programa, od kojih AMAS JCTD predstavlja „demonstraciju sposobnosti zajedničkih tehnologija“ (Joint Capability Technology Demonstration) i ima za cilj da poveća sigurnost i bezbednost vozača u vojnim kolonama. CAD je projekat u kojem se razmatra mogućnost potpunog uklanjanja vojnika vozača iz kabine i robotizacija, koja bi uz veštačku inteligenciju omogućila prevazilaženje najvećeg broja analiziranih i uočenih saobraćajnih problema u masovnom vojnom prevozu.

Projekti „unapređenja i novih mogućnosti“ u američkoj vojsci realizuju se još od 2011. godine. Tada je načinjeno nekoliko studija o mogućnostima primene tehnoloških rešenja koja koriste velike transportne kompanije za upravljanje saobraćajem svog voznog parka, na velikom prostoru, praktično na celom kontinentu. Tako je, u studiji „Primena aplikacija za utočnu mobilnost (saobraćajnog) sistema“ u fiskalnoj 2012–2013. godini²⁴ analizirana problematika operativnih okolnosti koji usložavaju bezbednost vozača u kolonama, u odnosu na njihovo shvatanje situacije u okruženju i opasnosti koje im prete (tzv. situaciona svest). Studija analizira, kako mimodopske okolnosti, tako i izazove koji postoje u borbenom okruženju.

Konstatovano je da kod vozača ne postoji potpuno jasna slika o problemima sa kojima se mogu suočiti tokom vožnje u koloni i da postoji značajna doza neizvesnosti. Posebno je istaknuto da vozači nisu potpuno svesni okolnosti koje mogu nastati protivničkim dejstvima iz vazdušnog prostora, pri nailasku na zasede, tokom zastoja zbog tehničkih problema sa vozilima ili zbog problema u javnom saobraćaju. Pri tome ove probleme ne treba poistovećivati sa postupcima vozača u slučaju napada na kolonu s obzirom na to da se oni uvećavaju u taktici odbrane.

Sledeći problem koji je analiziran jesu komunikacije, kako među samim vozačima, tako i sa pretpostavljenim starešinama i jedinicama u zoni kretanja.

Ocenjeno je, takođe, da je poznavanje situacije i pravovremena informisanost vozača o situaciji u okruženju jedan od bitnih činilaca pridržavanja svih bezbednosnih i zaštitnih mera duž nesigurnih puteva. Takođe je analizirano i ponašanje vozača u logističkim jedinicama, kao i onih koji su se nalazili u sastavu patrola za izviđanje. Sve to ukazuje na veliku ranjivost kolona, kako od protivničkih napada iz vazdušnog prostora, sa zemlje, bilo u vlastitoj pozadini tako i u blizini fronta, neposredno u neprijateljskom okruženju. Ukazano je i na to da protivnik prilagođava taktiku napada na saobraćajne kolone, planira dejstva i izvodi u uslovima koji njemu odgovaraju, sa namerom da spreči prevoz ljudi, tehnike i borbenih sredstava, hrane, vode i goriva do jedinica.



²⁴ Autonomous Mobility Appliqué System (AMAS) JCTD FY 12-13 Industry Day (June 23, 2011) <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a550916.pdf> (Pristupljeno 01. 02. 2014. g.)

Senzorska tehnologija na vozilu

Naravno, ocenjivana je i mogućnost povećavanja brzine kretanja vojnih kolona (konvoja) u saobraćajnicama u gradu i van grada, posebno uz primenu tehničkih sredstava za otkrivanje mina i improvizovanih eksplozivnih punjenja IED (Improvised explosive device), kao i korišćenje podataka i analiza koje omogućavaju predviđanje mesta gde bi protivnik iznenadno, najsnažnije i najbrže napao konvoj i naneo mu najviše štete, primenom kombinovanih taktičkih dejstava. U tu svrhu analizirana su brojni slučajevi i savremena iskustva, posebno u otkrivanju minskih i drugih prepreka na putevima pomoću elektronskih i vizuelnih sredstava za osmatranje, kao i taktike izbegavanja kretanja i zaobilazanja miniranih delova puta.

Brojni su detalji koji su uzeti u obzir za detaljnu analizu ove problematike, koji moraju da predvide i to šta se radi sa oštećenom i uništenom saobraćajnom tehnikom, postupke u saobraćajnim nezgodama nastalim usled nepažnje, loše vidljivosti ili neprilagođenosti uslovima na putu, do zamora ili obolevanja vojnika vozača ili njihovog psihičkog stanja u složenim uslovima.

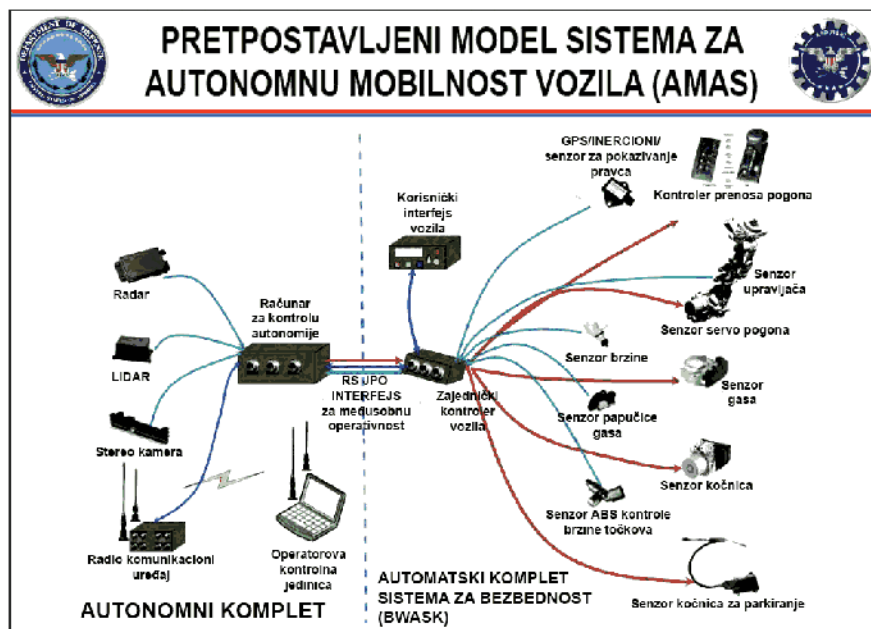
Opšta je konstatacija da postoje brojna ljudska ograničenja koja su deo problema koji mogu nastati sa planiranjem i realizacijom saobraćaja u naseljenim mestima ili van njih, posebno u zonama borbenih dejstava, i ujedno su nepremostiva prepreka za smanjenje nezgoda ili poteškoća.

Dakle, analize i ulaženje u suštinu problema rezultirali su sa nekoliko programa koji mogu da otklone potencijalne uzroke problema u logistici, odnosno one koji najbitnije utiču na organizaciju transporta za snabdevanja i prevoz jedinica na kopnu. Prvo rešenje obuhvata opremanje vozača savremenim tehnološkim sredstvima, kao i postavljanje najnovije senzorske i tehnologije za detekciju opasnosti na vozila u koloni. Ta tehnologija treba da omogući izbegavanje taktičkih opasnosti i prepreka tokom kretanja, kao što su putne raskrsnice, zastoj, dolazeći saobraćaj i prolaz vozila, pešaka i saobraćaja u kružnim tokovima, u gradskim i seoskim područjima, što je sadržaj projekta AMAS JCTD.

Drugo rešenje je potpuno autonomno organizovanje saobraćaja bez vozača, oslanjanjem na robotizovanu i savremenu informatičko-komunikacionu, odnosno senzorsku tehnologiju, kako je to predviđeno projektom CAD. Naravno, projekat obuhvata i visok nivo ugradnje komponenata iz projekata razvoja veštačke inteligencije.

Pošto su već razvijeni hardver i softver koji to omogućavaju, te uspešno proveravani u mnogim realnim situacijama sa kojima se vozači u konvoju susreću, odlučeno je da se najširi krug čelnih ljudi za opremanje u komandama kopnene vojske SALAMC (Senior Army leaders representing the Army Materiel Command), Centra KoV za integraciju vojnih dostignuća ARCIC (Army Capabilities Integration Center), Komande za kombinovanu podršku naoružanja CASCOC (Combined Arms Support Command) i drugi vojni stručnjaci upoznaju sa napretkom koji je ostvario TARDEC.

Njima je, kao osnovni deo projekta, predstavljen AMAS JCTD modularni hardver i softver, specijalno namenjeni da automatizuju vožnju taktičkih vozila u koloni. Zatim je predstavljen modul koji funkcioniše samostalno i automatski, a sadrži laserski skener LIDAR (Light Detection And Ranging) i senzore visokih performansi, GPS prijemnik i dodatne algoritme. Taj modul instalira se kao komplet na bilo koje vojno vozilo.



Osnovna konfiguracija sistema AMAS koja je projektovana za sva vozila u jedinicama vojske SAD

Pored ova dva kompleta predstavljen je i „automatski komplet sistema za bezbednost“ BWASK (By-Wire/Active Safety Kit), koji je povezan na zajednički kontroler vozila. Svaki senzor je, preko zajedničkog kontrolera, povezan na interfejs koji prenosi podatke do autonomnog kompleta, odnosno računara za kontrolu autonomije. BWASK omogućuje kontrolu brzine u odnosu na putnu situaciju, ima senzore papučice gasa, senzore za kočnice i njihovu kontrolu tokom vožnje i prilikom parkiranja, kao i senzore koji neprekidno nadziru sistem ABS za kočenje na vlažnom i klizavom putu.

Saobraćajna inteligencija i autonomno odlučivanje

Aplikacioni komplet za autonomiju vozila, odnosno njegov računar, poseduje „osnovnu saobraćajnu inteligenciju i autonomno odlučivanje“ (Primary intelligence and autonomous decision making).

Komplet koji je predstavljen biće zajednička (univerzalna) konfiguracija za sve transportne i borbene platforme, pošto je razvijen tako da funkcioniše bez obzira na vrstu vozila. Svaki tip vozila dobiće komplet, prilagođen za specifične modele i okolnosti, koji će kontrolisati fizičku aktivnost vozila, od momenta stavljanja ključa u bravu do parkiranja.

CAD komplet je ugrađen na kamion M915 i sistem za utovar paleta (PLS) na vozila. Za demonstraciju je modifikovano nekoliko reprezentativnih vozila, kao što su kamion MTVR 6X6 mornaričkog korpusa, osnovno vozilo kopnene vojske M-915 s prikolicom i multi-upravljač PLS, sa šest-osovinskim pogonom.

Sledeća faza demonstracija planirana je tokom 2014. godine, i sistemi za autonomiju vozila postaviće se na porodicu srednjih taktičkih vozila FMTV (kamiona), zatim na teški voz za transport opreme (HET) i MRAP 4X4 RG-31, inače vozila otporna na eksplozije mina postavljenih na putu i na dejstva lakim protivoklopnim naoružanjem (Mine-Resistant Ambush Protected vehicles). Nakon testiranja tokom godine biće predstavljena funkcionalnost i proverena efikasnost modifikovanog najkorišćenijeg terenskog vozila „čistač“ (Pathfinder), na koji je moguće postaviti i valjkove. Naravno, u Avganistanu spremno čekaju vozilo koje će autonomno raščišćavati puteve kojima treba da se kreću saobraćajne ili transportne kolone, posebno tokom povlačenja američke vojske iz te države. Inače, to vozilo pripada porodici standardnih protivminskih sistema EOD (Explosive Ordnance Disposal).

Tokom predstavljanja mogućnosti autonomnog sistema za kontrolu vozila predviđeno je i predstavljanje njegovih sposobnosti u autonomnom rukovanju sa minama na putu i improviziranim eksplozivnim napravama. Naime, na vozilo „čistač“ moguće je postaviti i robotski kontrolisanu manipulativnu ruku za rad sa opasnim eksplozivnim sredstvima. I to je deo programa CAD, koji treba da zameni vozače u kabini. S obzirom na to da je deo senzorske tehnologije za kontrolu i upravljanje vozilom komercijalan, te da se već koristi u civilnim strukturama i saobraćajnim multinacionalnim kompanijama (na čemu insistiraju osiguravajuće kompanije), veruje se da iskustvo u njenom korišćenju može da se primeni na vojni park američke vojske, ne samo u mirnodopskim, već i u borbenim uslovima. Ta tehnologija može da spase mnogo života, tvrde čelnici projekta AMAS JCTD i CAD.

Inače, pre demonstracije oba sistema, tokom testiranja vozači su sedeli u kabinama vozila opremljenim sistemom AMAS JCTD, koja su krstarila po poligonu, savlađujući različite prepreke i više vrsta puteva, u različitim meteorološkim i dnevno-noćnim uslovima. Provera je obuhvatila i autonomnu vožnju u naseljenom mestu, čak i u periodu gustog saobraćaja, prolaz kroz raskrsnice, kao i vožnju tokom saobraćajnih zastoja. Proverena je i funkcionalnost pri nailasku na pešake koji iznenadno prelaze ulicu, vožnja u kružnim tokovima i kroz naselja sa uskim saobraćajnicama. Nakon što je utvrđeno da hardver i softver uspešno pronalaze postupke pri susretu sa mnogim realnim preprekama, s kojima se vojni transporti i kolone susreću u realnom svetu, prema izjavama rukovodilaca programa, na redu je provera kako će sistemi funkcionisati u borbenim uslovima, kada se kolona nalazi pod dejstvom pešadijske i raketne vatre, i koliko sistemi omogućuju kontrolu vozila i saobraćaja u koloni.

Naredna faza – mašinsko učenje

Sledeća faza razvoja sistema za autonomnu kontrolu vojnih transportnih kolona obuhvata uvođenje napredne informatičko-komunikacione tehnologije, a posebno nove generacije računara koji će biti osposobljeni za „mašinsko učenje“. Očekuju se rezultati u narednih pola decenije.

Pri tome treba imati u vidu i da je američka agencija za napredna odbrambena istraživanja i projekte DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) u Arlingtonu, Vašington, 26. marta 2013. godine, pokrenula novi program veštačke inteligencije za učenje „pametnih“ uređaja. Namera im je da unaprede sposobnost inteligentnih mašina, koje opslužuju savremena oružja i informacione sisteme, kako bi mogli da predviđaju svoju upotrebu i da učine njihovo funkcionisanje pristupa-

pačnijim za širok spektar zadataka. Oni su, već 10. aprila 2013. godine, organizovali konferenciju o „programu probabilističkog programiranja pametnih mašina za unapređenje učenja“ (PPAML – Probabilistic Programming for Advancing Machine Learning)²⁵, sa namerom da ubrzaju napredak u mašinskom učenju, za koje stručnjaci kažu da je u srcu modernog pristupa razvoju veštačke inteligencije.



Načelna šema postavljanja sastavnih elemenata kompleta AMAS na motorna vozila

Šta će značiti primena robotizovanih inteligentnih autonomnih sistema za kontrolu i upravljanje vojnim vozilima tokom snabdevanja jedinica na frontu, posebno u taktici? Posebni timovi stručnjaka još od 2000. godine izučavaju efikasnost klasičnih izviđačkih i obaveštajnih metoda proveravanja bezbednosti maršruta za transport, uz korišćenje bespilotnih letelica. Nihova namena jeste da na nekoliko nivoa kontrolišu bezbednosnu situaciju duž celokupnog puta transporta. Takođe, koriste se i dronovi, zajedno sa drugim robotizovanim vozilima za otkrivanje mina i improviziranih eksplozivnih naprava, odnosno prepreka koje mogu zaustaviti prolaz konvoja (debla na putu, kamene ili barikade od improvizovanih masivnih tehničkih sredstava i sl.). Bilo je pokušaja da se koristi i simulaciona virtuelna tehnologija za praćenje kretanja kolona u realnom vremenu. Međutim, ona je dobra za upotrebu u multifunkcionalnim centrima gde se slivaju i obrađuju sve informacije dobijene putem izviđačko-obaveštaj-

²⁵ Probabilistic Programming for Advancing Machine Learning (PPAML), Solicitation Number: DARPA-SN-13-30 - Agency: Other Defense Agencies, Office: Defense Advanced Research Projects Agency, Location: Contracts Management Office, March 19, 2013.

nih aktivnosti, posebno za planiranje putanja i predviđanje opasnih deonica i simulaciju odbrane od eventualnih napada. Pokušano je i to da se mreža za nadgledanje prostora na kojem se kreće kolona motornih vozila upotpuni postavljanjem ad hoc pametnih senzorskih mreža sa mogućnošću samostalnog umrežavanja (Ad Hoc & Sensor Wireless Networks), tipa UGS (Unattended Ground Sensors – zemaljski senzori bez nadzora), sa vaj-faj (Wi-Fi) emiterima, nazvana i „samonapajajuća ad hoc senzorska mreža“ SPAN (Self-Powered Ad-hoc Network). Uz to, omogućeno je da starešine u koloni mogu da prate mrežne distribuirane podatke o sistemskoj bezbednosti (Computer Networks and Distributed Systems Security), u taktičkoj mreži komandovanja. U kopnoj vojsci i korpusu mornaričke pešadije, zbog složenosti i nedorađenosti, sistemi još nisu u potpunosti usaglašeni.

Obezbeđena je i neprekidna povezanost sa operativnim centrima u štabovima jedinica koje prate vojna zbivanja na borbenom prostoru. Koriste se i druge mogućnosti koje im obezbeđuje nova G4 generacija vojnih veza i najnoviji modeli vojnih tableta, na kojima imaju preglednost situacije.

Međutim, sve to još uvek nije dovoljno, s obzirom na to da svi vojnici nisu u potpunosti upoznati sa mnogim detaljima koji karakterišu taktičku i operativnu situaciju. Nešto zbog bezbednosnih i obaveštajno-zaštitnih razloga, kao i zbog toga što im nije omogućeno korišćenje svih nivoa vojne veze, osim neposrednog radio-kontakta sa starešinom. Sve to utiče na upoznavanje vozača sa opštom i posebnom situacijom, kao i na njihovu percepciju tokom vožnje.

Tehnički stručnjaci ovakva pitanja i probleme ne mogu samostalno da reše, jer je to i sistemsko i multidisciplinarno pitanje, koje proizilazi iz problema regrutovanja, obuke neposredne pripreme vozača za zadatke do osposobljenosti za multidisciplinarno upravljanje složenim robotizovanim inteligentnim sistemima.

Međutim, uputstvima, pravilima, priručnicima, kao i izdavanjem zadataka pred vožnju regulišu se postupci vozača. U američkoj vojsci koristi se Uputstvo za taktičke kolone, sa detaljno razrađenim taktičkim postupcima, tehnikama i procedurama,²⁶ kao i „Priručnik za konvoje“.²⁷ Pored svih mera i postupaka planiranja, obezbeđenja i realizacije taksativno i šematski je utvrđeno kako izgleda



sastav kolone. Naravno, pretpostavlja se da su i za primenu savremenih sistema, kao što su AMAS JCTD i CAD pripremljeni priručnici, sačinjeni na osnovu brojnih studija, koje su rezultat istraživanja, proučavanja vlastitih i stranih iskustava i rezultata eksperimentisanja. Da to nije problem ukazuje primena softvera za pisanje udžbenika, priručnika i drugih pisanih materijala na osnovu dokumentacije iz projektovanja i istraživanja.

²⁶ Tactical convoy OPS multi-service tactics, techniques, and procedures for tactical convoy operations FM 4-01.45 MCRP 4-11.3h NTTP 4-01.3 AFTTP(i) 3-2.58 march 2005.

²⁷ Tactical convoy handbook, U.S. Army transportation school. tactical transportation branch. Fort Eustis, Va.

Iskustva stečena u borbenom okruženju Iraka i Avganistana, Pakistana i arapskih zemalja gde se nalaze kontingenti američkih snaga, treba da pokažu koliko je novi sistem funkcionalan i da li može da pomogne vozaču i starešini vojne motorizovane kolone da smanji probleme i uspešnije realizuje svoj deo taktičkih zadataka. Naravno, najverovatnije je razvoj sistema povezan sa izvlačenjem američkih snaga iz Avganistana u narednih pet godina. Moguće je pretpostaviti da se testiranje ovakvih sistema ubrzava u odnosu na približavanje početka izvlačenja američkih i drugih multinacionalnih snaga iz Avganistana.²⁸ Tokom 2014. godine planirano je da se izvuče približno 68.000 vojnika sa svom tehnikom i naoružanjem. Međutim, najnovijom odlukom predsednika SAD, termin povlačenja pomeren je za narednu godinu, ali se deo poslova oko priprema za izvlačenje jedinica nastavlja prema operacionalizovanim planovima. Pri tome treba imati u vidu i statistiku. Prema studiji „Nacionalnog konzorcijuma za proučavanje terorizma i odgovora na terorizam, Odeljenja za unutrašnju bezbednost nauku i tehnološki centar izvrsnosti, na na Univerzitetu u Merilendu“, u „Aneksu statističkih podataka o izveštajima zemalja o terorizmu u 2012.“, iz maja 2013. godine, u Avganistanu je bilo za 24,3 odsto više napada nego što je svetski prosek. Na meti mnogih od ovih napada bilo je logističko osoblje NATO i ISAF i snabdevačke kolone.²⁹ Samo u 2012. godini na transportne kolone zabeležen je 221 napad. Koliko je to objektivni podatak ukazuje opaska autora studije da su mnogi podaci o napadima i posledicama u domenu državne i vojne tajne. Proračunata je i ukupna šteta, gubici u tehnici i ljudstvu, koje nisu male. Sve govori da je zaštita i odbrana transportnih kolona ne samo složena taktička radnja već i da zahteva brojne mere. U tom kontekstu treba razumeti i najnovija nastojanja američkih vojnih čelnika da stvore uslove da štete i gubici budu minimalni.

U kontekstu osavremenjavanja problematike i tehnologije za upravljanje transportom treba imati u vidu da se realizuju i drugi projekti.

Uvereni da su na dobrom putu, čelnici korpusa mornaričke pešadije nastavljaju sa eksperimentisanjem uz pomoć tehnologije kompanije „Oškoš odbrana“ (iz Viskonsiona) nazvanom „zemaljska vozila 'TeraMaks' bez vozača“. ³⁰ Opreмили su više jedinica za snabdevanje sistemima LIDAR i drugim senzorima. Ova kompanija predstavila je svoj projekat, februara 2013. godine, nazvan i „unapređeni pomagač vozača“ ADAS (Advanced Driver Assist System) na sajmu vojne tehnologije IDEX (International Defence Exhibition and Conference) u Abu Dabiju.

Američka kopnena vojska i korpus mornaričke pešadije instalirali su ovu tehnologiju na svoja vozila koja testiraju na vojnim poligonima u Fort Piketu (Fort Pickett), zajedno sa vojnicima iz operativnih jedinica, tokom redovnih vežbi. To omogućava modelovanje taktičke situacije za primenu i proveru sistema autonomnog upravljanja vojnim transporterima, u uslovima kada se realizuje više taktičkih zami-

²⁸ NATO's departure from Afghanistan: an orderly rush to the blocked exits? The size and nature of the US and NATO post-2014 commitment to Afghanistan is still to be determined; NATO Watch, Wednesday 14th May 2014, <http://www.natowatch.org/node/846>.

²⁹ National Consortium for the Study of Terrorism and Responses to Terrorism, A Department of Homeland Security Science and Technology Center of Excellence, Based at the University of Maryland, 8400 Baltimore www.start.umd.edu; STATISTICAL INFORMATION ON TERRORISM IN 2012, <http://www.state.gov/documents/organization/210288.pdf>

³⁰ Oshkosh TerraMax Unmanned Ground Vehicle Technology, Army Technology, <http://www.army-technology.com/projects/oshkosh-terramax-unmanned-ground-vehicle/> (Pristupljeno 03.02.1014. g.)

sli tokom dejstva jedinica. Uključeni u realne vežbovne zadatke, autonomni sistemi treba da prevoze ljudstvo, snabdevaju jedinice municijom, gorivom, hranom i drugim borbenim potrebama, kao i da obezbede veliku pokretljivost. To je viši nivo testiranja, približan upotrebi u stvarnim borbenim okolnostima.

Namera vojnih stručnjaka jeste da steknu iskustvo i nova saznanja o mogućnostima primene pametne automatizovane vozačke tehnologije, kako bi se 2015. godine sva vozila koja se koriste u inostranstvu opremila ovakvim sistemima. Pri tome treba imati u vidu da i projekat kompanije „Oškoš odbrana“ pripada kategoriji CAD tehnologije, odnosno primeni autonomnih robotizovanih sistema u autonomnom upravljanju vozilima. Sistem se, od 2010. godine, razvija u saradnji sa „Rokvel Kolins univerzitetom“ u mestu Parmaj (Rockwell Collins University of Parmay). Pored mornaričkog korpusa, u program je uključena i njihova „borbena laboratorija“ (War-fighting Lab) i „Tehnološki konzorcijum za istraživanja i zajedničke programe kopnene robotike“. Autonomni sistem „TeraMaks“ integrisan je, najpre, u MTRV – taktičko vozilo koje može da vuče 7 tona tereta preko neravnog terena. Tokom 2011. godine, koja je nazvana i „godina robotskog izazova“, a koju je inicirala agencija DARPA, obučena je prva generacija vojnih vozača da koristi „TeraMaks“ sistem.

I „TeraMaks“, takođe, predstavlja komplet računarskog hardvera, senzorskih komponenti za očitavanje funkcionisanja delova vozila, interfejsa koji povezuju senzore sa računarom na vozilu, sa mnoštvom sofisticiranog softvera. U suštini, ta tehnologija prati digitalnu mapu terena, pri čemu se na mapi utvrđuju kontrolni punkto- vi do kojih vozilo mora da stigne. Upravljanje vozilom je autonomno, bez učešća vozača. Tokom vožnje vozilo samostalno izbegava prepreke i poštuje saobraćajne propise, sve do poslednje kontrolne tačke, gde se zaustavlja. Nakon ovog testa proverava se funkcionisanje robotizovane automatske borbene stanice za borbena oklopna i mehanizovana vozila bez vozača (Weapon Stations for UGVs). Inače, u jedinicama KoV i MK nalazi se već 8.500 MRAP terenskih vozila, koja su nabavljena u zajedničkim programima saradnje.

Za „TeraMaks“ promotori kažu da ima napredan tehnološki sistem percepcije, koji se sastoji od senzora, kao što su LIDAR (Light Detection And Ranging),



Vozač je u mogućnosti da sve funkcije sistema AMAS prati preko vojnog tableta i omogućuje učenje kompjutera koji upravlja transportnim vozilom

radari i kamere. Svi podaci sa senzora dovode se do softverskih modula, koji ih objedinjuju i predstavljaju razumljivim grafičkim formama, što obezbeđuje prepoznavanje okoline i taktičke situacije. Testiranja prati operater, koji podatke sa senzora koristi za vođenje vozila, preko bežične veze sa kontrolne stanice. Sistem se usavršava tako da robotizovano vozilo može da prepozna drveće, druga vozila, rupe, neravnine i stene, te da ih zaobilazi. Za pregled opšte situacije na terenu operater koristi dodatni kamere. One mu omogućavaju da vidi teren ispred i sa strane vozila, što mu obezbeđuje pregled šireg okruženja i prepreka, kao i prikupljanje dodatnih

informacija. Takođe, senzori iza vozila daju podatke kako se ono ponaša u koloni. To je posebno važno, jer je sistem „TeraMaks“ UGV i razvijen za praćenje vozila kada se nalaze u „konvojskoj konfiguraciji“.

Promotivni materijal napominje i da vozilo ima mogućnosti da se određenim postupcima izvuče iz dubokog blata, tako što će operater podesiti centralni sistem u gumama da ga prilagode ovakvim situacijama, umanje proklizavanje i izvuku vozilo kako ne bi zaustavilo kolonu. Isto tako, postoji kontrola za kretanje po stenovitom terenu ili po pesku.

Uz sve tehničke kontrole pokušava se pronaći i zakonitost po kojem se ponašaju vozila bez vozača, u odnosu na ona u kojima se nalazi iskusan čovek koji sa njima upravlja. To je mogućnost da se unaprede rutine za upravljanje vozilima, jer snimanje postupaka iskusnih vozača i pokušaji da se oni obuhvate robotskim sistemima za učenje, značajan je korak ka realizaciji osnovne ideje – potpuno autonomno i samostalno funkcionalno robotizovano saobraćajno sredstvo za višenamensku upotrebu.



Serijska vozila porodice M-ATV, kompanije „Oškoš“: M-ATV EXI, EXE, EXC

Izvor: Oshkosh Defense

Na međunarodnoj izložbi naoružanja i vojne opreme SOFEKS 2014³¹ kompanija „Oškoš“ predstavila je seriju motornih vozila za trupne jedinice, sa modelima M-ATV, o čemu izveštava magazin „IHS Jane's Defence Weekly“ u broju od 6. maja

³¹ The Special Operations Forces Exhibition & Conference (SOFEK) takes place biennially at the King Abdullah I Airbase in Amman in the Hashemite Kingdom of Jordan. This niche event is held under the Royal Patronage of His Majesty King Abdullah II, the Chairmanship of HRH Prince Feisal Bin Al Hussein and with the full support of the Jordan Armed Forces (JAF). SOFEK is a four-day event that kicks off with a prominent one day conference that includes a series of comprehensive and topical seminars delivered by top military officials from around the world, tackling a wide range of issues pertinent to current counter terrorism and homeland security issues. <http://www.sofekjordan.com/what.shtml>

2014. godine. Ta kompanija predstavila je vozila sa dužim međuosovinskim rastojanjem – tri varijante: M-ATV produženo vozilo za intervencije (EXi), inženjersko (ExE) i komandno vozilo (EXC), kao i standardno vozilo za specijalne snage (SXF). Duže međuosovinsko rastojanje kod modela M-ATV „ekstended“ omogućava da nosi 11 vojnika. Vozila su namenjena za američke snage (Korpus pomorske pešadije i jedinice KoV) tokom povlačenja iz Avganistana. Ova unapređenja ukazuju na mogućnosti automobilske industrije transportnih vozila da može unapređivati postojeće modele i prilagođavati ih novim zahtevima za upotrebu.

Inovativni izazov

Za razliku od malih robotizovanih UGV vozila, kod saobraćajnih transportera razlika nije samo u veličini, drugačijoj konstrukciji već i u specifičnostima programiranja. Veliko vozilo ima više senzora, kompleksnije je objedinjavanje podataka i potpuno osposobljavanje za njegovu upotrebu. Mnogo teže je napraviti sistem i osposobiti softver da kontroliše transporter koji može da prevozi više od 7 tona korisnog tereta i još da ga utovari i istovari.

Za to se koriste sistemi za napredno učenje mašina, što je najveći savremeni izazov. U suštini, proces se svodi na učenje robota (računara) da razume, odnosno tumači na čoveku prepoznatljiv način okolinu, u kojoj upravlja saobraćajnim vozilom. Naučnici i inženjeri koji rukovode projektom, pored toga što uvažavaju sve savremene tehnološke inovacije u oblasti robotike i veštačke inteligencije, pokušavaju da shvate šta tu tehnologiju očekuje u narednih pet do deset godina. Svakako, u tom periodu dogodiće se evolucija samog ratišta, odnosno uslovi za samostalne (bespilotne) sisteme biće sasvim drugačiji nego što su danas. Pored toga, glavni činilac je brza evolucija tehnologije, posebno mrežne, robotske i senzorske. Zato se pretpostavlja da će ovakvi sistemi proći kroz ubrzane cikluse razvoja.

Zbog toga što su načelni autonomni sistemi dobro osmišljeni, teoretski dobro utemeljeni i modularni, moguće je da će se u narednom periodu menjati ne samo osnovni računar, već i svaki od senzora i ugraditi novu generaciju tehnologije, kao i napisati novi softver ili omogućiti da on sam prepozna inovacije i aktivno ih uključi u celokupni sistem.



Tehnologiju naprednog autonomnog sistema za vojne kolone AMAS, predstavljena najpre u Fort Hudu a potom i u Dakasu, januara 2014. godine pokazala je visok nivo autonomnog kretanja vojnih kolona u urbanim sredinama, sa više vozila različitih modela

Sredinom druge decenije 21. veka savremena senzorska tehnologija u stanju je da omogući proizvodnju automobilskih senzora sa više specijalizovanih uloga, koji obezbeđuju veoma uočljivo 3D grafičko predstavljanje životne sredine. Savremeni aktivni senzori uočavaju predmete i oblike na većim daljinama; LIDAR je sposoban i da uočava kolorit životnog okruženja. Takođe, usavršeni senzori mogu otkriti i predmete koji poseduju „stelt“ konfiguraciju, odnosno sa drže takav nivo osetljivosti, koji im omogućava interaktivno delovanje.

U izveštaju, nakon predstavljanja mogućnosti savremenih sistema za autonomno upravljanje kretanjem vojnih kolona u Fort Hudu i Dalasu, sačinjenom za više nivoa odlučivanja o opremanju američkih vojnih snaga, napomenuto je i da sistem AMAS označava završetak jedne faze i najavljuje mogućnosti usavršavanja i osavremenjavanja demonstracionog programa CAD.

Svetska iskustva

Ovakvih sistema, prethodnih generacija ima i u drugim armijama. Južnokorejske oružane snage koriste autonomne izviđačke i osmatračke sisteme koji su programirani da izbegavaju i zaobilaze minska polja na granici sa Severnom Korejom. Izraelska armija je razvila vozilo model „gardium“ UGV (Unmanned Ground Vehicle Guardium), koje noću i danju patrolira duž granice sa Gazom. To vozilo ima futuristički izgled, više dnevno-noćnih kamera sa opsegom osmatranja 360 stepeni, brojne senzore i snažne zvučnike. Ujedno, poseduje i autonomno oružje spregnuto sa sistemima za dnevno-noćno nišanje. To je poluautonomno terensko vozilo, bez vozača, programirano da izviđa i kontroliše taktičku situaciju u zoni perimetra granične bezbednosti. Njime upravljaju dva operatera, iako je u stanju da samostalno patrolira, na osnovu projektovane putanje i definisanih zadataka. Kompjuter je u stanju da uči na osnovu iskustva, što obezbeđuje visok nivo autonomnosti. Koristi se od 2008. godine.



Ovakva vozila, kao i iskustvo u tehničkim i konstruktivnim detaljima, dala su snažan podsticaj da agencija DARPA, TARDEC, borbene laboratorije u KoV i MK krenu u realizaciju ideje AMAS i CAD. Uz projekat agencije DARPA za unapređenje mašinskog učenja očekuje se napredak u narednih pet godina, a masovna proizvodnja i korišćenje do 2020. godine. Pre toga sistemi će doživeti vatreno krštenje u Iraku i Avganistanu, a verovatno i na drugim delovima sveta gde se nalaze američke baze i vojni kontingenti.

Koliki je značaj ideje ukazuju i zahtevi da se razviju autonomni sistemi za ratnu mornaricu SAD AMOS (Autonomous Marine Operations and Systems), koji bi vodili transportne tankere na određene lokacije, u čemu je Centar za autonomne mornaričke sisteme i operacije postigao značajan napredak, usavršavajući postojeću komercijalnu tehnologiju za autonomno upravljanje naftnim platformama na moru, transportnim brodovima, patrolnim čamcima obalne straže i drugim plovilima. I Norveška ima svoj samostalni program autonomnog upravljanja plovilima do 2020. godine koji realizuje NRC (Norwegian Research Council), sa početnim ulaganjima od 566 milion evra.

Isto tako, i u ratnoj avijaciji razvijaju se sistemi koji autonomno upravljaju borbenim i neborbenim avionima, uključujući i projekte samostalnih visokoletećih dirizabla za osmatranje, izviđanje, rano upozoravanje i retranslaciju radio-digitalnih komunikacija.

Da li deo odgovora leži u studiji „20YY: Priprema za ratove u robotskom vremenu“.³²

Taj odgovor obuhvata bespilotne sisteme (vazduhoplovne) i sisteme bez vozača (na kopnu), kao i pod vodom, koji mogu biti daljinski upravljani ili potpuno autonomni u izvršavanju svojih borbenih funkcija. Autonomni sistemi treba da zamene „džojstik ratnike“, s obzirom na to da je upotreba borbenih sistema, nezavisnih od odlučivanja operatera, preduslov za uspešno i efikasno funkcionisanje celokupnog sistema odbrane u vremenu do 2050. godine – stav je vojnih teoretičara Odeljenja za odbranu u Pentagonu³³. Činjenica da su američke vojne snage ispred svih armija sveta napredovale za jednu tehnološku generaciju, „daje im za pravo“ da smatraju kako vojna sila treba još više da se automatizuje i tako obezbedi mnogo veću dominaciju u sferi ratovanja.

Novi pristup shvatanju ratovanja

Istraživanja u oblasti autonomnih transportnih sistema, koje su u skladu sa opštim stavom o „robotskom izazovu“, uklapaju se u širi kontekst razumevanja savremenih ratova (posebno kada je reč o asimetričnim dejstvima), unapređujući ga i otvaraju vrata novim rešenjima. Tako i autori studije „20YY: Priprema za ratove u robotskom vremenu“ postavljaju standarde za savremenu buduću vojnu opremu i naoružanje. Oni konstatuju da će budućim borbenim prostorom, tačnije u celokupnom operativnom okruženju, dominirati pametni senzori, energetsko i električno oružje, kao i sveprisutan trend bespilotnih i autonomnih sistema. Ovakvo razumevanje savremenog sofisticiranog ratovanja obuhvata svih pet dimenzija (kosmos, vazduh, kopno, akvatoriju i sajber prostor). U takvom okruženju postojeći ratni koncepti postaće zastareli i zahtevaće novi pristup shvatanju rata i korišćenju oružane sile. Biće to nova vojnotehnička revolucija. Ona treba da omogući nadmoćnost nad potencijalnim protivnicima. Autori pomenute studije konstatuju da se, ovako zamišljenoj vrhunskoj tehnologiji, neće moći adekvatno suprotstaviti nijedna druga vojna snaga u 21. veku i zaključuju: sva ta smrtonosna robotizovana tehnologija biće veoma skupa.

Ako u tom kontekstu posmatramo razvoj automatizovanih sistema bez vozača i autonomnih robotskih platformi, napredak u tehnološkoj generaciji jeste značajan činilac borbene moći. Međutim, nesumljivo je da takav razvoj savremene vojne opreme i naoružanja povećava raskorak između savremene američke vojne moći i snage koje poseduju druge armije sveta, pa i one koje su u razvoju. Sve one susreću se sa jednom ozbiljnom konstantom koja se naziva „asimetrija u borbenim potencijalima“. Zbog toga ne treba zapostaviti strategiju protivterorističke borbe, koju je američki vojni i politički establišment iznedrio posle 11. septembra 2001. godine, odnosno nakon napada na Svetski trgovinski centar u Nju-jorku. To je strategija protiv asimetričnih i nekonvencionalnih dejstava, u kojoj su svoje mesto najpre imale snage za brzo reagovanje, pa specijalne jedinice, za-

³² 20YY: Preparing for War in the Robotic Age, by Robert O. Work and Shawn Brimley, Jahyapy 2014, Center for New American Security.

³³ Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030, www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf

tim robotizovane bespilotne letelice sa samonavodećim projektilima³⁴, te samostalno automatizovani senzorski sistemi. Od 2010. godine i tzv. „daljinsko kontrolisanje borbenih droida i pametnih oružja“ (Telepresence Battledroids and Smartguns) posmatra se kao alternativa borbenoj i vojnoj asimetriji, da bi kasnije to bilo promenjeno sa novim projektom „avatar“³⁵ pokrenutim 2012. godine. Američki vojni čelnici verovatno imaju u rukama i druge alternative, o kojima se još uvek ne govori javno. Čini se da je primena selektivnih nanooružja, sa DNK kalibracijom, jedna od alternativa asimetričnom ratovanju.

Međutim, osnovna ideja koja se provlači kroz strategijski koncept je, još uvek, taktika „preciznog dejstva“, u potpuno senzorski kontrolisanom mrežnom borbenom prostoru. Poznata je kao paradigma „osećati–misliti–delati“ (sense-think-act paradigm). U taktiku senzorskog osmatranja okruženja, inteligentnog shvatanja (uz procesore i veštačku inteligenciju) i izvođenja planiranih zadataka (pomoću sistema sa navođenjem), uklapa se i zaštita saobraćajnih autonomnih kolona. To znači da njihovo kretanje neće biti samostalno i ad hoc izvođeno na zahtev iz jedinica, već planirano prema potrebama i normativima utroška municije, energenata i druge opreme, i dobro ukomponovano u senzorsko-mrežnu koncepciju kontrole borbenog prostora i automatskog preciznog odgovora na asimetrične napade.

Još jedan novi koncept razmatra se kao alternativa za reagovanje u asimetričnom ratovanju. To je koncept nanosenzora³⁶, minijaturnih skoro nevidljivih robotizovanih pametnih uređaja, od nanoimplanta do agresivnih veštačkih predatora, koji prepoznaju prijatelja od protivnika. Može se reći da nanotehnologija, kao još jedan izazov budućnosti, ima svoj poseban značaj u upotrebi senzorskih aplikacija na vozilima. Naime, svi programi za autonomiju transportnih saobraćajnih i borbenih vozila zasnivaju se na kvalitetnim senzorima. Nanotehnologija je poboljšala performanse sistema uz smanjivanje veličine, težine i energetske uslova u različitim aplikacijama, što smanjuje ukupne troškove eksploatacije. Uz to, nanotehnoški senzori donose novine, imaju nove osobine i sopstvenu fenomenologiju³⁷.

Koliki značaj imaju istraživanja u senzorsko-robotičkoj tehnologiji ukazuju i zahtevi iz vojnih i civilnih saobraćajnih struktura da se razviju fizički senzori za kontrolu i upravljanje u nanotehnologiji. S obzirom na to da njihova ugradnja i primena ne zahtevaju promenu dizajna postojećeg voznog parka, to umanjuje i troškove instalacije, ali i održavanja. Sledeći zahteve, istraživači su, na primer u Gruzijском institutu za tehnologiju, osmislili najmanji senzor na svetu koji iskorišćava jedinstvena električna i mehanička svojstva ugljeničnih nanocevi, koja osciliraju rezonantnom frekvencijom. Ti senzori mogu da detektuju brojne fizičke veličine, čak do nivoa molekula. I drugi naučnici napravili su nove prodore u izu-

³⁴ Robot weapons are the answer to asymmetric warfare, <http://fresnozionism.org/2011/09/robot-weapons-are-the-answer-to-asymmetric-warfare/> (Pristupljeno 03.02.1014. g.)

³⁵ Pentagon's Project 'Avatar': Same as the Movie, but With Robots Instead of Aliens By Katie Drummond 02.16.12, <http://www.wired.com/dangerroom/2012/02/darpa-sci-fi/> (Pristupljeno 03.02.1014. g.)

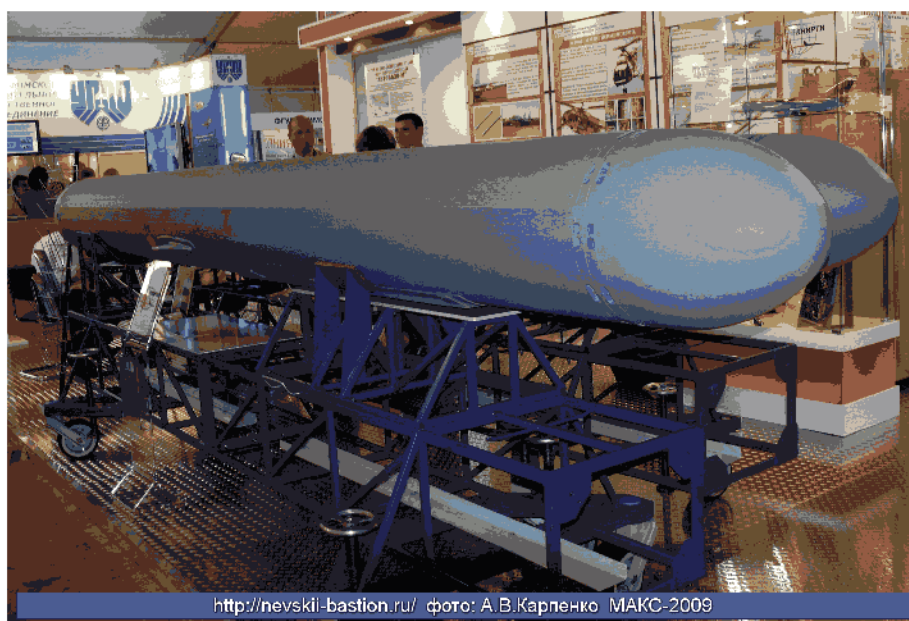
³⁶ Military uses of nanotechnology: The future of war, <http://www.thenanoage.com/military.htm> (Pristupljeno 03.02.1014. g.)

³⁷ Small Wonders, Endless Frontiers: A Review of the National Nanotechnology Initiative (2002) / 2. The National Nanotechnology Initiative <http://books.nap.edu/openbook.php?isbn=0309084547&page=11> (Pristupljeno 04.02.1014. g.)

čavanju nanotehnologije, pa su tako u „Oak Ridž nacionalnoj laboratoriji“ u državi Tenesi, SAD, načinili nanouređaj za očitavanja kapacitivnih podataka i analizu signala sa elektronskih sistema. Takva i druga savremena nanotehnološka rešenja imaju veliki značaj za automatizaciju i robotizaciju postojeće saobraćajno-transportne infrastrukture, kako u građanstvu, tako i u vojsci.

Nikola Ostojić

Ruski sistemi za elektronsko ometanje



Sistem za protivielektronsku borbu za postavljanje na avion nazvan „Kibini-u“ na izložbi naoružanja MAKS-2009 u Moskvi

Ruski avion „Suhoj“ Su-24MR je 10. aprila 2014. godine čak 12 puta nadleteo ili bar proleteo veoma blizu američkog broda – razarača „Donald Kuk“ u Crnom moru. To je izazvalo brojne neobjašnjive reakcije na borbenoj tehnologiji kojom je naoružano to plovilo i ostavilo posledice na psihološko stanje posade. U javnosti su se pojavile brojne špekulacije u vezi s tim. Različita tumačenja izazvalo je ne samo to što su posle svakog naleta borbeni sistemi postajali neupotrebljivi, već i reagovanje posade. Nakon događaja usledilo je masovno javljanje američkih vojnika psihologu ili napuštanje službe.³⁸ Svetska, a posebno zapadna štampa, postavila je pitanje: Šta su Rusi zaista upotreбили nad posadom razarača „Donald Kuk“, kao i – da li je reč o psihotronsom oružju?

³⁸ „Новости“, События, Комплексы эсминца США „сошли с ума“ от русских помех? 18 апреля 2014 <http://topwar.ru/44324-kompleksy-esminca-ssha-soshli-s-uma-ot-russkih-pomeh.html>

Međutim, misterije nema. Zvaničnici ruske vojske kažu da je bombarder upotrebio jedan od postojećih „sistema za taktičko radio-elektronsko ometanje“ „Kibini-U“ (u literaturi se koristi više naziva: Хибины-У, Hibino-U, Khibini-U).³⁹ Pri tom treba imati u vidu da je razarač „Donald Kuk“ opremljen savremenim raketnim sistemom „Idžis“ (Aegis), odnosno naoružan krstarećim raketama Tomahawk. Tog dana uplovio je u neutralne vode Crnog mora. Ruska strana procenila je da je namera američkog razarača bila da provocira vojne snage i prikupi obaveštajne podatke o reagovanju ruske mornarice i avijacije, u okviru vojno-političkih mera koje Zapad (SAD i NATO) primenjuje zbog uloge i položaja ruskih oružanih snaga u odbrani sopstvene teritorije, u slučaju eskalacije zbivanja u Ukrajini. Ulazak američkih ratnih brodova u međunarodne vode u suprotnosti je sa Konvencijom o karakteru i vremenu boravka ratnih brodova nepriobalnih zemalja u Crnom moru.

Kao odgovor, Rusija je poslala ne-naoružani avion Su-24 da kruži oko američkog razarača. Taj avion, kako je protumačeno, opremljen je najnovijim ruskim „radio-kompleksom za elektronsko ometanje Kibini-U“. Prema verziji u ruskoj štampi i elektronskim medijima, američki sistem „Idžis“ detektovao je na blizak letelice iz daljine i dao signal za borbenu uzbunu. Američki radari očitali su da je u pitanju ruski avion. Međutim, protivavionske mere iznenada izostaju, a istovremeno se gase svi ekrani. „Idžis“ je prestao da radi i nije mogao da nanišani uočenu metu. Nije funkcionisao ni sistem „raspodele sredstava za protivvazдушnu odbranu po uočenom cilju“, što je uobičajena procedura u slučaju vazdušnog napada. U međuvremenu je Su-24 proleteo iznad palube razarača i imitirao raketni napad. Nakon toga, letelica je napravila kružni manevar i ponovila prelet, kako kažu svedoci – dvanaest puta.

Kasnije izjave posade i izveštaji ukazuju na to da pokušaji posade da povrate funkcionalnost sistemu „Idžis“ nisu uspeali. Iako je reč o rizičnim i nepredvidivim okolnostima, bombarder bez naoružanja, sa kontejnerom za radio-elektronsko suzbijanje pokazao se efikasan. Razarač, opremljen najmodernijom raketnim sistemom za odbranu iz vazdušnog prostora, u ovom slučaju, pokazao se nefunkcionalnim.

Inače, nadletanje plovila u Crnom moru i drugim ruskim priobalnim vodama bila je uobičajena praksa tokom hladnog rata.

Posle tog događaja brod „Donald Kuk“ otplovio je u luku u Rumuniji, gde je 27 članova posade podnelo zahtev za prestanak službe zbog toga što nisu želeli da stave svoj život na kocku. Nesumljivo je da je akcija ruskog aviona demoralisala posadu američkog broda. Međutim, ono što je takođe značajno je i to da se sa-



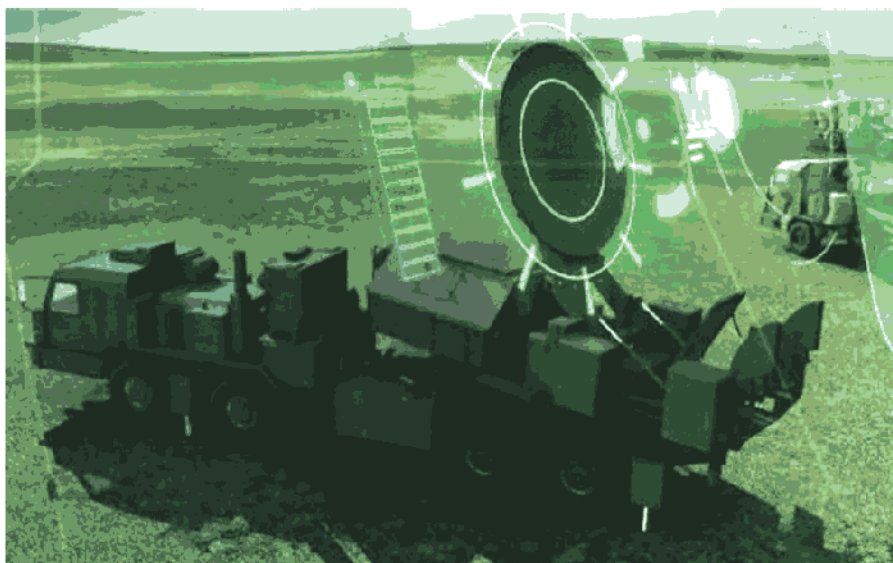
Ruski avion Su-24MR na kom je, umesto oružja, postavljen sistem za protivielektronska dejstva

³⁹ Русская система радиоэлектронного подавления Хибины-У, (Complex Jamming „Khibiny“) Источник: Невский бастион А.В.Карпенко <http://nevskii-bastion.ru/khibiny/>

vremeni odbrambeni sistem „Idžis“ pokazao neefikasnim. To, sa vojnog aspekta, ima poseban značaj, što je veoma neprijatna spoznaja za Amerikance. Najnoviji sistem „Idžis“, postavljen na brod, pokazao je svoje nedostatke. Da je ruski avion preleteo više puta američki razarač potvrđeno je i u zvaničnom saopštenju Pentagona.⁴⁰

Kompleti „Kibini-U“ i „Tarantula“

Sistem sa kojim je ruski Su-24 blokirao elektronske sisteme „Idžis“ i uznemirio posadu američkog razarača „Donald Kuk“ nosi oznaku „Kibini“. Reč je o kontejneru koji krije elektronska kola najnovijeg „kompleksa za radio-elektronsko potiskivanje neprijatelja“,⁴¹ odnosno ometanje rada protivničkih elektronskih uređaja. Sa njim će, verovatno u bližoj budućnosti, biti opremljeni svi ruski avioni za trupnu podršku. Tokom 2013. godine, komplet je ispitan prilikom izvođenja ratne vežbe na poligonu u Buratiji. Sudeći po rezultatima, testovi su bili uspešni, čemu je doprinela primena i testiranje kompleksa u realnim uslovima. Međutim, već nekoliko godina unazad spominju se i drugi sistemi za protivelektronsku borbu u vazдушnom prostoru, na kopnu i pod vodom. Međutim, mnoštvo podataka zaođenuto je vojnom tajnom.



Jedinstveni kompleks elektronskog ratovanje Krasuha-4

⁴⁰ Russian Aircraft Flies Near U.S. Navy Ship in Black Sea By Jim Garamone, American Forces Press Service, WASHINGTON, April 14, 2014;

<http://www.defense.gov/news/newsarticle.aspx?id=122052&source=GovDelivery>

⁴¹ Функционально или конструктивно законченное техническое устройство, предназначенное для радиоэлектронного подавления (funkcionalno ili strukturno kompletno tehnički uređaj za ometanje);

Akademik (Словари и энциклопедии на Академике), <http://dic.academic.ru/>

U stručnoj literaturi i u priručnicima za elektronska i protivelektronska dejstva ukazuje se na postojanje više takvih sistema. Idejni projekat predstavljen je 2009. godine na sajmu vojne opreme i naoružanja MAKS-2009. Međutim, taktičko-tehnički podaci su šturi. Pored spomenutog sistema „Kibini“ pominje se i kompleks „Tarantula“ za Su-34, ali sem osnovnih podataka koji su predstavljeni na narednim sajmovima vojne opreme i naoružanja, sve ostalo spada u kategoriju državne tajne. Prema podacima ruskog Ministarstva odbrane uloženo je 169,5 miliona rubalja u Istraživački institut za radio-dejstva u „Kalugi“ (KRRTI), na osnovu ugovora ruske vlade od 11. aprila 2007. godine za nastavak razvojnog rada na „skupu kontejnera za ometanja protivnika i zaštitu aviona Su-34, kao i drugih aviona za dejstvo u zahvatu fronta“ (projekat nosi šifra „Tarantula“). Razvijeno je više prototipova kontejnera za Su-34 i predstavljeni su 31. jula 2011. godine. Bili su to prototipovi kompleta kontejnera za ometanje radio-elektronskih uređaja (KCS RAP) L-700A (B, C, D, E). Međutim, oni nisu zadovoljavali sve taktičke i tehničke uslove Ministarstva odbrane (TTP). Zato je zahtevano da se projekat finalizira, o čemu je 26. maja 2011. godine doneta odluka ministra odbrane.

Godine 2012. zadatak je dobio KRRTI. Ministarstvo odbrane na sajmu naoružanja i vojne opreme „MAKS-2013“ najavljuje dalji razvoj jedinstvenog kompleksa za elektronsko ratovanje, koji se i dalje naziva „Kibini-U“, a namenjen je za opremanje aviona koji dejstvuju u zahvatu fronta. Novi kompleks biće savremeniji od više modela i tipova uređaja i sistema za elektronsko ratovanje u vazдушnom prostoru, koji su u upotrebi. Naravno, komplet „Kibini-U“ biće osavremenjavan uporedo sa razvojem savremene elektronske i informatičke tehnologije, kako bi zadržao primat u narednom periodu. Za to je odobreno 1,6 milijardi rubalja.

Preopterećenje prijemnika u protivraketnim sistemima

Vojni stručnjaci iz oblasti elektronskog ratovanja tumače da su savremeni sistemi za elektronsko ratovanje u stanju da izračunaju specifičnu frekvenciju rada protivničkih radarskih protivavionskih sistema, te da emituju elektronski signal velike snage koji „potiskuje“, odnosno ometa protivničke frekvencije i dovodi do preopterećenja prijemnika i ostale elektronike koja upravlja protivraketnim sistemima. Protivnički operater na ekranu vidi veliku belu tačku, a automatski odbrambeni sistem ne prepoznaje letelicu kao opasan cilj.

Komplet za elektronsko ratovanje „Krasuha-4“

Na tom principu dejstvuje i „Jedinstveni kompleks za elektronsko ratovanje Krasuha-4“ (1PJ257 Красуха-4),⁴² još jedno od ruskih savremenih sredstava za protivelektronsku borbu u zahvatu fronta. Ovaj snažan radarski sistem namenjen je za borbu protiv više protivničkih vazдушnih ciljeva – aviona, bespilotnih letelica, krstarećih i drugih raketa. To je sistem koji protivničke letelice i projekte, kako kažu, „bukvalno čini slepim i gluvim“. Tvrdi se da efikasnost sistema „Krasuha-4“ iznosi

⁴² „Красуха-4“ – грозное оружие против любых воздушных целей, Уникальный комплекс радиоэлектронной борьбы поступает на вооружение российской армии.
<http://rostec.ru/research/project/3809>

99%, te je zbog toga namenjen da deluje na strateški važnim tačkama bojišta, posebno tamo gde protivnik koncentriše svoju avijaciju, podržanu satelitskim i drugim osmatračkim, izviđačkim i komunikacionim sistemima. I za sistem „Krasuha-4“ taktičko-tehničke karakteristike su vojna tajna. Iz javnih izvora nagovešteno je da je poluprečnik delovanja veći od 300 km. O drugom delu kompleta malo se zna, osim da je 2013. godine opremljen i dodatnim sistemom za ometanje špijunskih satelita. U unapređenu verziju ovog sistema ugrađena su tri nova uređaja.

Konvencija iz Montrea

Ruski avion nije slučajno reagovao na prisustvo američkog razarača u Crnom moru. Naime, reakcija je usledila kada su američki ratni brodovi povredili „Konvenciju iz Montrea“. Ova konvencija potpisana je 1936. godine i dozvoljava slobodan prolaz svim brodovima, ali se to ne odnosi na ratne brodove nepriobalnih zemalja. Ulazak ratnih brodova spoljnih zemalja ograničen je na 21 dan. Konvencijom je takođe precizno utvrđena procedura prolaza, a za kontrolu prolaza nadležna je Turska. SAD su povredile konvenciju 2014. godine kad su tokom Olimpijade u Sočiju u Crnom moru boravila dva broda USS „Mount Whitney“ i USS „Taylor“, sa obrazloženjem da je njihova svrha brza evakuacija američkih sportista i navijača usled potencijalnog terorističkog napada. Prvi brod je na vreme napustio Crno more, dok je USS „Taylor“, zbog navodnog kvara na propeleru, u Crnom moru proveo ukupno 33 dana. Time je prekoračio dozvoljeni period za boravak i prekršio Konvenciju. Drugim kršenjem ove konvencije može se smatrati slučaj kada je u Crno more ušao američki razarač USS „Truxtun“ kojem je naknadno produžen boravak da bi ponovio već odrađene vežbe sa bugarskom i rumunskom mornaricom. Slučaj sa brodom „Donald Kuk“ treći je ove godine. Inače, NATO uz SAD traži promenu Konvencije kako bi postao aktivni činilac bezbednosti energetskog potencijala Crnog mora.

Za prevoz se koriste dve šasije terenskog vozila, odnosno pogonski deo sa kabinom može se otkaćiti i koristiti za druge namene, dok stanica sa antenom čini poseban komplet. To omogućava znatnu taktičku prednost. Dužina šasije je preko 12 m, visina kompleta prema veličini kabine 2,8 m, a širina 2,7 m, dok je masa 40 t. Klirens je 485 mm. Pouzdanost je zagarantovana na temperaturama od minus do plus pedeset stepeni, odnosno ruski stručnjaci kažu da je sistem mobilan i na Arktiku i u arapskoj pustinji. Antena „Krasuhe-4“ ugrađena je na četvorosovinsko terensko vozilo „Kamaz“. Antena rotira 360 stepeni, a u svakom smeru podjednako kvalitetno funkcioniše. Izrađena je u formi okrugle ploče, koja se spušta i podiže pomoću hidrauličnog uređaja.

Prva šasija BAZ-6910-022 (Шасси БА3-6910 – Автомаш 8x8) poseduje kabinu u koju mogu da sednu tri člana posade i još četiri iz posade radara. Šasija se koristi za vuču oružja, oruđa i druge specijalne opreme sa punom težinom do 20 tona, kao i njihov transport na putevima svih kategorija, što omogućava aksijalni sistem. Kabina ima povećan obim, što joj omogućuje da primi dodatne članove posade, specijalnu opremu ili krevete. Ima dvojna vrata i otvor na krovu.

Šasiju pokreće motor JAMZ (JAM3-8492.10-033). Opremljena je sredstvima zaštite od mikrotalasnog zračenja, a u nju je ugrađen klima-uređaj i nezavisni električni grejač vazduha OH-32D-24.

Ovaj sistem prošao je sve testove. Trupne jedinice su do 2014. godine opremljene sa 10 kompleta „Krasuha-4“, ali u više jedinica i dalje se koristi sistem „Krasuha-2“, koji je uveden u jedinice 2006. godine. Ovi sistemi podržavaju borbena dejstva strateške avijacije, kao i borbenih aviona u zahvatu fronta.

Prioritet radio-elektronske borbe

Ruski vojni teoretičari opredelili su se da se u trupnim i vazduhoplovnim jedinicama, u uslovima kada protivnik masovno koristi naoružanja visoke preciznosti zasnovana na složenim elektronskim sistemima, kao protivsredstvo upotrebe protiv elektronska sredstva.⁴³ Stav se zasniva na brojnim analitičkim podacima i istraživanjima karakteristika savremene oružane borbe. Pre svega, protiv svih navođenih borbenih sistema (naoružanih dronova, samonavođenih i drugih raketa...) nije moguće efikasno primeniti vatrena borbena sredstva za njihovo uništavanje. Mnogo jednostavnije je stvoriti elektronsku barijeru visoke snage, koja će omesti borbena sredstva u njihovom radu. Zbog toga „radio-elektronska borba“ u savremenom borbenom prostoru ima poseban prioritet.

U opremu trupnih jedinica, kako kopnene vojske, tako i avijacije koja dejstvuje u zahvatu fronta, uvedeno je više savremenih modela radio-elektronskih sistema kojima se ometa ili potiskuje protivnički radio-signal. Ovi kompleksi koriste se najpre na strateški važnim pravcima protiv kosmičkih i vazduhoplovnih sistema za izviđanje, a zatim i za onesposobljavanje preciznih borbenih sredstava. Primenjuju se za ometanje satelitskih navigacionih i signala za navođenje raketnih sistema. To protivniku znatno otežava ili čak čini nemogućim navigaciju, let i nišanje u složenim meteorološkim uslovima. Suzbijanjem signala protivnik može ostati bez komunikacije, sistema za prepoznavanje letelice, izviđačkih i obaveštajnih podataka u realnom vremenu, a znatno mu je otežana upotreba vođenog naoružanja koje se navodi na cilj pomoću satelitskih navigacionih sistema.

Pored spomenutih kompleta za elektronska dejstva „Kibini-U“ i „Krasuha-4“ koriste se i drugi radio-elektronski kompleti koji imitiraju signal ometanog sistema, pa, primera radi, protivnička navigaciona oprema za nišanje, umesto satelitskog signala, prima sličan signal od stanice REB-a. To će čak i ispaljenu samonavodeću ili programiranu raketu učiniti neefikasnom. Radi kompleksnog pokrivanja planirane teritorije sredstvima za radio-elektronsku borbu, u „Avia-



*Radio-elektronski sistem KS-418E
namenjen za starije modele
aviona SU-24*

⁴³ Ruski naziv je „radio-elektronska borba“ REB (радио-електронска борьба РЭБ).

konverziji“ je razvijena i usavršena koncepcija teritorijalnog sistema odbrane (TSO) „Zontik“ („Kišobran“). Osnovni zadatak tog sistema je odbijanje napada pomoću savremenog visokopreciznog elektronskog oružja. Za pokrivanje jedne teritorije veličine, na primer Republike Gruzije, dovoljna su dva sistema.

Ruski vojni čelnici najavili su i „novu stanicu elektronsko ratovanje Himalaja“ (станцию радиоэлектронной борьбы „Гималаи“)⁴⁴ za avion „Suhoj“ T-50. Sistem će početi da se testira u 2015. godini, a 2017. godine biće uspostavljen u vazduhoplovnim borbenim jedinicama. Za sada se testira letelica T-50, odnosno njene aerodinamičke karakteristike, stabilnost i kontrole aviona, uz proveru rada radara sa aktivnim faznim nizom antena.

Modernizacija bombardera za elektronsko ratovanje i vazdušno izviđanje počela je u SSSR-u šezdesetih godina prošlog veka. Iz tog vremena poznat je avion sa opremom za protivielektronsku borbu Jak-28RR sa „diverzantskim zračenjem“ (Yakovlev Yak-28PP, Радиационный Разведчик – Зрачение диверзантской). Opreme na tom avionu bila je veoma snažna, tako da se mogla ugrađivati i na Su-24. Kontejneri su postavljeni na dva prva modela Su-24, sa kojima je testiranje počelo u decembru 1979. godine i nastavljeno sve do 1982. Serijska proizvodnja organizovana je u fabrici aviona u Novosibirsku 1983. godine. Prvih 8 serijskih aviona Su-24MR raspoređeno je u 118. vazduhoplovni puk. Kasnije je oprema usavršena i avion je dobio oznaku Su-24MP. Razvijeno je više modela aviona sa opremom za protivielektronska dejstva, među kojima su bili T-58MR, T-6MP – prototip ometač, Su-24MP za ometanje i Su-24MR za elektronsko izviđanje. Su-24MR prvi put je upotrebljen 1994. u Čečeniji.



Koncept dejstva ruskih sistema za protivielektronsku borbu

Ilustracija: Anton Morozov/SmartNews

⁴⁴ ПАК ФА получит станцию радиоэлектронной борьбы „Гималаи“, Lenta.ru, Наука и техника, 7 мая 2014, <http://lenta.ru/news/2014/04/25/gimalai/>

Stav ruskih vojnih teoretičara je da potreba svih sredstava za elektronsko ratovanje poboljšava efikasnost i povećava „preživljavanje“ vojne opreme i naoružanja u složenim borbenim uslovima, a time čuva i ljudske živote. U skladu sa takvim opredeljenjem je i odluka predsednika Ruske Federacije da do 2020. godine u ruskoj vojsci treba da bude do 70% elektronskih i protiv elektronskih sistema nove generacije. U 2013. godini Ministarstvo odbrane usvojilo je sedam jedinstvenih kompleta za elektronsko ratovanje, koja se proizvode u kompaniji Kret. To su stanica za upravljanje i elektronska obavешtajna dejstva „Moskva-1“, namenjeni za skeniranje vazdušnog prostora. Za razliku od konvencionalnih radara, „Moskva-1“ radi u režimu pasivnog radara i snima ciljne emisije. Drugi je već isporučen sistem „Krasuha-4“, koji je u stanju da otkrije radare na tlu u krugu više stotina kilometara, te „inhibitorni efekat“, vazduhoplovnih radara i komunikacione opreme. Kret je, takođe, za rusku vojsku proizveo više od 10 multi-ometaća „Merkur-BM“, koji je namenjen da zaštiti ljudstvo i opremu od dejstva artiljerijskih granata i raketa opremljenih radio-kontrolisanim osiguračima. Sistem „Merkur-BM“ razvijen je u „Sveruskom naučno-istraživačkom institutu „Gradient“. Pored toga, ruskoj vojsci isporučeno je nekoliko jedinstvenih sistema za avione „President-S“ i „Džamer SP-14/SAP-518“ (Jammer). Ovi sistemi ometaju vazduhoplove, samonavedene rakete i naoružane dronove, izazivajući odstupanje od cilja.

U mnogim ruskim istraživačkim i razvojnim centrima, kao i vojnim i drugim kompanijama, kao što je Kret, koristi se napredak u savremenoj informatičkoj i radio-elektronskoj tehnologiji za razvoj novih sistema elektronskog ratovanja. Usavršava se 12 vazduhoplovnih sistema i sistema za kopnenu vojsku. Razvoj je dostigao nivo 4+/5, što je značajan napredak s obzirom na to da komplet „Krasuha-4“ pripada generaciji 3+. U narednih pet godina ruska armija i angažovane kompanije realizovaće još 20 novih vrsta proizvoda individualne i grupne radio-elektronske zaštite, uključujući i komplete za novi prenosni PVO sistem.

O efikasnosti vlastitih sredstava za protivelektronska dejstva ruski vojni stručnjaci i publicisti često koriste i slučaj kada je, 2014. godine, sistemom za protivelektronska dejstva 1L222 „Depot“ prizemljen neoštećen američki dron MQ-5B⁴⁵ iz 66. američke vojnoobavешtajne brigade u Bavarskoj. Dron je, inače, poleteo iz baze nedaleko od ukrajinskog mesta Kirovograd. Letelica je prizemlje-

18 proizvođača

Danas u Rusiji, u razvoju i proizvodnje tehnologije za elektronsko ratovanje učestvuje 18 preduzeća koje objedinjuje kompanija Kret, pod rukovodstvom Ministarstva odbrane. Oni proizvode više vrsta sistema, i to:

- aktivne i pasivne sisteme za ometanje protivničkih elektronskih sistema i opreme (REP),
- za eliminisanje ili slabljenje uticaja protivničkih elektronskih dejstava na vlastite radio-elektronske, komunikacione i osmatračko-izviđačke sisteme (REZ – radio-elektronska zaštita) i,
- za radio-izviđanje, prikupljanje podataka iz protivničkog elektromagnetnog zračenje i analizu (SIGINT).

⁴⁵ Виктор Савенков: „Кандагарского зверя“ приземлила наша „Автобаза“? Сверхсекретный американский беспилотник мог быть перехвачен в Иране российской станцией радиоэлектронной борьбы, 12 декабря 2011 года, <http://svpressa.ru/war21/article/50815/>

na kada je preletala poluostrvo Krim i prešla rusku granicu. Ovu vest američki vojni zvaničnici su demantovali. Sistem „Depo“ svojim dejstvom prekida vezu letelice sa svojim operaterima i omogućuje preuzimanje komande nad sistemima za upravljanje. Slučaj efikasne upotrebe ovakvih sistema je praćenje i dekodiranje signala američke bespilotne letelice RQ-5/MK-5 „Hunter“ koja je snimala zbivanja u Ukrajini, 2014. godine na kijevskom trgu „Majdan“. Takođe, napominje se da je pomoću ruskog kompleksnog sistema za elektronsko ratovanje „Depot“ (koji se naziva i „Autobaza“ – 1L222 Avtobaza), u decembru 2011. godine, u iranskom vazдушnom prostoru, prizemljena i američka bespilotna letelica RQ-170 „Sentinel“.



Američka verzija kontejnera za protivelektronska dejstva, za avion „Grovler“, sistema koji će biti operativan 2020. godine

Naravno, i suparnici s druge strane mora usavršavaju i razvijaju svoja sredstva za elektronsko ratovanje. Još 2009. godine američka korporacija „Nortrop Gruman“ započela je razvoj nove generacije uređaja i tehnologije za elektronsko ratovanje (Next Generation Jammer – NGJ) za američku mornaricu i Korpus mornaričke pešadije. Novim uređajima, od 2009. do 2013. godine, zamenjen je sistem na letelici EA-18G „Grovler“ sa kompleksom za radarsko ometanje Alk-99 na avionu EA-6B „Provler“. Procenjeno je da će se ti sistemi moći efikasno koristiti do 2020. godine. U borbene jedinice uvedeno je 88 takvih aviona.

Međutim, Kancelarija za pomorska istraživanja, 2013. godine, pokrenula je razvoj sledeće generacije sistema za elektronsko ratovanje (Next-Generation Airborne Electronic Attack - NGAEA). Novi sistem bi zamenio postojeći na avionu „Grovler“, ali će moći da se koristi i na avionima F-35. Realizacija projekta planirana je 2022. godine, a uvođenje u operativnu upotrebu 2023. Ukupno je planirano 279 miliona dolara, koji su dodeljeni kompaniji „Raiteon – kosmički i vazduhoplovni sistemi“ (Raytheon Space and Airborne Systems).⁴⁶

Nikola Ostojić

⁴⁶ Electronic Warfare, Raytheon back to work on Next Generation Jammer By Joey Cheng, Defense Systems, Jan 30, 2014 <http://defensesystems.com/articles/2014/01/30/next-generation-jammer-raytheon.aspx>; US Navy Confirms Selection of Raytheon for Next Generation Jammer Electronic Warfare Program, Last Updated: 01/27/2014, Raytheon Feature Stories http://www.raytheon.com/newsroom/feature/rtn13_navy_ngj/

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 ASEESTANT ili SCINDEKS, odnosno direktno na linku 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 proredom 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 ASEESTANT or the page SCINDEKS or directly through the link (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

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 ŠTAMPANO IZDANJE ZA 2014. GODINU

Pretplaćujemo se za štampano izdanje časopisa:

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