

ISSN 0042-8469  
COBISS.SR-ID 4423938



[www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs)

2

UDC 623 + 355/359

---

GODINA LX APRIL-JUN 2012.

ISSN 0042-8469  
COBISS.SR-ID 4423938



[www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs)

2

UDC 623 + 355/359

---

VOLUME LX APRIL-JUNE 2012.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

DIREKTOR

*Slavoljub M. Marković*, potpukovnik

ODSEK ZA IZDAVAČKU DELATNOST

GLAVNI UREDNIK

*Dragana Marković*

ODGOVORNI UREDNIK

mr *Nebojša Gaćeša*, potpukovnik

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

UREĐIVAČKI ODBOR

- brigadni general prof. dr Bojan Zmić, načelnik Uprave za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse Ministarstva odbrane Republike Srbije, predsednik Uređivačkog odbora,
- general-major doc. dr Danko Jovanović, načelnik Uprave za logistiku (J-4) Generalštaba Vojske Srbije, zamenik predsednika uređivačkog odbora,
- dr Stevan M. Berber, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand,
- doc. dr Mirko Borisov, Beograd,
- prof. dr Dragoljub Vujić, Vojnotehnički institut, Beograd,
- general-major vanr. prof. dr Mladen Vuruna, načelnik Vojne akademije, Beograd,
- pukovnik vanr. prof. dr Goran Dikić, prorektor Univerziteta odbrane, Beograd,
- prof. dr Željko Đurović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu,
- prof. dr Željko Žilić, McGill University, Department of Electrical and Computer Engineering, Montreal, Canada,
- prof. dr Aleksa Zejak, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,
- prof. dr Slobodan Jaramaz, šef Katedre za vojno mašinstvo Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- general-major prof. dr Miodrag Jevtić, rektor Univerziteta odbrane, Beograd,
- doc. dr Vukica M. Jovanović, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA,
- prof. dr Branko Kovačević, rektor Univerziteta u Beogradu,
- prof. dr Mirko Komatina, šef Katedre za termomehaniku Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu,
- naučni savetnik dr Ana Kostov, Institut za rudarstvo i metalurgiju, Bor,
- dr Vasilije M. Manović, CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada,
- prof. dr Gradimir V. Milovanović, dopisni član Srpske akademije nauka i umetnosti, Megatrend univerzitet, Beograd,
- naučni savetnik dr Predrag Petrović, Izvršni direktor za naučno-istraživački rad i radiokomunikacije Instituta za telekomunikacije i elektroniku IRITEL AD, Beograd,
- pukovnik doc. dr Zoran Rajić, direktor Vojnotehničkog instituta, Beograd,
- naučni savetnik dr Aleksandar Rodić, rukovodilac Centra za robotiku Instituta „Mihajlo Pupin“, Beograd,
- naučni savetnik dr Srećko S. Stopić, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland,
- prof. dr Miroslav Trajanović, šef Katedre za proizvodno-informacione tehnologije i menadžment Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu,
- pukovnik naučni saradnik dr Obrad Čabarkapa, načelnik odeljenja za naučnu i inventivnu delatnost, Uprava za stratejsko planiranje Sektora za politiku odbrane Ministarstva odbrane Republike Srbije,
- potpukovnik mr Nebojša Gaćeša, odgovorni urednik Vojnotehničkog glasnika, sekretar Uređivačkog odbora.

Adresa redakcije:

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,

Braće Jugovića 19, Beograd

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

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

e-mail: [vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs](mailto:vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs)

Pretplata: e-mail: [pretplata@odbrana.mod.gov.rs](mailto: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: [vojsta@sezampro.rs](mailto:vojsta@sezampro.rs)

MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

ODBRANA MEDIA CENTRE

DIRECTOR

Lt Col *Slavoljub* M. Marković

PUBLISHING DEPARTMENT

EDITOR-IN-CHIEF

*Dragana* Marković

MANAGING EDITOR

Lt Col *Nebojša* Gaćeša MSc

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

EDITORIAL BOARD

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

Address:

MILITARY TECHNICAL COURIER

Braće Jugovića 19, 11000 Beograd, Serbia

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

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

e-mail: [vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs](mailto:vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs)

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

*Manuscripts are not returned*

The journal is published quarterly

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

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

*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: [vojsta@sezampro.rs](mailto:vojsta@sezampro.rs)



# SADRŽAJ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Mijatović B. <i>Ivan</i><br>Šezdeseta godina Vojnotehničkog glasnika:<br>Ishodište vojnotehničke misli u vojnoj štampi Kneževine/Kraljevine Srbije .....                                                                                                                                                                       | 7–27    |
| NAUČNI ČLANCI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |
| Pamučar S. <i>Dragan</i> , Đorović D. <i>Boban</i><br>Primena DEA metodologije u procesu kontrole i merenja kvaliteta mreže linija<br>javnog gradskog prevoza putnika .....                                                                                                                                                    | 28–47   |
| Milićević R. <i>Milić</i> , Župac Ž. <i>Goran</i><br>Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma .....                                                                                                                                                                                                                  | 48–70   |
| Evseev <i>Sergej</i> Petrovič (Евсеев <i>Сергей</i> Петрович), Dorohov <i>Aleksandr</i> Vasiljevič<br>(Дорохов Александр Васильевич), Korolj Olga Grigorievna (Король Ольга Григорьевна)<br>Uređaj za kriptografsku zaštitu informacija pri korišćenju automatizovanog<br>sistema upravljanja snagama za brzo reagovanje ..... | 71–83   |
| Mladenović D. <i>Dragan</i> , Jovanović M. <i>Danko</i> , Drakulić S. <i>Mirjana</i><br>Definisanje sajber ratovanja .....                                                                                                                                                                                                     | 84–117  |
| Jovanović V. <i>Velibor</i> , Jovanović M. <i>Danko</i><br>Iskustva stranih armija u primeni RFID tehnologije u logistici .....                                                                                                                                                                                                | 118–138 |
| Radojević M. <i>Slobodan</i><br>Uslovi korišćenja plovnih dizalica za dizanje potonulih objekata<br>na unutrašnjim plovnim putevima .....                                                                                                                                                                                      | 139–155 |
| Perić R. <i>Sreten</i><br>Značaj analize maziva .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 156–181 |
| Mrdak R. <i>Mihailo</i><br>Istraživanje svojstava plazma deponovanih slojeva nikal-hrom-aluminijum-itrijum<br>prevlake otporne na oksidaciju i toplu koroziju .....                                                                                                                                                            | 182–201 |
| Tanikić I. <i>Dejan</i> , Manić T. <i>Miodrag</i> , Đenadić M. <i>Dalibor</i> , Randelović S. <i>Saša</i> ,<br>Milovanović R. <i>Jelena</i> , Đekić S. <i>Petar</i><br>Metali i legure u funkciji biomaterijala .....                                                                                                          | 202–215 |
| Borisov A. <i>Mirko</i> , Banković D. <i>Radoje</i><br>Zakrivljenost zemljine površi i vidljivost između dva položaja .....                                                                                                                                                                                                    | 216–234 |
| STRUČNI ČLANCI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |         |
| Milojević S. <i>Ivan</i> , Guberinić V. <i>Rade</i><br>Deterministički i heuristički model prognoze potražnje rezervnih delova .....                                                                                                                                                                                           | 235–244 |
| Pavić M. <i>Aleksandar</i> , Nikolić Z. <i>Veljko</i><br>Mogućnosti primene retrodirekcionih antena u radarskim sistemima .....                                                                                                                                                                                                | 245–257 |
| Miletić M. <i>Slobodan</i> , Kokelj R. <i>Tugomir</i> , Manjak M. <i>Mladen</i><br>Metodologija projektovanja integrisane telekomunikacione i računarske mreže<br>komandno-informacionog sistema artiljerijskog divizionu za vatrenu podršku .....                                                                             | 258–274 |
| Indić R. <i>Dejan</i><br>Određivanje mogućnosti odreda za otklanjanje posledica hemijskog udara<br>u zoni odbrane brigade .....                                                                                                                                                                                                | 275–295 |
| Bakrač T. <i>Saša</i> , Vuruna M. <i>Mladen</i> , Milanović M. <i>Miško</i><br>Metodologija upravljanja ekološkim rizikom i procene rizika .....                                                                                                                                                                               | 296–305 |
| Vasin T. <i>Ljubislav</i><br>Standardi kvaliteta i kvalitet transportne usluge .....                                                                                                                                                                                                                                           | 306–322 |
| Bulajić J. <i>Aleksandar</i><br>Bezbednost ranjivih vojnih učesnika u saobraćaju .....                                                                                                                                                                                                                                         | 323–342 |
| Glavač T. <i>Boris</i><br>Sprava za jačanje mišića stopala .....                                                                                                                                                                                                                                                               | 343–350 |
| SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA .....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 351–362 |
| POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 363–372 |

# CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Mijatović B. <i>Ivan</i><br>Sixty years of the Military Technical Courier:<br>Origins of the military technical thinking in the military printing of the Kingdom of Serbia ...                                                                                                                                                                | 7–27    |
| SCIENTIFIC PAPERS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |         |
| Pamučar S. <i>Dragan</i> , Đorović D. <i>Boban</i><br>DEA model for measuring the quality control of public transport networks .....                                                                                                                                                                                                          | 28–47   |
| Miličević R. <i>Milić</i> , Župac Ž. <i>Goran</i><br>Subjective approach to the determination of criteria weights .....                                                                                                                                                                                                                       | 48–70   |
| Evseev <i>Sergey</i> Petrovich (Евсеев <i>Сергей</i> Петрович), Dorokhov <i>Oleksandr</i> Vasilievich (Дорохов <i>Александр</i> Васильевич), Korol <i>Olga</i> Grigorievna (Король <i>Ольга</i> Григорьевна)<br>Construction of cryptographic information protection in automated control systems<br>for rapid reaction military forces ..... | 71–83   |
| Mladenović D. <i>Dragan</i> , Jovanović M. <i>Danko</i> , Drakulić S. <i>Mirjana</i><br>Defining cyber warfare .....                                                                                                                                                                                                                          | 84–117  |
| Jovanović V. <i>Velibor</i> , Jovanović M. <i>Danko</i><br>Experience of foreign armies in the application of RFID technology in logistics .....                                                                                                                                                                                              | 118–138 |
| Radojević M. <i>Slobodan</i><br>Conditions of using floating cranes for lifting sunken objects on inland waterways .....                                                                                                                                                                                                                      | 139–155 |
| Perić R. <i>Sreten</i><br>Importance of lubricant analysis .....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 156–181 |
| Mrdak R. <i>Mihailo</i><br>Study of the properties of plasma deposited layers of nickel-chrome-aluminum-yttrium<br>coatings resistant to oxidation and hot corrosion .....                                                                                                                                                                    | 182–201 |
| Tanikić I. <i>Dejan</i> , Manić T. <i>Miodrag</i> , Đenadić M. <i>Dalibor</i> , Ranđelović S. <i>Saša</i> ,<br>Milovanović R. <i>Jelena</i> , Đekić S. <i>Petar</i><br>Metals and alloys in the function of biomaterials .....                                                                                                                | 202–215 |
| Borisov A. <i>Mirko</i> , Banković D. <i>Radoje</i><br>Earth's curvature and visibility between two points .....                                                                                                                                                                                                                              | 216–234 |
| PROFESSIONAL PAPERS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |         |
| Milojević S. <i>Ivan</i> , Guberinić V. <i>Rade</i><br>Deterministic and heuristic models of forecasting spare parts demand .....                                                                                                                                                                                                             | 235–244 |
| Pavić M. <i>Aleksandar</i> , Nikolić Z. <i>Veljko</i><br>Possibilities to use retrodirective antennas in radar systems .....                                                                                                                                                                                                                  | 245–257 |
| Miletić M. <i>Slobodan</i> , Kokelj R. <i>Tugomir</i> , Manjak M. <i>Mladen</i><br>Methodology of the design of an integrated telecommunications and computer network<br>in a control information system for artillery battalion fire support .....                                                                                           | 258–274 |
| Indić R. <i>Dejan</i><br>Determination of the capabilities of a detachment for neutralizing chemical attack effects<br>in the brigade defence zone .....                                                                                                                                                                                      | 275–295 |
| Bakrač T. <i>Saša</i> , Vuruna M. <i>Mladen</i> , Milanović M. <i>Miško</i><br>Methodology of environmental risk assessment management .....                                                                                                                                                                                                  | 296–305 |
| Vasin T. <i>Ljubislav</i><br>Quality standards and quality of transport services .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 306–322 |
| Bulajić J. <i>Aleksandar</i><br>Safety in traffic for vulnerable military road users .....                                                                                                                                                                                                                                                    | 323–342 |
| Glavač T. <i>Boris</i><br>Foot muscles strengthener .....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 343–350 |
| MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 351–362 |
| CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS .....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 363–372 |

# ШЕЗДЕСЕТА ГОДИНА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА: ИСХОДИШТЕ ВОЈНОТЕХНИЧКЕ МИСЛИ У ВОЈНОЈ ШТАМПИ КНЕЖЕВИНЕ/КРАЉЕВИНЕ СРБИЈЕ

Мијатовић Б. *Иван*, Министарство одбране  
Републике Србије, Војни музеј, Београд

ВРСТА ЧЛАНКА: историографски прилог, уводник

## Сажетак:

*У чланку је дат поглед на исходиште војнотехничке мисли у војној штампи Кнежевине/Краљевине Србије, у светлу обележавања јубилеја – шездесете године Војнотехничког гласника. Први штампани војни лист појављује се средином XIX века у приватном издању – Војин који са бави широким спектром војних питања међу којима посебно место заузима „наука о оружју“. Са гашењем овог листа настаје празнина која се убрзо допуњује излагањем Ратника, војног листа у издању Главног генералштаба Војске Кнежевине Србије чије су теме, поред ратне вештине, војна књижевност и наука о оружју, као темељ упознавања и едукације официрског кора са савременим средствима ратне технике. У периоду до 1914. године српска војна мисао, а самим тим и војнотехничка мисао, није заостајала за савременим трендовима у европској и светској војној и војнотехничкој мисли. Пажљиво су праћени токови развоја наоружања у Европи и свету и преношени на страницама војних часописа.*

*Кључне речи: војна штампа, Војин, Ратник, војна мисао, ратна вештина, војнотехничка мисао, модернизација, наука о оружју, наоружање.*

Војна штампа је као неумољиви хроничар бележила кретања у војсци и друштву у домену војнотеоријске мисли, али посредно и у домену војнотехничке мисли и модернизације. На тај начин војна штампа је била активни субјекат и чинилац времена – давала је снажне импулсе ка модернизацији војске.

Иако се зачеци војне књижевности (при чему мислимо и на војну штампу) на просторима Србије везују за другу половину XIX века, то не значи да војска као оружана сила и лица задужена испред владара да

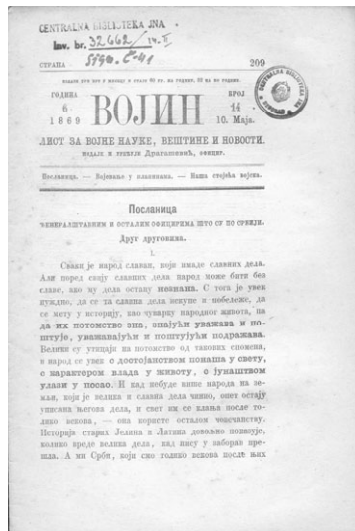
опремају војску, нису пратила модернизацијске процесе у свету у домаћу стратегију, тактику, ратне технике, наоружања ... Заправо, људи задужени за опремање војске у Србији пажљиво су пратили „трендове“ на пољу ратне технике и трудили се да за своју војску обезбеде „модерна“ ратна средства. Тако је Србија међу првима почела да у војне сврхе користи авионе и аутомобиле, и у свету, по питању ратне технике, била у самом врху по техничкој опремљености у многим областима.

Војна штампа у Србији појавила се релативно касно. Сматрајући да у Европи вероватно нема државе која има тако мало књига из „градне војничке“, те да се то што пре мора исправити, Јован Драгашевић<sup>1</sup> је 1864. године почео да издаје *Војин*, као „лист за војничке науке, вештине и новости“. Часопис је требало да се бави „... организацијом, администрацијом, тактиком, стратегијом, артилеријом, војним грађевинарством, ратном историјом, географијом и топографијом, статистиком, науком о оружју, војничким судством итд.“ значи свим „војним стварима“ од значаја за једну савремену европску војску XIX века. Овај лист је умногоме надомештавао недостатак „књига војничких“.



Слика 1 – Јован Драгашевић, почасни ђенерал (4. фебруар 1836–1. јули 1915)

<sup>1</sup> Јован Драгашевић, почасни ђенерал (4. фебруар 1836 – 1. јули 1915) завршио Артилеријску школу 1860. године са III класом, када је и произведен у чин пешадиског потпоручника. Одмах после завршетка Артилеријске школе постаје и њен професор и предаје у току 26 година професорског рада неколико предмета (Историју – општу и српску, Географију, Историју ратне вештине, Стратегију, Статистику и Стилистику). Био је оснивач, власник и уредник првог српског војног часописа *Војин*, а као Начелник Историског одељења Главног ђенералштаба уређивао је и војни часопис *Ратник*. Био је редовни члан Српског ученог друштва и Српске краљевске академије. Оставио је неизбрисиви траг у образовању младе српске официрске интелигенције, развоју војних наука и стварању нових погледа у српској војсци. Активно је учествовао у ратовима 1876–1878. Плодан војни писац који је објављивао поред чланака у *Војину* и *Ратнику* и велики број књига из области географије, етнографије, реторике, историје и статистике. Поред војних дела писао је поезију и драме



Слика 2 – Војин, „лист за војничке науке, вештине и новости“

Иако је излазио као приватни војни лист и искључиво зависио од новца добијеног од „пренумераната“ (претплатника – прим. И. М.), потреба за војном писаном речју дубоко се укоренила међу српске официре. Због учесталих финансијских проблема, иако „насушна потреба“ *Војин* се након 6 година постојања једноставно угасио 1870. године.<sup>2</sup> Као прво војностручно гласило у Србији и на Балкану, с правом се „у освиту српске војне периодике“ тај лист може сматрати симболом војничког сазревања који је однеговао „прве самосталне зачетнике српске војне мисли“.<sup>3</sup> У *Војину* је пронађена књига почетница из које ће се срицати основни појмовник у теорији ратне вештине.<sup>4</sup> *Војин* ће својим читаоцима дати и прве појмове о наоружању и ратној техници свога доба. Ова „књига почетница“ пружиће основне податке о црном баруту, пушкама спредњачама, острагпунећим пушкама, пушкама жлебушама, иглењачама, али и о топовима, ракетним топовима, олученим топовима, упаљачима за артиљеријску муницију, средствима везе, па чак и бродовима.

Техничка модернизација (модернизација наоружања) као „насушна“ потреба ради држања корака са светом, са потенцијалним противником, у српској држави и српској војсци своје корене има још у

<sup>2</sup> Иван Мијатовић, *Перо са снагом мача*, специјални прилог 39, *Одбрана* бр. 81, 1. фебруар, Београд, 2009, стр. 39.

<sup>3</sup> Божидар Јововић, *Колијевка стасовања новог живота*, специјални прилог „Међаши војног новинарства“, *Војска*, 24. јануар, Београд, 1999, стр. 4–5.

<sup>4</sup> Косовка Перовић, Љиљана Брчић, *Војин најстарији српски војни часопис 1864–1870*, *Библиографија прилога*, Београд, 2002, стр. 17.

доба Првог и Другог српског устанка. Иако су српски борци у Првом устанку по питању наоружања били принуђени да се сналазе како знају и умеју, да се боре оружјем запленим од непријатеља и често импровизују, остаје чињеница да је непријатељу требало парирати сличним или бољим оружјем.<sup>5</sup>

Набавка оружја и муниције из иностранства била је и остала озбиљан проблем касније и за Књажевину Србију, па је, поред одржавања и оправке купљеног или добијеног оружја, била преко потребна и сопствена производња. Зачудо, и ма колико то нама данас деловало и необично и нелогично, Срби су почели да лију сопствене топове много пре него што су се упустили у серијску производњу пушака – почев од занатског ливења појединих артиљеријских оруђа у околини Страгара и манастира Вољавча, преко мануфактурне производње глаткоцевних топова у новооснованој Тополивници у Крагујевцу,<sup>6</sup> све до спредпунећих изолучених топова система Ла Хит, за оно време веома модерних и усавршених.<sup>7</sup> Прогрес у изградњи сопствене војне индустрије, а према томе и у „животу друштвеном има свој постанак, чији се трагови могу пропратити у преживјелој прошлости, као заборављен извор велике ријеке“.<sup>8</sup>

Након успешног појављивања *Војина*, а после српско-турских ратова (српско-османских ратова) 1876–1878. године, који су донели Србији самосталност и међународно признање, повећало се интересовање српских официра за војну књижевност, а са друге стране повећала се и потреба за војним гласилом које би на својим страницама уобличавало најновија ратна искуства.<sup>9</sup> Све је то нужно условило покретање новог листа на иницијативу тадашњег министра војног, ђенералштабног потпуковника Јована Мишковића.<sup>10</sup>

<sup>5</sup> Оливера Думић, *Крцалије, Весник* бр. 35, Београд, 2008, стр. 124; Оливера Думић, *Османска војна сила у доба Првог српског устанка*, у: *Делиград од устанка ка независности* (зборник радова са међународног научног скупа), Београд, 2007, стр. 103.

<sup>6</sup> О војној индустрији и производњи шире видети: М. Коларић, *Проблем наоружања за време Првог устанка и Карађорђева тополивница у Београду*, Историјски гласник 4/1949, Београд, 1949; С. Гавриловић, *Јован Форгаши, звоноливац и тополивац из доба Првог српског устанка*, Зборник за друштвене науке Матице српске бр. 49, Нови Сад 1968; Живомир Спасић, *Почеци Тополивнице у Крагујевцу*, у: *Пола века науке и технике у обновљеној Србији 1804–1854*, Крагујевац, 1996; Оливера Думић, *150 година од првог ливења топова у Србији – Звона из Крагујевачке фабрике*, Војни информатор бр. 5–6, Београд 2003; Небојша Ђокић, *150 година од прве серијске производње топова у Србији*, Расински анали 2, Крушевац, 2004; Иван Мијатовић, *Војна индустрија у Србији XIX века*, Нови гласник бр. 1–2 Београд, 2008.

<sup>7</sup> Готово идентични топови су у то време били уведени и у наоружање француске и аустријске војске.

<sup>8</sup> Н. П. Михневић, *Историја ратне вјештине*, Цетиње, 1908, увод, стр. XI.

<sup>9</sup> Петар Дамјанов, *Реч као мач*, Београд, 2004, стр. 59.

<sup>10</sup> Јован Мишковић, ђенерал (6. јули 1844 – 20. октобар 1908) завршио је Артилериску школу 1865. године. У чин ђенералштабног мајора унапређен је 1876. године, а исте године и у



Слика 3 – Министар војни, ђенералштабни потпуковник Јован Мишковић

Боравећи у Нишу, у обиласку новоослобођених територија, Мишковић са својом идејом и одлуком о покретању „војног листа“ обавештава тадашњег начелника ђенералштаба, наредбом Ф№ 408. од 6. јануара (18. јануара по новом календару) 1879. године. У својој наредби Мишковић је изрекао мисао која је и данас актуелна: „Војска без свога листа као човек без говора“. Полазећи од става да је доста „времена прошло од како је наша војска без свога гласила, без свога листа“, те да је „у времену када се наша војска, на основу стечених искустава бојних, има да препороди и учврсти, војни лист нам је и неоспоран и неопходан“, Мишковић даје и основне смернице за издавање листа.

У сарадњи са својим бившим наставником, и бившим уредником *Војина* Јованом Драгашевићем, са којим је сарађивао на пољу војне писане речи, Мишковић се одлучује да да име листу *Ратник*, и да се штампа о трошку војног министарства. Такође, као издавач ће се појавити Главни ђенералштаб, а уређивање ће бити у делокругу Историјског одељења главног ђенералштаба.

чин ђенералштабног потпуковника. У чин пуковника унапређен је 1883. године. Обављао је велики број одговорних дужности од којих се издвајају: шеф ђенералштаба Алексиначке војске, ађутант кнеза Милана, начелник главног ђенералштаба у више наврата и министар војни у више наврата. У српско-турским ратовима 1876–1878. године био је на командним дужностима, а у српско-бугарском рату 1885. године био је командант Дринске дивизије. За време првог министровања покренуо је часопис *Ратник*. Члан Српске краљевске академије наука постао је 1894. године. Један је од најумнијих српских официра и један од наплднијих војних писаца са краја XIX века. Поред великог броја радова у часописима објавио је и велики број научних дела. (Милић Милићевић, Љубодрог Поповић, *Генерали војске кнежевине и краљевине Србије*, Београд 2003, стр. 161–165).

Боравећи у Нишу, у обиласку новоослобођених територија, Мишковић са својом идејом и одлуком о покретању „војног листа“ обавештава тадашњег начелника ђенералштаба, наредбом Ф№ 408. од 6. јануара (18. јануара по новом календару) 1879. године. У својој наредби Мишковић је изрекао мисао која је и данас актуелна: „Војска без свога листа као човек без говора“. Полазећи од става да је доста „времена прошло од како је наша војска без свога гласила, без свога листа“, те да је „у времену када се наша војска, на основу стечених искустава бојних, има да препороди и учврсти, војни лист нам је и неоспоран и неопходан“, Мишковић даје и основне смернице за издавање листа.

У сарадњи са својим бившим наставником, и бившим уредником *Војина* Јованом Драгашевићем, са којим је сарађивао на пољу војне писане речи, Мишковић се одлучује да да име листу *Ратник*, и да се штампа о трошку војног министарства. Такође, као издавач ће се појавити Главни ђенералштаб, а уређивање ће бити у делокругу Историјског одељења главног ђенералштаба.

По идеји Јована Мишковића, садржај *Ратника* требало је да буде конципиран на следећи начин:<sup>11</sup>

– *званични део*, у којем ће се, услед недостатка званичног службеног војног листа, штампати сви „војни закони, укази, прописи, објаснења, рапорти, извешћа, реферати, и томе подобно, што буде од значаја по службу и од вредности по војску“;

– *научни и поучни део*, у којем ће се штампати „начела и поуке из свију војних грана: организације и администрације, тактике и стратегије, географије и топографије, фортификације и грађевине, артиљерије и технике, судства и лекаства, историје и етнографије, премеравања и крокирања, статистике и економије и.т.д.“;

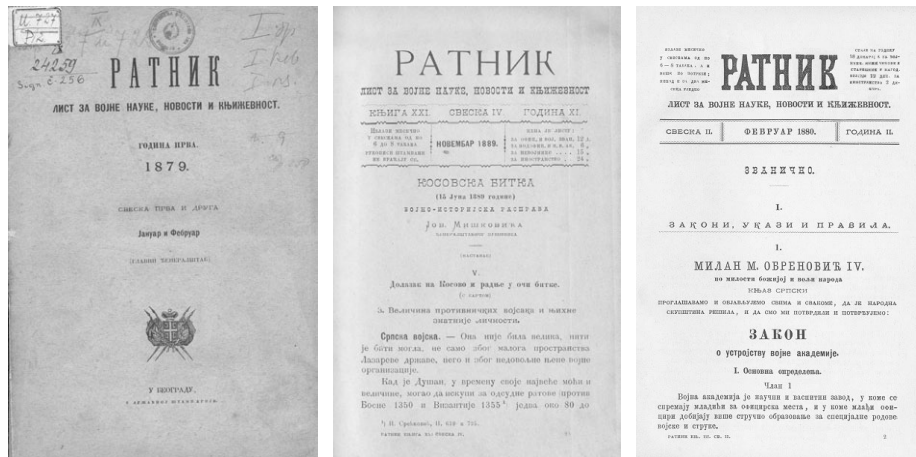
– *новине и књижевност*, део у којем ће се штампати „како сви нови проналасци у свима војним гранама од вредности, тако и нова дела...“.

Својим наређењима министар војни је подстицао рад официра, тако да су писали и преводили за *Ратник*, обавештавајући о најновијим збивањима у српској и европским војскама. Велика празнина у српској војној литератури и потреба за образовањем, али и помањкање уџбеника, учинили су да овај часопис, у којем је штампано много војних студија, расправа и других чланака из најразличитијих војних области, има велики утицај на даље развијање војних знања и усавршавање старешинског кадра у српској војсци крајем XIX и почетком XX века.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> *Двадесетпетогодишњица Ратника*, Београд, 1904, стр. 9–10.

<sup>12</sup> Slavica Ratković-Kostić, *Vojni časopis „Ratnik“ 1879–1934, Vojnoistorijski glasnik* 1–3, Београд 2000, стр. 60.





Слика 4 – Ратник, лист за војне науке, новости и књижевност

Раздвајање званичног дела и покретање *Службеног војног листа* 1881. године, допринело је да се *Ратник* осамостали као лист за војне науке, новости и књижевност.

У периоду излажења *Ратника* од 1879. године до 1914. године, овај часопис био је полигон за пласирање знања из разних „војних грана“. За *Ратник* тога времена и, посебно, за независна (приватна) војна гласила карактеристично је да су у њима српски војни писци инсистирали да држава примењује у пракси верификована знања.<sup>13</sup> Највише порука упућивано је официрима, те је стога *Ратник* имао неизмеран значај за стручно оспособљавање припадника војске, чиме је индиректно утицао и на квалитет њене борбене изградње, развој ратне војне вештине, стратегије и тактике и на очување од заборава догађаја и личности из ратне и војне прошлости.

Од самог почетка излажења, наредбом министра војног регулисана је уређивачка политика која је у неколико наврата минимално модификована. Самим својим заглављем *Ратник* је дефинисан као *часопис за војне науке, новости и књижевност*, при томе се и на тај начин одређујући ка материји која се обрађује унутар корица. Поред тога, статутом *Ратника* такође је дефинисан садржај листа који треба да пре свега испуни очекивања читалаца, а затим и војног врха, који је свестан свих недостатака у систему школовања и усавршавања официрског кора.

У првим делима српске војне књижевности, средином XIX века, није било апсолутне сагласности у вези са класификацијом дисциплина (грانا) ратне вештине. Према неким, то су: историја ратне вештине, стратегија, тактика, фортификација, наука о оружју и наука

<sup>13</sup> Петар Дамјанов, *Реч као мач*, Београд, 2004, стр. 64.

о терену, док је група најзначајнијих ондашњих војних мислилаца (Ј. Драгашевић, Д. Ђурић, Ј. Анђелковић) сматрала да се ратна вештина дели на стратегију и тактику.<sup>14</sup>

Димитрије Ђурић<sup>15</sup> ратну вештину назива војном вештином и сматра је „путством“, како се ваља борити да се постигне циљ са што мање жртава.<sup>16</sup> Војна вештина је „главна војна наука“, а остале су: војна статистика, топографија и картографија, артиљерија, фортификација и војна психологија. У својим белешкама, Јован Мишковић је војне науке поделио на тактику, стратегију, географију, статистику, фортификацију и артиљерију,<sup>17</sup> док је Јован Драгашевић стратегију и тактику сматрао наукама „...које се нарочито војничким зову“, а артиљерију и инжењерију видео је као „занате“ у служби тих наука.<sup>18</sup>

Покушаји да се „наука о оружју“ уведе у „гране“ ратне вештине и сврста у војне науке, није наишао на подршку међу теоретичарима војне мисли. Није било званичних погледа на поделу ратне вештине и усаглашених ставова, али је значајан податак да је у статуту часописа *Ратник* дефинисано да су „војне гране“: организација, тактика, стратегија, артиљерија и фортификација.<sup>19</sup>

<sup>14</sup> Бранислав Ђорђевић, *Српски војни ствараоци о ратној вештини*, Војно дело бр. 3, Београд, 1998, стр. 139; Шире видети: Јован Драгашевић, *Први појмови из стратегије*, Војин бр. 6, Београд 1866, стр. 273; Димитрије Ђурић, *Пристап Грисхајмовој Тактици*, Војин бр. 1, Београд 1864, стр. 2; Ј. Анђелковић, *Појмови из ратоводства*, Београд 1876, стр. 19.

<sup>15</sup> Димитрије Ђурић, генерал (1838–1893). По завршетку гимназије ступио је 1855. године у Артиљериску школу. У чин пешадијског потпоручника произведен је 1860. године. На специјализацију у Топографско одељење Главног генералштаба у Берлину упућен је 1861. године. Поднео је оставку на службу у српској војсци 1863. године, јер није испуњено дато му обећање да ће похађати пруску вишу војну школу. Оставка му је уважена и он је отишао у Русију, где се 1864. активирао у чину пешадијског поручника. У Николајевску генералштабну академију ступио је 1865. године. По завршетку Академије вратио се 1867. у Србију, где је поново примљен у војску са чином генералштабног поручника. У чин пуковника унапређен је 1881, а у чин генерала 1893. године. У трупи је службовао веома кратко, а обављао је више дужности у Генералштабу и Министарству војном. Био је начелник Историјског и Оперативног одељења Главног генералштаба, начелник Економског одељења у Министарству војном, два пута министар војни (1889. и 1892) и два пута Управитељ Војне академије (1888. и 1892). Од 1867. до смрти био је професор у Артиљериској школи и Војној академији. Предавао је више предмета, а главни су му били Тактика и Стратегија. У рату 1876. био је главни интендант српске војске, а у рату 1877/1878. био је начелник штаба Шумадијског корпуса. Од 1892. године био је почасни члан Српске академије наука. Један је од најугледнијих стваралаца војне мисли и утемељивача ратне вештине у Србији тога доба. Као питомац Артиљериске школе превео је са француског дело *Ратна начела Наполеонова*. Први је наш војни мислилац који је дефинисао стратегију и тактику у *Пристапу Грисхајмовој Тактици*, коју је превео за часопис *Војин* за 1864. годину. Поред бројних чланака у војним и другим часописима објавио је и велики број дела из Војне историје и ратне вештине. (Милић Милићевић, Љубодраг Поповић, *Генерали војске кнежевине и краљевине Србије*, Београд 2003, стр. 88–92)

<sup>16</sup> Димитрије Ђурић, *Основна тактика три рода војске*, Београд, 1879, стр. 6.

<sup>17</sup> Архив Српске академије наука и уметности, Београд, Историјска збирка, бр. 7242, *Белешке Јована Мишковића*, бележница бр. 15.

<sup>18</sup> Јован Драгашевић, *Војна географија Илирског тропоља*, Београд, 1903, 5; Бранислав Ђорђевић, *Српски војни ствараоци о ратној вештини*, Војно дело бр. 3, Београд, 1998, стр. 140.

<sup>19</sup> *Статут листа, Ратник*, свеска I, јануар 1881, стр. 2.

У периоду од 1879. до 1914. године у часопису *Ратник* објављено је 2903 чланка у 367 свезака које су изашле у овом периоду (месечне свеске или двоброј), који су се бавили војним наукама, новостима на пољу војне мисли и технике, и испољили огроман утицај на едукацију и усавршавање официрског кора. Током свог постојања у овом периоду, часопис *Ратник* био је окренут, пре свега, историји ратова и ратној вештини, као основним компонентама образовања сваког савременог официра.<sup>20</sup>

Табела

Преглед броја чланака по појединим областима  
у часопису *Ратник* за период 1879 – 1914. године<sup>21</sup>

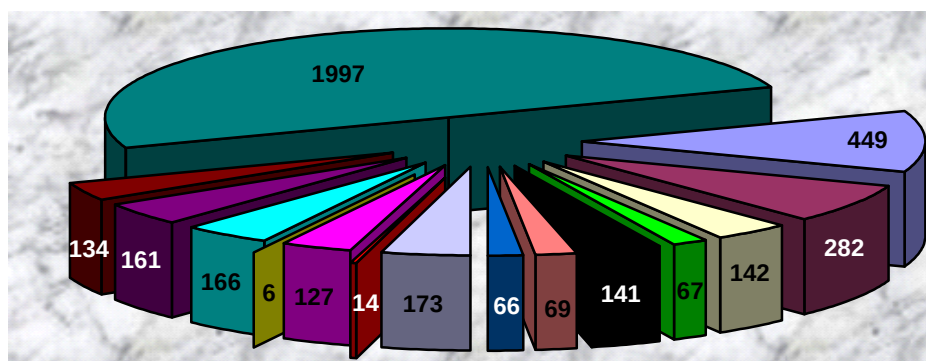
| Ред. број | О Б Л А С Т                         | Број чланака |
|-----------|-------------------------------------|--------------|
| 1.        | Стратегија                          | 142          |
| 2.        | Ратови и историја ратова            | 449          |
| 3.        | Општа тактика                       | 282          |
| 4.        | Пешадија и њена тактика             | 67           |
| 5.        | Артилерија и њена тактика           | 141          |
| 6.        | Коњица и њена тактика               | 69           |
| 7.        | Инжињерија                          | 66           |
| 8.        | Ваздухопловство                     | 14           |
| 9.        | Морнарица                           | 6            |
| 10.       | Администрација и економија          | 59           |
| 11.       | Ђенералштабна служба                | 29           |
| 12.       | Наоружање и техника                 | 173          |
| 13.       | Хемија                              | 17           |
| 14.       | Фортификација                       | 127          |
| 15.       | Географија и топографија            | 166          |
| 16.       | Војно судство                       | 61           |
| 17.       | Морално васпитање војске            | 95           |
| 18.       | Организација и формација војска     | 161          |
| 19.       | Саобраћајна средства и комуникације | 50           |
| 20.       | Санитет и ветерина                  | 93           |
| 21.       | Трупна правила, упуте и прописи     | 134          |
| 22.       | Маневри и трупна вежбања            | 88           |
| 23.       | Школе, курсови, испити и предавања  | 85           |

<sup>20</sup> Slavica Ratković Kostić, *Vojni časopis „Ratnik“ 1879–1934, Vojnoistorijski glasnik* 1–3, Beograd 2000, str. 64.

<sup>21</sup> *Двадесетпетогодишњица Ратника*, Београд, 1904, стр. 355–410;  
*Друга Двадесетпетогодишњица Ратника*, Београд, 1935, стр. 3–157.

|             |                                            |      |
|-------------|--------------------------------------------|------|
| 24.         | Прокламације, беседе и сл.                 | 70   |
| 25.         | Књиге као прилози Ратнику                  | 54   |
| 26.         | Књижевни прегледи, војна и лепа књижевност | 147  |
| 27.         | Преглед војне штампе, наше и стране        | 10   |
| 28.         | Библиографија                              | 21   |
| 29.         | Некролози и читуље                         | 27   |
| У К У П Н О |                                            | 2903 |

У складу са тадашњим размишљањима да је историја ратова неисцрпни рудник идеја за поступање у одређеним ситуацијама (у ставовима класика војне мисли и савременика у области војних наука), много већи број чланака (449) посвећен је овој категорији (као самосталној и посебној), док је ратној вештини кроз њене гране и тактику родова, јединица, употребом јединица и техничким достигнућима, ипак посвећен свеукупно највећи простор.



Графикон: Преглед броја чланака  
по појединим областима у часопису Ратник 1879–1914. године

Приметно је да се на војне науке, историју ратова, ратну вештину и технику, и друге гране непосредно усмерене на рат и припреме за рат, односи 57,97% објављених чланака. Међутим, при свему то-

ме не смеју се заборавити и неке области које су „мало скрајнуте“ од непосредних потреба једне савремене војске, али без којих су рат и ратна дејства немогућа. У ту групу спадају и администрација и ђенералшабна служба, али и области које се баве здрављем људи и животиња – санитет и ветерина. Такође, маневри и трупна вежбања су у функцији рата, али их овде нисмо посебно третирали, а могли су бити у функцији ратне вештине.

Оно што посебно изазива пажњу свакако је област „морнарица“, која је нашла своје место у садржају *Ратника*. Иако мали број чланака (6) за једну копнену војску као што је била војска Кнежевине/Краљевине Србије, ова област и није од неког пресудног значаја за едукацију официрског кора. И поред тога што се појавила тек од 1904. године, ипак је значајна, јер показује да се савремена војна мисао тог доба у свету са пажњом пратила у Србији, па чак и у домену поморских операција и новина у овој области.<sup>22</sup>

Поред чланака домаћих писаца, *Ратник* је обиловало преводима дела страних војних аутора, највише руских, француских, немачких и аустријских.<sup>23</sup> Преведена су дела Голца, Бријалмона, Шерфа, Драгомирова, Лера, од којих су нека штампана (краћа дела) у самом *Ратнику*, а нека од њих као додатак *Ратнику*.

Све до краја XIX века они чија је дужност била вођење војски нису се бавили развојем наоружања, премда су сва достигнућа радо усвајали, већ су то остављали бризи специјалиста, најпре занатлијама, а касније војним техничарима и инжињерима. Нису се трудили ни да испоље свој утицај на ратну производњу. Вођење рата на разним поприштима сводило се на маневар оним снагама које је било могуће регрутовати, наоружати, обучити и издржавати. Може се слободно тврдити да крајем XIX века и почетком XX века питање студије и производње материјала практично није залазило у ратну вештину.

Војни писци који пишу о ратној вештини ћутке прелазе преко питања наоружања. Тако је Голц, будући творац савремене турске војске, и један од најзначајнијих немачких војних теоретичара пред Први светски рат, испитујући услове успеха у рату 1896. године напи-

<sup>22</sup> Чланци из морнарице по први пут су почели да се објављују у *Ратнику* 1904. године. То су следећи чланци: *Прво јунаштво руске флоте и њена сила*, Чемулио и Тако, Вој. М, *Ратник*, свеска IV, април 1904, стр. 500–507; *Подводни рат*, S, *Ратник*, свеска II, фебруар 1905, стр. 311–344; *Контраадмирал Небогатов у цушимској катастрофи*, Са руског превео \*\*\* , *Ратник*, свеска X, октобар 1906, стр. 420–462; *Флоте у 1908. години*. Бројни преглед ратних бродова свих великих поморских сила, дислокација њихових флота, марински буџет, ратна пристаништа и арсенали, Средио пешадиски поручник Александар К. Даскаловић, *Ратник*, свеска II, фебруар 1909, стр. 346–354; *Без победе на мору нема је ни на суву (Салватор Р.)*, *Ратник*, свеска IX, септембар 1911, стр. 173–174; *Подводне мине*. Кратко излагање устројства и употребе, S, *Ратник*, свеска XI–XII, новембар-децембар 1911, стр. 147–166.

<sup>23</sup> Бранислав Ђорђевић, *Историја српске ратне вештине*, Београд, 2000, стр. 145–146.

сао: „Најбоља гаранција победе биће – поред добре стратегије и тактике – бројна надмоћност“. Додуше, Голц на једном другом месту говори о значају наоружања (материјала) на морал трупа.<sup>24</sup> У својој књизи *Наоружани народ*, Фон дер Голц од 477 страна само једну посвећује наоружању. Интересантно је његово објашњење значаја наоружања: „Исто тако и наоружање је битан услов за успех. Ни најхрабрији војници наоружани копљем и кратким мачем не помажу према магацинкама и олучним топовима“.<sup>25</sup>

Слично је писао и Наполеон: „Циљ ратне вештине је да се упознају услови које треба остварити да би се водила битка под повољним условима. Организацију, наоружање и обуку трупа треба извести још за време мира“. Као што видимо, наоружање за Наполеона не представља део ратне вештине и тако ће остати и код других војних теоретичара (а и трупних команданата) све до Првог светског рата.<sup>26</sup> Међутим, Наполеон је визионарски за ондашњу пушку предвиђао да је „изналазак ватреног оружја све ... изменио; овај велики проналазак сасвим је у корист нападачеву, и ако су многи до сада држали обратно“.<sup>27</sup>

Огромне техничке припреме које претходе савременом рату укључују могућности брзих промена у стратегији, јер је целокупна пажња усмерена на усвајање нових техничких средстава. Али, зато су техничка модернизација и нова наоружања у уској вези са тактиком, дисциплином ратне вештине. Војска треба да има тактику која одговара њеном наоружању. То значи да замисли командовања и борбени поступци извршилаца тих замисли треба да извуку највећу могућу корист из особина наоружања које, опет, треба да буде праћено непосредним, одговарајућим саобраћавањем борбених поступака. Исто тако, сасвим је јасно да су тактика и наоружање у тесној зависности од метода борбе и борбених средстава непријатеља.

Ратна вештина, путем доброг искоришћавања свих средстава и начина за вођење рата, „мора гледати да га доведе до жељеног краја са најмање губитака, напора и за најкраће време, да би повратила државу, што је могуће брже, у миран живот“.<sup>28</sup> Неповерење у модернизацијске процесе, и у оно што „ново“ доноси, као и чињеница да се око материјалног фактора, а тиме и са употребом наоружања, и са новинама у наоружању многи теоретичари ратне вештине „никако не

<sup>24</sup> Ајре, *Ратна вештина и техника*, Београд, 1958, стр. 14.

<sup>25</sup> Колмар, фон дер Голц, *Наоружани народ, војна организација и ратовање нашег времена*, Београд, 1904, стр. 139.

<sup>26</sup> Ајре, *Ратна вештина и техника*, Београд, 1958, стр. 14.

<sup>27</sup> Nilgherrien, *Из области вештине ратовања (офанзива)*, *Ратник*, свеска IV, април 1908, стр. 632.

<sup>28</sup> Л. Л. Бајков, *Особине борних елемената и спрема војске за рат и борбу*, превео с руског Драгутин Живановић, Додатак *Ратнику* за мај–јуни 1911, стр. 7.

слажу у тумачењу речи *рата* и срестава, која су за ратовање нужна<sup>29</sup> условно су успорили и развој наоружања.

Тежња за техничком модернизацијом и познавањем савременог наоружања, као средства за остварење националних циљева, није заобишла ни српске теоретичаре војне мисли, па се наметала кроз написе у многим текстовима који се баве војним питањима.<sup>30</sup> Иако прошлост даје поуке које су примењиве у будућности, то се нарочито не односи на техничку модернизацију. Кроз епохе ратовања постојали су „цијели редови високог развитка свакојакних техничких изума“ на које су се војске „ослањале“.<sup>31</sup> Тако је и тежња код српске војске да жели „... да српско оружје и српско име *свагдан свуда* буде светло и славно, а то нам ваљда нико замерити неће“.<sup>32</sup> Покушај самосталности у сопственој војној индустрији огледа се и у ставу да „свака војска мора црпсти сва срества за ратовање из сопствене своје снаге“ и да „успеси војске зависе: ... од спреме саме војске“.<sup>33</sup>

Убрзо по формирању Књажевине Србије – и упркос свим дипломатским активностима и успесима Владе и самог књаза, мало очекиваним и не баш уобичајеним када је реч о тако младој државној творевини – постало је сасвим очигледно да је ипак само војска та снага која, спремна, добро опремљена и изузетно мотивисана, може да заштити државне интересе и тешко извојевану, крвљу плаћену слободу Србије. Стога су се убрзана модернизација и наоружавање војске, како би била у стању да се одупре свакој потенцијалној опасности наметнути као основни и приоритетни задатак којем је било подређено све остало. Уосталом, набавка оружја и муниције била је најозбиљнији проблем са којим су се Срби суочавали још од избијања Првог српског устанка – и велике силе и суседне земље су често, у зависности од политичких прилика и сопствених интереса, избегавале да испоруче обећано (а некад и већ унапред скупо плаћено) оружје, па чак и спречавале набавку из других извора.

Модернизација наоружања, као потреба се наметала без обзира на политичке и дипломатске сметње. Став Паје Путника „да таквог наору-

<sup>29</sup> Раде Крајновић, *Морални елеменат и његов утицај на вође и војску (од Деринга)*, превод с немачког, *Ратник*, свеска I, јануар 1890, стр. 68.

<sup>30</sup> Стокић, *Ново оружје нова тактика*, *Ратник*, свеска I–II, јануар-фебруар 1879, стр. 124–148; Стокић, *Ново оружје нова тактика*, *Ратник*, свеска III–IV, март–април 1879, стр. 471–482; Стокић, *Ново оружје нова тактика*, *Ратник*, свеска V–VI, мај–јуни 1879, стр. 742–764; Здр. Рајковић, *Наука и народна одбрана*, *Ратник*, свеска II, фебруар 1884, стр. 138–156; Д. М., *Наука ратовања и техника победе*, превод, *Ратник*, свеска V, мај 1904, стр. 691–693.

<sup>31</sup> Н. П. Михневић, *Историја ратне вјештине*, Цетиње, 1908, Увод, стр. V.

<sup>32</sup> Паја Путник, *Мисли о војеној организацији Србије*, Панчево, 1875, Предговор стр. X.

<sup>33</sup> Раде Крајновић, *Морални елеменат и његов утицај на вође и војску (од Деринга)*, превод, *Ратник* свеска I јануар 1890, стр. 68; Мих. Д. Лазаревић, *Савремено наоружање и тактика*, *Ратник* свеска X октобар 1904, стр. 513–530; П. Б., *Рат и војска*, превод, *Ратник*, свеска II, фебруар 1905, стр. 245–276.

жања нигде у Европи нема, не може служити као разлог да тога у српској војсци не сме бити“ довољно говори о томе да не сме бити препрека да се српска војска модерно опреми ради испуњења „националног задатка“. У прилог томе он даље говори да: „Мале државе са великим задатцима - а Србија има врло велики задатак – не смеју се задовољавати, да се само онога држе, што виде да друге веће чине, већ морају све могуће чинити и тражити, да услове успеха умноже и увеличају“.<sup>34</sup>

Пратећи процес модернизације у свету и у свом непосредном окружењу, писци у *Ратнику* су „терали на размишљање“ државни и војни врх, поредећи српску војску са другим војскама из окружења у смислу модернизационих процеса. Такву врсту поређења имамо са репетирком малог калибра „коју је сад аустријска пешадија добила, и која ће се ускоро и код других војска усвојити“, где писац указује да је „значајна...поправка досадањег наоружања и повећање дејства, и више стручно намеће се питање, да ли ћемо остати на борним поретцима једнометне острагуше (застарелог наоружања – прим. И. М.), које су нам искуства последњих ратова дала, или ћемо и које измене борних поредака усвојити“.<sup>35</sup>

Супротно распрострањеном мишљењу, војска Краљевине Србије је пред балканске ратове и Први светски рат располагала модернијим наоружањем него било која суседна држава, а имала је модерније оружје и од многих великих сила. Српске брзометне пушке *маузер* (М.99, М.907, М.910 па и 80/907) калибра 7 мм биле су знатно квалитетније од аустроугарских пушака *манлихер* М.95, М.90 и М.88/90, француских *лебел* М.86, М.86/93 и М.1907, руских *мосин* М.91, италијанских *каркано* М.91...<sup>36</sup> Српска пољска артиљерија рас-

<sup>34</sup> Паја Путник, *Мисли о војеној организацији Србије*, Панчево, 1875, стр. 87.

<sup>35</sup> Б.Ј. Анђелковић, *Уплив репетирке на тактику пешадије*, превод с немачког, *Ратник*, свеска VII, јул 1889, стр. 553; *Оружање пушком Манлихеровом*, Новости и белешке – Турска, *Ратник*, свеска XI, новембар 1889, стр. 491; *Нова пушка репетирка*, Новости и белешке – Турска, *Ратник*, свеска VIII, август 1889, стр. 108; *Нова швајцарска пушка*, Новости и белешке – Швајцарска, *Ратник*, свеска XII, децембар 1889, стр. 624; Дамњан Влајић, *Дејство аустријске пушке Манлихеровог система са малодимним барутом*, *Ратник*, свеска X, октобар 1892, стр. 354–377.

<sup>36</sup> Р. Келер, *Модерно оружје*, приказ, *Ратник*, свеска I, јануар 1901, стр. 153;  $X^2+Y$ , *Сравњење разних пушака којима су наоружане европске војске*, превод, *Ратник*, свеска V, мај 1899, стр. 25–34; Дамјан Влајић, *Шпанска пушка системе маузерове модела 1893. године*, *Ратник*, свеска V, мај 1896, стр. 598–611; *Пушка М. 1895*, Новости и белешке – Аустро-Угарска, *Ратник*, свеска I, јануар 1896, стр. 121; *Балистичке својине модерних пушака*, Новости и белешке – Норвешка, *Ратник*, свеска IX, септембар 1893, стр. 440; К. Ј., *Калибарско питање у европским војскама*, превод, *Ратник*, свеска XI–XII, новембар-децембар 1892, стр. 557; Дамњан Влајић, *Сувремено наоружање пешадије*, *Ратник*, свеска III, март 1891, стр. 229–253; Дамњан Влајић, *Сувремено наоружање пешадије*, *Ратник*, свеска IV, април 1891, стр. 361–381; Дамњан Влајић, *Сувремено наоружање пешадије*, (свршетак), *Ратник*, свеска V–VI, мај–јуни 1891, стр. 549–585; Ђ. Марковић, *Бездимни барут и тактика*, превод, *Ратник*, свеска V–VI, мај–јуни 1891, стр. 586; *Нова пушка руске пешадије*, Новости и белешке – Русија, *Ратник*, свеска II, фебруар 1892, стр. 211; *Нова пушка*, Новости и белешке – Бугарска, *Ратник*, свеска XI–XII, новембар-децембар 1890, стр. 689.



полагала је веома модерним пољским топовима *шнајдер М.907* и *М.907А* калибра 75 мм. У рату се овај топ показао као најбољи пољски топ, после француског топа *М.1897* истог калибра.<sup>37</sup>

Српске брзометне хаубице 120 мм *М.1910* и 150 мм *М.1910* стране су најбољим на свету. У то време Аустроугарска уопште није имала брзометне хаубице (добила их је тек 1915. године), а Француска је располагала само импровизованим брзометним хаубицама 150 мм *М.904 римајо*. Са друге стране количина овог оружја била је недовољна, али то није био случај само код српске војске. Најгоре стање било је са интендантском опремом, јер је вероватно само турска војска имала лошију. Недостајало је и муниције, нарочито за артиљерију, али ни друге војске нису биле у бољем положају.<sup>38</sup>

Питање техничке модернизације није се односило само на ватрено наоружање (пешадијско и артиљеријско). *Ратник* је пажљиво пратио достигнућа у развоју наоружања и преносио полемике које су владале у европским армијама о увођењу у наоружање „застарелих“ оружја.<sup>39</sup>

У периоду до почетка Првог светског рата, сваки нови рат је доносио новине у развоју ратне вештине и примене наоружања. Ратови су полигони за испитивање нових оружја, верификација постигнутих техничких достигнућа, неумитни процес усавршавања ратне технике. Зато се у прилог модернизацији каже да „често је пута новина оружја или начин напада победу задобијао, баш и ако није увек реално дејство апсолутно веће било, него што је више морално дејство на непријатеља то причинило“.<sup>40</sup>

<sup>37</sup> Милорад Поповић, *Упоредба француске и немачке пољске артиљерије. Од ђенерала Ронеа, превод, Ратник, свеска IX, септембар 1906, стр. 265–282; Ђ. Марковић, Бездимни барут и тактика, превод, Ратник, свеска V–VI, мај–јуни 1891, стр. 586; Ђорђе Д. Шпартаљ, Аустроугарски 8 цм. брзометни пољски топ М. 5, Ратник, свеска V–VI, мај–јуни 1907, стр. 789–798; Ђорђе Д. Шпартаљ, Бугарски брзометни пољски топ система Шнајдер-Кане, Ратник, свеска V–VI, мај–јуни 1907, стр. 799–806; Љубом. Покорни, О организацији наше садање и будуће пољске артиљерије, Ратник свеска VII јули 1908, стр. 29–52; Љубом. Покорни, О организацији наше садање и будуће пољске артиљерије, (наставак), Ратник, свеска VIII, август 1908, стр. 175–200; Љубом. Покорни, О организацији наше садање и будуће пољске артиљерије, (свршетак), Ратник, свеска IX, септембар 1908, стр. 331–351; Петар М. Лазаревић, Неколико речи о нашој хаубичној артиљерији, Ратник, свеска V–VI, мај–јуни 1908, стр. 853–866.*

<sup>38</sup> Небојша Ђокић, *Стварање Српског ваздухопловства у контексту модернизације Српске војске*, Вредновање ваздухопловних традиција, Београд, 1994, стр. 65–75; Небојша Ђокић, *Савезничка помоћ техничкој модернизацији српске војске 1915. године*, Зборник Матице српске за историју 55, Нови Сад 1997, стр. 183–184.

<sup>39</sup> Ј. П., *Коњица у савременом рату*, превод, Ратник, свеска III, март 1890, стр. 276–302; Ј. П., *Коњица у савременом рату*, (наставак), превод, Ратник, свеска IV–V, април–мај 1890, стр. 463–488; Ј. П., *Коњица у савременом рату*, (свршетак), превод, Ратник, свеска VI, јуни 1890, стр. 658–654; Л. П., *Стратегијска и тактичка улога коњице*, превод, Ратник, свеска IX, септембар 1892, стр. 258–276; Мила Ј. Радојевић, *Наоружање и спрема коњице*, превод, Ратник, свеска I, јануар 1905, стр. 119; Б., *Коњица у савременом ратовању*, Ратник, свеска VII, јул 1912, стр. 1–40.

<sup>40</sup> *Der Sturmangriff Der Infanterie und Seine Vorbereitung*, Тактичко-Техничка штудија од једног који није пешак, Хановер, 1888, приказ књиге, Ратник, свеска IV, април 1889, стр. 217.

Период постојања *Ратника* од 1879. до 1914. године био је истовремено и период борбе за изграђивање и усаглашавање српске војне терминологије. Овај процес који је отпочео Драгашевић у свом *Војину*, наставио је у *Ратнику*. Српска војна терминологија изграђивана је, пре свега, на темељима народног језика, јер су основи ратне вештине требало да буду јасни и обичном војнику. Зато су у *Ратнику*, где год је било могуће, страни термини замењивани домаћим називима. Ипак, прихватани су и већ устаљени називи у европским војскама. Тако су одмах прихваћени термини: стратегија, тактика, артиљерија, фронт, корпус, марш, субординација и многи други. То су, углавном, термини који у српској војсци нису имали никакве традиције, па су били лакше прихватљиви за појмове који су пре тога Србима били непознати.<sup>41</sup>

Часопис *Ратник*, угледајући се на савремене европске војне листове, потпуно је одговорио захтевима научног листа уопште и културним, информативним и образовним потребама српске војске. Мултидисциплинаран је јер садржи чланке из више научних области: војне науке (ратна вештина), историје, географије, права, психологије, социологије, медицине, технике, лингвистике, организационих наука, економије... Иако је предмет његовог интересовања опште природе, *Ратник* је првенствено расадник војних наука и вештина. Утицај високообразованих официра, пре свега европски образованих, у овом часопису највише се осећао. Радови умних људи из војске тога времена из тактике, стратегије, артиљерије, географије и других области, учинили су доста за подизање српског официрског кора. Било је значајних, студиозних и обимних чланака који су продирали у неистражене области. Многи такви радови касније су штампани као посебна књига.

*Ратник* је пратио највеће европске војне ствараоце, пре свега немачке, француске, руске и аустријске. Преносио је и коментарисао сва догађања у европској војној пракси и теорији, почев од научних достигнућа до критичких осврта на књиге и оцне разних стручних часописа, појаву новог наоружања и техничких достигнућа у домену војнотехничких наука. На тај начин је надокнађивао недостатак добрих информација и недовољну обавештеност, јер су српска војна публицистика и историографија биле у повоју.

Несумњиво да је *Ратник* садржајем, тематиком и разноврсним радовима из многих области вршио велики утицај на опште образовање војске, посебно официра и подофицира, и да је поставио темеље „српске војне књижевности“. С једне стране, многи угледни српски војни теоретичари огледали су се на његовим странама, а с друге био је нека врста уџбеничке литературе за младе официре.

Крајем XIX и почетком XX века у Србији је покренуто још неколико војних часописа у уредништву Министарства војног (*Војин*

<sup>41</sup> Slavica Ratković-Kostić, *Vojni časopis „Ratnik“ 1879–1934, Vojnoistorijski glasnik 1–3*, Beograd. 2000, str. 64.

1879–1889, *Глас војске* 1890), али кратког века, затим приватни листови *Српска војска* – независни недељни војни лист који је излазио од 1908. до 1912. године, *Узданица* као „војнички лист за науку, неговање војничких врлина и витешку забаву“ који је излазио од 1901. до 1912. године у прво време недељно, а након 1905. године месечно. Краћи период излазили су и листови *Артилериско-инжињериски гласник* (1905–1906) и *Војска* (1903–1907), али нису оставили тако дубок траг као Драгашевићеви *Војин* и *Ратник*.<sup>42</sup>

### Литература

- [1] Ајре, *Ратна вештина и техника*, Београд, 1958.
- [2] Анђелковић, Б. Ј., *Уплив репетирке на тактику пешадије*, превод с немачког, *Ратник*, свеска VII, јул 1889.
- [3] Анђелковић, Ј., *Појмови из ратководства*, Београд, 1876.
- [4] Б., *Коњица у савременом ратководству*, *Ратник*, свеска VII, јул 1912.
- [5] Бајков, Л. Л., *Особине борних елемената и спрема војске за рат и борбу*, превео с руског Драгутин Живановић, додаток *Ратнику* за мај–јуни, 1911.
- [6] *Балистичке својине модерних пушака*, Новости и белешке – Норвешка, *Ратник*, свеска IX, септембар 1893.
- [7] *Без победе на мору нема је ни на суву (Салватор Р.)*, *Ратник*, свеска IX, септембар 1911.
- [8] *Белешке Јована Мишковића*, Архив Српске академије наука и уметности, Београд, Историјска збирка, бр. 7242, бележница бр. 15.
- [9] Влајић, Дамњан, *Дејство аустријске пушке Манлихеровог система са малодимним барутом*, *Ратник*, свеска X, октобар 1892.
- [10] Влајић, Дамњан, *Сувремено наоружање пешадије*, *Ратник*, свеска III, март 1891.
- [11] Влајић, Дамњан, *Суремено наоружање пешадије*, *Ратник*, свеска IV, април 1891.
- [12] Влајић, Дамњан, *Суремено наоружање пешадије*, (свршетак), *Ратник*, свеска V–VI, мај–јуни 1891.
- [13] Влајић, Дамјан, *Шпанска пушка системе маузерове модела 1893. године*, *Ратник*, свеска V, мај 1896.
- [14] Вој. М., *Прво јунаштво руске флоте и њена сила. Чемулио и Тако* *Ратник*, свеска IV, април 1904.
- [15] Гавриловић, С., *Форгаши, Јован, звоноливац и тополивац из доба Првог српског устанка*, Зборник за друштвене науке Матице српске бр. 49, Нови Сад, 1968.
- [16] Голц фон дер, Колмар, *Наоружани народ, војна организација и ратовање нашег времена*, Београд, 1904.

<sup>42</sup> Иван Б. Мијатовић, *Корени војне писане речи*, Београд, 2006, стр. 31–32; Иван Мијатовић, *Петро са снагом мача*, специјални прилог 39, *Одбрана* бр. 81, 1. фебруар, Београд, 2009, стр. 40.

- [17] Дамјанов, Петар, *Реч као мач*, Београд, 2004.
- [18] Даскаловић, К. Александар, *Флоте у 1908. години. Бројни преглед ратних бродова свих великих поморских сила, дислокација њихових флота, морински буџет, ратна пристаништа и арсенали*, *Ратник*, свеска II, фебруар 1909.
- [19] *Двадесетпетогодишњица Ратника*, Београд, 1904.
- [20] *Der Sturmangriff Der Infanterie und Seine Vorbereitung*, Тактичко-Техничка штудија од једног који није пешак. Хановер 1888 г, приказ књиге, *Ратник*, свеска IV, април 1889.
- [21] Д. М., *Наука ратовања и техника победе*, превод, *Ратник* свеска V, мај 1904.
- [22] Драгашевић, Јован, *Војна географија Илирског тропоља*, Београд, 1903.
- [23] Драгашевић, Јован, *Први појмови из стратегије*, *Војин* бр. 6, Београд, 1866.
- [24] *Друга Двадесетпетогодишњица Ратника*, Београд, 1935.
- [25] Думић, Оливера, *150 година од првог ливења топова у Србији – Звона из Крагујевачке фабрике*, *Војни информатор* бр. 5–6, Београд, 2003.
- [26] Думић, Оливера, *Крџалије*, *Весник* бр. 35, Београд, 2008.
- [27] Думић, Оливера, *Османска војна сила у доба Првог српског устанка*, у: *Делиград од устанка ка независности* (зборник радова са међународног научног скупа), Београд, 2007.
- [28] Ђокић, Небојша, *150 година од прве серијске производње топова у Србији*, *Расински анали* 2, Крушевац, 2004.
- [29] Ђокић, Небојша, *Савезничка помоћ техничкој модернизацији српске војске 1915. године*, Зборник Матице српске за историју 55, Нови Сад, 1997.
- [30] Ђокић, Небојша, *Стварање Српског ваздухопловства у контексту модернизације Српске војске*, Вредновање ваздухопловних традиција, Београд, 1994.
- [31] Ђорђевић, Бранислав, *Историја српске ратне вештине*, Београд, 2000.
- [32] Ђорђевић, Бранислав, *Српски војни ствараоци о ратној вештини*, *Војно дело* бр. 3, Београд, 1998.
- [33] Ђурић, Димитрије, *Основна тактика три рода војске*, Београд, 1879.
- [34] Ђурић, Димитрије, *Приступ Грисхајмовој Тактици*, *Војин* бр. 1, Београд, 1864.
- [35] Јововић, Божидар, *Колијевка стасавања новог живота*, специјални прилог „Међаши војног новинарства“, *Војска* 24. јануар, Београд, 1999.
- [36] Ј. П., *Коњица у савременом рату*, превод, *Ратник* свеска III март, 1890.
- [37] Ј. П., *Коњица у савременом рату*, (наставак), превод, *Ратник*, свеска IV–V, април-мај 1890.
- [38] Ј. П., *Коњица у савременом рату*, (свршетак), превод, *Ратник*, свеска VI, јуни 1890.
- [39] Келер, Р., *Модерно оружје*, приказ, *Ратник*, свеска I, јануар 1901.
- [40] К. Ј., *Калибарско питање у европским војскама*, превод, *Ратник*, свеска XI–XII, новембар-децембар 1892.

- [41] Коларић, М., *Проблем наоружања за време Првог устанка и Карађорђева тополивница у Београду*, Историјски гласник 4/1949, Београд, 1949.
- [42] Крајновић, Раде, *Морални елеменат и његов утицај на вође и војску (од Деринга)*, превод с немачког, Ратник, свеска I, јануар 1890.
- [43] Лазаревић, Д. Мих., *Савремено наоружање и тактика*, Ратник, свеска X, октобар 1904.
- [44] Л. Л., *Стратегијска и тактичка улога коњице*, превод, Ратник, свеска IX, септембар 1892.
- [45] Лазаревић, М. Петар, *Неколико речи о нашој хаубичној артилерији*, Ратник, свеска V-VI мај-јуни 1908.
- [46] Марковић, Ђ., *Бездимни барут и тактика*, превод, Ратник, свеска V- VI мај-јуни 1891.
- [47] Мијатовић, Иван, *Перо са снагом мача*, специјални прилог 39, Одбрана бр. 81, 1. фебруар Београд, 2009.
- [48] Nilgherrien, *Из области вештине ратовања (офанзива)*, Ратник, свеска IV, април 1908.
- [49] *Нова пушка*, Новости и белешке – Бугарска, Ратник, свеска XI-XII новембар–децембар 1890.
- [50] *Нова пушка репетирка*, Новости и белешке – Турска, Ратник, свеска VIII, август 1889.
- [51] *Нова пушка руске пешадије*, Новости и белешке – Русија, Ратник, свеска II, фебруар 1892.
- [52] *Нова швајцарска пушка*, Новости и белешке – Швајцарска Ратник, свеска XII, децембар 1889.
- [53] *Оружање пушком Манлихеровом*, Новости и белешке – Турска, Ратник, свеска XI, новембар 1889.
- [54] П. Б., *Рат и војска*, превод, Ратник, свеска II, фебруар 1905.
- [55] Перовић, Косовка, Брчић, Љиљана, *Војин најстарији српски војни часопис 1864–1870 Библиографија прилога*, Београд, 2002.
- [56] Покорни, Љубом., *О организацији наше садање и будуће пољске артилерије*, Ратник, свеска VII, јули 1908.
- [57] Покорни, Љубом., *О организацији наше садање и будуће пољске артилерије*, (наставак), Ратник свеска VIII август 1908.
- [58] Покорни, Љубом., *О организацији наше садање и будуће пољске артилерије*, (свршетак), Ратник свеска IX септембар 1908.
- [59] Поповић, Милорад, *Упоредјење француске и немачке пољске артилерије. Од ђенерала Роне-а*, превод, Ратник свеска IX септембар 1906.
- [60] Путник, Паја, *Мисли о војеној организацији Србије*, Панчево 1875.
- [61] *Пушка М. 1895*, Новости и белешке – Аустро-Угарска, Ратник, свеска I, јануар 1896.
- [62] Радојевић, Ј. Мила, *Наоружање и спрема коњице*, превод, Ратник, свеска I, јануар 1905.
- [63] Рајковић, Здр., *Наука и народна одбрана*, Ратник свеска II фебруар 1884.

- [64] S, *Подводне мине. Кратко излагање устројства и употребе*, *Ратник*, свеска XI–XII, новембар-децембар 1911.
- [65] S, *Подводни рат*, *Ратник*, свеска II, фебруар 1905.
- [66] Спасић, Живомир, *Почеци Тополивнице у Крагујевцу*, у: *Пола века науке и технике у обновљеној Србији 1804–1854*, Крагујевац, 1996.
- [67] *Статут листа*, *Ратник*, свеска I, јануар 1881.
- [68] Стокић, *Ново оружје нова тактика*, *Ратник*, свеска I–II, јануар-фебруар 1879.
- [69] Стокић, *Ново оружје нова тактика*, *Ратник* свеска III–IV, март-април 1879.
- [70] Стокић, *Ново оружје нова тактика*, *Ратник*, свеска V–VI, мај-јуни 1879.
- [71] Мијатовић, Б. Иван, *Корени војне писане речи*, Београд, 2006.
- [72] Мијатовић, Иван, *Војна индустрија у Србији XIX века*, *Нови гласник* бр. 1–2, Београд, 2008.
- [73] Мијатовић, Иван, *Перо са снагом мача*, специјални прилог 39, *Одбрана* бр. 81, 1. фебруар Београд, 2009.
- [74] Милићевић, Милић, Поповић, Љубодраг, *Генерали војске кнежевине и краљевине Србије*, Београд, 2003.
- [75] Михневић, Н. П., *Историја ратне вјештине*, Цетиње, 1908.
- [76] Ratković-Kostić, Slavica, *Vojni časopis „Ratnik“ 1879–1934*, *Vojnoistorijski glasnik* 1–3, Београд 2000.
- [77] Шпартал, Д. Ђорђе, *Аустро-угарски 8 цм. брзометни пољски топ М. 5*, *Ратник*, свеска V–VI, мај-јуни 1907.
- [78] Шпартал, Д. Ђорђе, *Бугарски брзометни пољски топ система Шнајдер-Кане*, *Ратник*, свеска V–VI, мај-јуни 1907.
- [79]  $X^2+Y$ , *Сравњење разних пушака којима су наоружане европске војске*, превод, *Ратник*, свеска V, мај 1899.
- [80] \*\*\*, *Контраадмирал Небогатов у цушимској катастрофи*, превод са руског, *Ратник*, свеска X, октобар 1906.

SIXTY YEARS OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER:  
ORIGINS OF THE MILITARY TECHNICAL THINKING IN THE  
MILITARY PRINTING OF THE KINGDOM OF SERBIA

Mijatović B. Ivan,  
Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Military Museum, Belgrade

ARTICLE TYPE: Historical Item, Editorial

Summary:

*The article sheds light on the origins of the military technical thinking in the military publishing of the Kingdom of Serbia with a view to marking a jubilee – the sixtieth anniversary of the Military Technical Courier. „Vojin“, the first military review, printed in the middle of 19th century as a private*

*venture, covered a wide scope of military issues, among which a special place was given to „the science of weapons“. No sooner had this review ceased to exist than The Headquarters of the Army of the Kingdom of Serbia started publishing a new military review, 'Ratnik', which, apart from the art of war and war literature, dealt with the science of weapons in order to inform officers about the latest achievements in military technology and to educate them as well. Serbian military thinking, including its technical aspect, did not fall behind modern trends in its European and world counterparts until 1914. The development of weaponry in Europe and the world was regularly covered on the pages of military reviews.*

*Key words: Military publishing, Vojin, Ratnik, military thinking, art of war, military technical thinking, modernisation, military technology, armament.*

Datum prijema članka: 27. 03. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 30. 03. 2012.

## NAUČNI ČLANCI SCIENTIFIC PAPERS

### DEA MODEL FOR MEASURING THE QUALITY CONTROL OF PUBLIC TRANSPORT NETWORKS

Pamučar S. *Dragan*, Đorović D. *Boban*, University of Defence,  
Military Academy, Deanery, Belgrade

DOI: 10.2298/vojtehg1202028P

FIELD: Mathematics, Operations Research

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

#### Abstract:

*Data Envelopment Analysis (DEA) is a mathematical programming technique successfully used to quantify the efficiency of companies in the manufacturing and service sector. The analytic process developed on the basis of this, using real input and output parameters, increases objectivity in the quantification of efficiency and helps to identify best practices. The paper shows how DEA can be applied to the quality control of public passenger transport (PPT) networks. A PPT line in the network is seen as a Decision Making Unit (DMU) which achieves a certain level of efficiency, where quality is viewed from the perspective of users. DEA is used to determine optimal quality parameters, thus helping to define the total cost of PPT lines, or the total shortfall in funds and the subsidies needed for the normal operation of the public transport network.*

*Key words: Data envelopment analysis, mathematical programming, quality control, public passenger transport networks, efficiency.*

### Introduction

Public passenger transport – PPT is an indispensable element of city life meeting the basic need for mobility, and the quality of transport services affects the efficiency of a wide range of human activity. For many people on modest incomes, and also for certain social groups (students, the



disabled, pensioners, the elderly, the unemployed, etc.) public passenger transport is often the only option for the realization of transportation needs. The PPT system indirectly affects the rational use of urban areas, traffic congestion, speed and capacity, safety and environmental pollution. Furthermore, it entails large investment in resources: vehicles, employees, facilities and equipment, energy, etc. so it is in the interest of the entire urban economy that every PPT company should operate efficiently. When owned by the local or regional public authority, public passenger transport networks are seldom run for profit, but rather as a public service. This means that the standard principles of free market economics (limited cost of transport, preferential transport fares for certain categories of passengers, a smaller increase in the cost of transport compared to the increase in operating expenses, etc.) are not applied as rigorously and the shortfall in funding of operative costs and the necessary financial resources for development (investment) are most often made up from other sources. When public transport is performed by private companies, of course, they operate solely with the goal of profit, which means that there is a competitive relationship, and these companies operate on the principles of market economics. It should also be noted that the introduction of the market logic, which underlies the operations of private enterprise, is aimed at cutting subsidies, and encouraging local authorities to create conditions for an improved level of service in public transport. Key trends in the field of public transport as the responsibility of local communities to ensure the mobility of people with limited access to private vehicles include; opening the service market to all transporters and all types of ownership, increasing efficiency and lowering operating costs, increasing public pressure on local government bodies to realize a uniform level of quality over the entire network, with acceptable cost of public transport, and a single ticket for all transporters and modes of transportation.

The main problem in all towns in Serbia with an organized public transport system is the lack of a clearly defined funding policy and the uneven quality of the traffic network. The first problem is the result of the fact that public transport is not profitable in all segments of its operation because it is a public service. This means that, while the revenue generated from ticket sales cannot cover the operating costs of carriers, in most cities there is no funding mechanism via which the city would subsidise its PPT so it can continue to perform its function normally. Also, because the transport should be available as and when required by passengers, and at prices acceptable to the different types of users, there are constant conflicts of interest between the transport company and its beneficiaries, in a broader sense the city, and in a narrower sense, the direct users i.e. passengers. It is important for all participants in this process to accept the fact that public transport services are essential in the lives of citizens, but that they are expensive to implement and must be

accessible to everyone. Another problem relates to the uneven quality of the entire line network, which means that some urban lines are more efficient than others, and thus deliver higher quality.

The aim of the author was to use DEA to measure the quality of the PPT network, and determine the optimum quality parameters of the traffic network system, and to determine the total vehicle operating costs for each line. Applying DEA could determine the total cost of the PPT system (complete network), or the total shortfall in the funds required to operate the public transport network normally. The DEA method will be made on real data from the PPT network in the city of Nis.

## DEA approach and methodology

The idea of efficiency measurement was developed by M. J. Farrell during mid-twentieth century when he used the non-parametric efficiency limits approach to measure relative distances from border efficiency [1]. This measurement, which is well known as empirical or relative efficiency, was later expanded on by researchers, especially Charnes [2]. They called the technique Data Envelopment Analysis or DEA. The popularity of non-parametric DEA grew in businesses that require the definition of a number of input and output parameters of efficiency because business analysis had previously been based on one measure as the primary benchmark for efficiency. However, one dilemma that arises is how to display benchmark comparisons when there are a number of criteria. Only very rarely is one measure alone sufficient to measure efficiency. Financial indicators of the relationship between the individual outputs and inputs, such as Return on Investment – ROI, and Return on Sale – ROS, can be used as indicators that characterize the financial impact. However, when best practice is required, they are not sufficient to measure efficiency more holistically. The efficiency of the business unit is a complex phenomenon that requires more than one criterion for the characterization.

Application of a single measurement does not take into account any interaction or exchange, or the relationship between different standards. Each business activity has its own specific measurement of performance.

DEA makes it possible to measure efficiency using actual input and output parameters, where the concept of efficiency refers to empirical or relative efficiency [3]. It does not require knowledge of the specific functional forms of the input and output parameters, as opposed to other traditional statistical approaches. The advantage of DEA is its ability to address multiple input and output parameters that are diverse in nature (financial, technical, social, etc.), and which express themselves in different measurement units [4]. In DEA terminology, business units, their activiti-

es or processes, are seen as Decision Making Units – DMUs. A DMU is the unit that actually makes business decisions, and whose performance is characterized by a set of inputs and outputs, and their interdependence. Decision units are compared with the weights that are assessed using the same parameters, and the larger the set of units, the more objective is the analytical process [2, 5].

Let us analyze a set of  $n$  DMU observations. Each observation,  $DMU_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) uses  $m$  inputs  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ) to produce  $s$  outputs  $y_{rj}$  ( $r = 1, 2, \dots, s$ ). The efficiency limit of operations, or the Best Practice Line, as it is called, is determined by these  $n$  observations, through the consistent application of the methodology which requires the realization of several steps.

The first stage in the DEA is the selection of the DMU whose efficiency is to be measured, i.e. the decision unit selection. It is necessary that the units, whose effectiveness is analyzed, are related to the same organizational unit (internal efficiency benchmarking), the same field or sector (competitive efficiency benchmarking), that is, care should be taken not to model mutually incomparable decision units. Only in certain special cases may decision units belong to different areas or sectors [6, 7]. Next, the efficiency of common business processes and activities for different areas or sectors within particular functional groups of organizations, such as administration, marketing, manufacturing, information links and the like, is measured and benchmarked (Functional efficiency benchmarking). We should pay particular attention to the market conditions under which the selected decision units operate and exercise their activities.

The second stage of the DEA is defining the input and output efficiency parameters of the selected units of decision. The parameters are defined on the basis experience, theory and practice in the given field, and depend on the specific business under consideration [8]. The parameters should be defined as representatively as possible, i.e. parameters that best present the activities and processes to which they relate. Good input and output parameters can represent all resources (material, personnel, financial and information) that the decision units are using, in a credible way, as any realized results of its operations [9]. If the parameters are not well-designed, this can lead to a superficial interpretation and to partially correct and incorrect conclusions about the efficiency of the observed unit of decision. Also, it is important that the values of the defined parameters are obtained from reliable sources and references, and remain uniform for all units that are compared.

In the third phase of efficiency calculation, an appropriate DEA model is selected, depending on the objectives and purposes of the research results [10]. A number of calculations related to the quantification of efficiency, contributing factors and the analysis results require that the

problem be defined by formulating and solving mathematical programming, with original or upgraded software for solving the DEA model [3]. The fourth stage is the materialization of the previous three, where the most important thing is to interpret the results correctly. The results of the DEA include: measuring the efficiency of the observed decision units, setting benchmarks for decision units that are inefficient, quantified parameters for reaching the limits of efficiency and other quantification in relation to comparing the efficiency of decision units.

This is the stage which defines potential opportunities to improve operations, and implement the defined and selected improvements. The main objective of this phase is to consolidate and strengthen the imperative of change. The researcher must be thoroughly familiar with the consequences and implications of the application possibilities related to business improvement and integration of the obtained findings and knowledge in the organization. This phase allows the adoption of strategic and management decisions and establishment of priorities in solving problems [8, 11, 12]. The results and detailed analysis of the results provide many opportunities for decision makers to improve operations at least to the limits of efficiency. Optimization of choice by application of fuzzy logic in practice has been applied in [13, 14, 15].

## DEA application on the PPT network in the city of Nis

The city of Nis, with 250.518 inhabitants according to 2002 census is the second largest urban area in Serbia by population, following the Serbian capital, Belgrade. It is a modern university city, and the natural, social, economic, educational, healthcare, cultural and sport centre of south eastern Serbia.

The Network lines of the PPT in Nis are the consequence of the geographical position of the city and its structure. It has a distinct monocentric structure, and the eccentric location of the most attractive central zone is the main reason for the exceptional concentration of the origin terminals or passing stops for all lines in the system. This raises problems for the PPT network from the outset: a lack of infrastructure capacity and interaction with other modes of transport because of the enormous traffic pressure at the centre. On the other hand however, the elongated shape of the city, along the banks of Nisava River where the greatest concentrations of housing and businesses are, clearly indicates where the main corridor is, and where the greatest part of transportation system operation occurs, as a result of the strongest passenger flows.

The PPT network in Nis is shown in Figure 1, and has a total of 15 lines (Line 1, Line 2, Line 3, Line 5, Line 6, Line 7, Line 8, Line 9, Line 9A,

Line 10, Line 11, Line 12, Line 13, Line 34 and Line 38) with a total length of 113 kilometres. The network structure has six radial lines, 7 diametric and one circular line. The longest line is the circular one, line 34, which is 21 kilometres in length. The shortest lines are Line 7 and Line 11, each with a length of 3 kilometres.

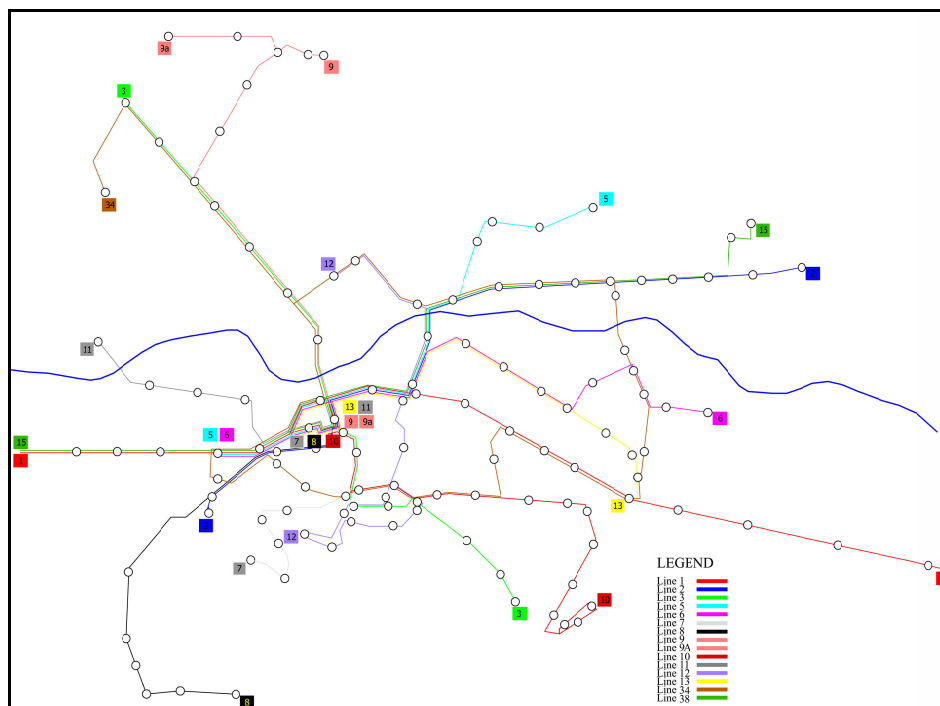


Figure 1 – Network of PPT lines in Nis

To assess the quality of the traffic network three input parameters (average length of lines (ALL), travel time (TT) and turnaround (T)) and three output parameters (frequency of vehicles (FV), average number of vehicles (ANV) and number of stops (NS)), were selected and are presented in table 1. All six parameters are basically quantified variables whose actual values are taken from the Directorate of Traffic of Nis in 2009.

The existing network has the following characteristics of transport service quality:

- The average length of the lines is 7.533 kilometres;
- The average transport time was 44.067 minutes;
- The average turnaround time is 58.667 minutes;
- The frequency of vehicles is 913 vehicles per day;
- The total number of deployed vehicles is 62 vehicles;
- The total number of stops is 242.

Quality parameters of the PPT network in the city of Nis  
(Department of Transportation, City of Nis, 2009)

Table 1

| <b>PPT network lines</b> | <b>ALL</b> | <b>TT</b> | <b>T</b> | <b>FV</b> | <b>ANV</b> | <b>NS</b> |
|--------------------------|------------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|
| Line 1                   | 17         | 62        | 78       | 193       | 13         | 26        |
| Line 2                   | 7          | 53        | 69       | 138       | 9          | 18        |
| Line 3                   | 7          | 47        | 51       | 57        | 3          | 15        |
| Line 5                   | 5          | 38        | 62       | 72        | 4          | 12        |
| Line 6                   | 6          | 45        | 58       | 115       | 6          | 14        |
| Line 7                   | 3          | 21        | 30       | 16        | 1          | 9         |
| Line 8                   | 6          | 36        | 51       | 30        | 2          | 9         |
| Line 9                   | 5          | 34        | 47       | 35        | 3          | 11        |
| Line 9A                  | 5          | 36        | 46       | 30        | 3          | 11        |
| Line 10                  | 5          | 35        | 52       | 33        | 2          | 14        |
| Line 11                  | 3          | 28        | 30       | 20        | 1          | 7         |
| Line 12                  | 4          | 38        | 63       | 11        | 1          | 12        |
| Line 13                  | 4          | 37        | 54       | 84        | 4          | 11        |
| Line 34                  | 21         | 72        | 90       | 63        | 6          | 45        |
| Line 38                  | 15         | 79        | 99       | 16        | 4          | 28        |

## Measuring the existing quality of the PPT network and the proposal of an optimal network

The measurement of the quality of the traffic network was performed on the basis of input and output parameters, using the input-oriented CRS (Constant Returns to Scale) model.

$$\theta^* = \min \theta \quad (1)$$

with the constraints:

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

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

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

DMU<sub>0</sub> is one of the DMU's which are being tested, and  $x_{i0}$  and  $y_{r0}$  are the  $i$ -th input and the  $r$ -th output of DMU<sub>0</sub>. The DMU<sub>0</sub> is considered efficient if and only if the rating of efficiency  $\theta^* = 1$  and the benchmarks  $\lambda_j = 0$  for every  $j$ , except DMU<sub>0</sub>, for which  $\lambda = 1$  [16, 17].

Quality Scores of network lines using DEA Excel Solver are given in Table 2.

Table 2

Results of Model 1: Quality Scores of PPT network lines in the city of Nis

| <b>Input Oriented CRS</b> |                 |                   |                   |         |       |        |       |         |
|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------|-------|--------|-------|---------|
| <b>DMU No.</b>            | <b>DMU Name</b> | <b>Efficiency</b> | <b>Benchmarks</b> |         |       |        |       |         |
| 1                         | Line 1          | 1.00000           | 1.000             | Line 1  |       |        |       |         |
| 2                         | Line 2          | 1.00000           | 1.000             | Line 2  |       |        |       |         |
| 3                         | Line 3          | 0.90524           | 0.303             | Line 2  | 0.528 | Line 7 | 0.106 | Line 34 |
| 4                         | Line 5          | 0.87891           | 0.480             | Line 2  | 0.317 | Line 7 | 0.011 | Line 34 |
| 5                         | Line 6          | 0.98848           | 0.016             | Line 1  | 0.811 | Line 2 |       |         |
| 6                         | Line 7          | 1.00000           | 1.000             | Line 7  |       |        |       |         |
| 7                         | Line 8          | 0.57836           | 0.140             | Line 2  | 0.485 | Line 7 | 0.047 | Line 34 |
| 8                         | Line 9          | 0.90864           | 0.254             | Line 2  | 0.714 | Line 7 |       |         |
| 9                         | Line 9A         | 0.81569           | 0.249             | Line 2  | 0.564 | Line 7 | 0.032 | Line 34 |
| 10                        | Line 10         | 0.98654           | 0.077             | Line 2  | 1.403 | Line 7 |       |         |
| 11                        | Line 11         | 0.77573           | 0.074             | Line 2  | 0.530 | Line 7 | 0.020 | Line 34 |
| 12                        | Line 12         | 0.99805           | 1.333             | Line 7  |       |        |       |         |
| 13                        | Line 13         | 0.98561           | 0.608             | Line 2  | 0.006 | Line 7 |       |         |
| 14                        | Line 34         | 1.00000           | 1.000             | Line 34 |       |        |       |         |
| 15                        | Line 38         | 0.76750           | 0.083             | Line 2  | 1.409 | Line 7 | 0.307 | Line 34 |

The result of Model 1 shows that four lines: Lines 1, 2, 7 and 34 exhibit effective existing quality (consistent quality), or meet the necessary and sufficient condition for efficiency because their efficiency scores and self benchmark are equal to one, while all other benchmarks,  $\lambda_j = 0$  for all  $j = 1, 2, 3, \dots, 15$ . The remaining 11 lines: 3, 5, 6, 8, 9, 9A, 10, 11, 12, 13 and 38 exhibit inefficient existing quality. This means that these lines are of lower quality than Lines 1, 2, 7 and 34. Acceptable benchmarks were obtained for these 11 lines. They suggest that for the inefficient lines: Line 3 ( $\lambda_7 > \lambda_2 > \lambda_{34}$ ), Line 8 ( $\lambda_7 > \lambda_2 > \lambda_{34}$ ), line 9 ( $\lambda_7 > \lambda_2 > \lambda_{34}$ ), Line 9A ( $\lambda_7 > \lambda_2 > \lambda_{34}$ ), Line 10 ( $\lambda_7 > \lambda_2$ ), Line 11 ( $\lambda_7 > \lambda_2 > \lambda_{34}$ ), Line 12 ( $\lambda_7$ ) and Line 38 ( $\lambda_7 > \lambda_{34} > \lambda_2$ ), the acceptable benchmark is Line 7, for Line 5 ( $\lambda_2 > \lambda_7 > \lambda_{34}$ ), Line 6 ( $\lambda_2 > \lambda_1$ ) and Line 13 ( $\lambda_2 > \lambda_7$ ) the most appropriate benchmark is Line 2. So, in addition to the Quality Score for

each line separately, Model 1 also identified the most appropriate benchmarks for the inefficient lines. The most appropriate benchmarks are essentially good examples of what quality level the inefficient lines should progress to, for the quality of the entire network of lines to be uniform. The result of Model 1 shows that the PPT network in Nis is of uneven quality, and that as many as 11 lines out of 15 are in need of improvement. To answer the question of what should be changed on the inefficient lines and how they could improve quality and achieve the quality of their most appropriate respective benchmark, the slacks-based model was used.

$$\max \left( \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{i=1}^s S_i^+ \right) \quad (5)$$

with the constraints:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- \leq \theta^* x_{i0}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, 2, 3, \dots, s \quad (7)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (8)$$

Using the slacks-based model we can determine the input slacks  $s^-$  (or by how much to reduce the input parameters, i.e. to rationalize) and the output slacks  $s^+$  (the level of growth in the output parameters of efficiency as a result of the rationalization undertaken, i.e. the level of real increase in the results) for the inefficient DMU's, so that the best benchmark for each can be determined [18, 19, 20].

The input and output slacks, also using DEA Excel Solver, are given in Table 3 and 4.

The results of Model 2 are the limits for input and output of inefficient lines on the network. Specifically, the result shows how inefficient lines or lines of lower quality can reach the quality of their most acceptable standards. For example, Line 5 should reduce its turnaround time by 13 minutes, and increase the frequency of vehicles to 27 vehicles a day, increase the average number of vehicles by two, and insert one additional stop.

Similarly, in the case of line 12, it should reduce the transport time by 9 minutes and the turnaround time by 23 minutes, and increase the frequency of vehicles by 12 vehicles per day.



CRS Results: Margins of PPT network lines input

Table 3

| DMU No. | DMU Name | Input slacks |          |         |
|---------|----------|--------------|----------|---------|
|         |          | ALL (km)     | TT (min) | T (min) |
| 1       | Line 1   | 0            | 0        | 0       |
| 2       | Line 2   | 0            | 0        | 0       |
| 3       | Line 3   | 0            | 7        | 0       |
| 4       | Line 5   | 0            | 0        | 13      |
| 5       | Line 6   | 0            | 0        | 0       |
| 6       | Line 7   | 0            | 0        | 0       |
| 7       | Line 8   | 0            | 0        | 4       |
| 8       | Line 9   | 0            | 1        | 4       |
| 9       | Line 9A  | 0            | 1        | 0       |
| 10      | Line 10  | 0            | 0        | 4       |
| 11      | Line 11  | 0            | 6        | 0       |
| 12      | Line 12  | 0            | 9        | 23      |
| 13      | Line 13  | 0            | 4        | 11      |
| 14      | Line 34  | 0            | 0        | 0       |
| 15      | Line 38  | 0            | 2        | 0       |

CRS Results: Margins of PPT network lines input and output

Table 4

| DMU No. | DMU Name | Output slacks        |     |    |
|---------|----------|----------------------|-----|----|
|         |          | FV<br>(vehicles/day) | ANV | NS |
| 1       | Line 1   | 0                    | 0   | 0  |
| 2       | Line 2   | 0                    | 0   | 0  |
| 3       | Line 3   | 44                   | 4   | 0  |
| 4       | Line 5   | 27                   | 2   | 1  |
| 5       | Line 6   | 1                    | 2   | 1  |
| 6       | Line 7   | 0                    | 0   | 0  |
| 7       | Line 8   | 69                   | 5   | 4  |
| 8       | Line 9   | 52                   | 3   | 0  |
| 9       | Line 9A  | 63                   | 3   | 1  |
| 10      | Line 10  | 10                   | 1   | 0  |
| 11      | Line 11  | 41                   | 3   | 1  |
| 12      | Line 12  | 12                   | 0   | 0  |
| 13      | Line 13  | 2                    | 2   | 0  |
| 14      | Line 34  | 0                    | 0   | 0  |
| 15      | Line 38  | 203                  | 10  | 1  |

The necessary changes in other inefficient lines are determined accordingly, which means the optimum parameters of the quality of the

traffic network, shown in Table 5, could be determined on the basis of model 2 results.

Table 5  
Optimal quality parameters of PPT network lines in the city of Nis

| <b>PPT net-<br/>work<br/>lines</b> | <b>Efficient Input Target</b> |                 |                    | <b>Efficient Output Target</b> |            |           |
|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|------------|-----------|
|                                    | <b>ALL<br/>(km)</b>           | <b>TT (min)</b> | <b>T<br/>(min)</b> | <b>FV<br/>(vehicles/day)</b>   | <b>ANV</b> | <b>NS</b> |
| Line 1                             | 17                            | 62              | 78                 | 193                            | 13         | 26        |
| Line 2                             | 7                             | 53              | 69                 | 138                            | 9          | 18        |
| Line 3                             | 7                             | 40              | 51                 | 101                            | 7          | 15        |
| Line 5                             | 5                             | 38              | 49                 | 99                             | 6          | 13        |
| Line 6                             | 6                             | 44              | 58                 | 116                            | 8          | 15        |
| Line 7                             | 3                             | 21              | 30                 | 16                             | 1          | 9         |
| Line 8                             | 6                             | 36              | 47                 | 99                             | 7          | 13        |
| Line 9                             | 5                             | 34              | 44                 | 87                             | 6          | 11        |
| Line 9A                            | 5                             | 35              | 46                 | 93                             | 6          | 12        |
| Line 10                            | 5                             | 35              | 49                 | 43                             | 3          | 14        |
| Line 11                            | 3                             | 23              | 30                 | 61                             | 4          | 8         |
| Line 12                            | 4                             | 28              | 40                 | 23                             | 1          | 12        |
| Line 13                            | 4                             | 33              | 43                 | 86                             | 6          | 11        |
| Line 34                            | 21                            | 71              | 90                 | 63                             | 6          | 45        |
| Line 38                            | 15                            | 78              | 99                 | 219                            | 14         | 29        |

The optimum quality parameters of the network lines defined in the previous table establish uniform quality across the entire network of lines, and show how it is possible to define a network where each line has a uniform quality. The proposed network has the following characteristics of quality:

- The average length of the lines is 7.533 kilometres;
- The average travel time is 42.067 minutes;
- The average turnaround time is 54.867 minutes;
- The average frequency of vehicles is 1437 vehicles per day;
- The total number of deployed vehicles is 97 vehicles;
- The total number of stops is 251.

Compared to the existing network, the proposed network has the following characteristics: The average transport time is 2 min shorter, the average turnaround time is shorter by 3.8 minutes, the frequency of vehicles is increased by 524 vehicles per day, the total number of operating vehicles is increased by 35 and the total number of positions increased by 9. Compared to the existing network, in addition to the total number of positions it is of the utmost importance to increase the number of vehicles involved by 35, which will reduce the average time of travel and the average turnaround ti-

me by 2 minutes, and 3.8 minutes, respectively. This reduction will be higher when considering single lines such as Line 12 in which case the reduction will be 9 and 23 minutes, respectively.

## Total cost of PTT system and the correcting model for basic transport prices

The total cost of a public passenger transport system is a function of:  
Wages of employees (calculated on the basis of norms of employees by professions and occupations, and the current amount of earnings by title);

- Vehicle depreciation (calculated on the basis of annual depreciation of vehicles which is 0.2 € per km);
- Depreciation of space for storage and maintenance of vehicles (based on m<sup>2</sup>/vehicle norms);
- The remaining costs, which include: maintenance of facilities for storage and parking of vehicles, property insurance, property taxes, utilities, office supplies and other minor costs (calculated on the basis of existing legislation);
- Regular service of vehicles at a particular mileage, as recommended by the manufacturer;
- Regular vehicle maintenance (calculated on the basis of recommendations by the manufacturer);
- The cost of fuel consumption (calculated on the basis of fuel prices and average consumption per 100 kilometres, given by manufacturer);
- The cost of vehicle and passengers insurance, and registration costs (calculated from the price list of insurance companies and relevant government bodies), and
- The cost of tire wear (calculated from the price list of tire manufacturers).

The required total operation costs for the proposed optimal route network were calculated based on the length of the line, the planned number of operating vehicles, number of turns per schedule for each line, realized annual mileage of vehicles, according to the timetable and calculated average unit price of € 1.249 / km. For each line, the operating elements, that is, line length, number of vehicles that operate on them according to the characteristic periods of time during the day, the total number of turns and total annual mileage by the timetable, are known. Knowing the total number of vehicle miles for each line determines the total cost of the lines, which are presented in Table 6. The total cost of running the PPT system represents the sum of total cost by lines, and amounts to € 8,601,950 per annum.

The PPT system generates revenue from fees and sales of individual and season tickets and from the grants and subsidies from the city

budget. The optimal PPT system in Nis, with the proposed network of lines and current rates realized a total revenue of € 4,164,307.76, which is 48.41% of the required total cost. The remaining 51.59% of the required total cost should be covered from the budget of the city. This means that the unit cost of the PPT system in Nis, according to the proposed solution equals 1.333 €/km.

Generally speaking, PPT systems receive substantial subsidies and grants, so the running costs of the system are partially transferred to the administration at local, regional or state level, or combined levels in many cases and typically amount to 20 to 80%, with the shortfall made up from other sources.

Table 6

Total annual cost of PTT lines, in the city of Nis

| <i><b>City lines of the PPT system</b></i> | <i><b>Total annual cost of the line (EUR)</b></i> |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Line 1                                     | 1052580.00                                        |
| Line 2                                     | 1091644.65                                        |
| Line 3                                     | 322203.15                                         |
| Line 5                                     | 471615.60                                         |
| Line 6                                     | 725433.60                                         |
| Line 7                                     | 77962.35                                          |
| Line 8                                     | 494460.15                                         |
| Line 9                                     | 440769.75                                         |
| Line 9A                                    | 356405.25                                         |
| Line 10                                    | 804716.10                                         |
| Line 11                                    | 680310.75                                         |
| Line 12                                    | 479337.30                                         |
| Line 13                                    | 378388.50                                         |
| Line 34                                    | 1032983.25                                        |
| Line 38                                    | 193139.10                                         |

In most European cities significant budgetary resources – subsidies, are allocated to cover operating costs. The amount of these subsidies varies from state to state and from city to city, depending on the policy the administration is applying in relation to financial capability, the standard of living and the policy of giving priority to certain kinds of transport (individual, public, etc.). Subsidies of 50% to 60% are not uncommon in many countries, while in Serbia they range from 15% to 55% for individual cities in which a permanent mechanism for subsidies and grants has been introduced. It is important to point out that in European cities subsidies are given in situations where, in addition to light rail there is a bus subsystem. In addition to

subsidies to cover operating costs, significant subsidies for capital investment are made in most European cities. They are used for fleet renewal, revitalization of existing and new infrastructure and the introduction and construction of new sub-systems of public transport. The question remains, how to alter the basic fare, which, on average, works out at € 1.333 / km for the PPT system in the city of Nis. This means that the city of Nis, i.e. its Administration of Transportation pays 1.333/km to the carriers engaged in public transportation in this city. This price remains the same until there is a change of parameters that affect it – a change in fuel prices and economic indicators for example. This means that the basic price is monitored and adjusted to a new price according to the following model:

$$NP = BP \times \left( 0.2543 \times \frac{VE_{mercd}}{VE_{meis}} + 0.1102 \times IP + 0.3358 \times \frac{GS_{cd}}{GS_{is}} + 0.2997 \times \frac{PF_{cd}}{PF_{is}} \right)$$

Where:

NP – is the new price (at the time of adoption it becomes BP);

BP – basic price;

0.2543 – part of the basic price which is influenced by changes in the Middle EUR exchange rate;

$VE_{mercd}$  – value of the EUR middle exchange rate of the control day (at the time of adoption NP becomes  $VE_{meis}$ );

$VE_{meis}$  – value of the EUR middle exchange rate of the initial state;

0.1102 – part of the basic price which is influenced by changes in retail prices;

IP – increase in the value of the initial state of retail prices (1.00) to the moment of control (at the time of adoption OC becomes 1.00);

0.3358 – part of the basic price which is influenced by changes in gross salary, in the industry;

$GS_{cd}$  – value of the gross salary on the control day (the last published at the time of adoption NP becomes  $GS_{is}$ );

$GS_{is}$  – gross salary of the initial state (last published);

0.2997 – part of the basic price which is influenced by changes in fuel prices;

$PF_{cd}$  – fuel prices on the control day (at the time of adoption NC becomes  $PF_{is}$ );

$PF_{is}$  – fuel prices of the initial state.

The level of price should be checked on the last working day of the month. If the parameters have not caused a change (individually or collectively) greater than 3% compared to  $BP$ , it remains valid until the

next control, and if the conditions change those prices, this becomes effective from the following month. In exceptional cases, if there is a significant change in fuel prices, the control can be made on the day of the change, and its impact, along with other parameters known to this day, should be analyzed. The numbers obtained experimentally for the current state of the economy in the city of Nis, which are: 0.2543, 0.1102, 0.3358 and 0.2997, stand as indications how the average EUR rate, the changes in retail prices, changes in gross salary in the economy, and changes in fuel prices, affect the correction of the transport price.

## Conclusion

DEA methods of operational research in the transport sector are increasingly used for comparative analyses of entity efficiency (DMU), which work under similar conditions and using the same types of inputs to produce the same kind of output. Specifically, the lines in the network can be viewed as DMU's that achieve a certain level of efficiency, in this case the quality viewed from the perspective of users. The set of all DMU's, or lines, make up the route network of the public passenger transport system.

Evaluation of the lines quality on the PPT network lines using DEA is acceptable because it simultaneously takes into account multiple inputs and multiple outputs and objectively assesses the quality of each line on the network. Lines of lower quality are identified on the basis of the calculated values of the efficiency indexes, and the most appropriate benchmarks as a good example of the quality level these lines should have if the quality of the entire network is to be constant. DEA also provides efficient input / output levels for each inefficient unit which would make it more efficient. In this way the optimal parameters of the line quality of each line are individually defined.

These optimal parameters show how inefficient lines, or those of lower quality can reach the quality of the most acceptable standards, i.e. they show how it is possible to correct the existing network lines to produce a network that will have a uniform quality for each line. Successful implementation of this methodology with real results that can be used at the strategic and operational levels of decision-making in cities certainly depends on the quality of input data and an agreed selection of input and output parameters used in the calculations. In addition to calculations related to quality, a further step can be made with calculations of the required total cost for the proposed network of lines, obtained with the CRS and Slack-based models, determining the necessary subsidies to cover the total costs and ways of correcting the basic cost of transport.

## References

- [1] Farrell, M. J., The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, pp. 253-281, 1957.
- [2] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2 (6), pp. 429-444, 1978.
- [3] Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K., *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [4] Cook, D., Zhu, J., *Modeling Performance Measurement: Applications and Implementation Issues in DEA*, New York, Springer, 2005.
- [5] Ali, A.I., Lerne, C.S., Components of efficiency evaluation in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 80 (3), pp. 462-73, 1995.
- [6] Wei, Q. L., Sun, B., Xiao, Z. J., Measuring Technical Progress With Data Envelopment Analysis, *European Journal of Operational Research*, 80 (3), pp. 691-702, 1995.
- [7] Bhutta, K. S., Huq, F., Benchmarking – best practices: an integrated approach, *Benchmarking, An International Journal*, 6 (3), pp. 254-268, 1999.
- [8] Thanassoulis, E., *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [9] Seiford, L. M., Zhu, J., An acceptance system decision rule with data envelopment analysis, *Computers and Operations Research*, 25 (4), pp. 329-332, 1998.
- [10] Liang, L., Wu, J., Cook, W. D., Zhu, J., Alternative secondary goals in DEA cross efficiency evaluation, *International Journal of Production Economics*, 113 (2), pp. 1025-1030, 2008.
- [11] Sherman, D., Zhu, J., *Service Productivity Management: Improving service performance using data envelopment analysis (DEA)*, Boston, Springer, 2006.
- [12] Cakić, A., Clarification of a term transport chain, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, Vol. 58, No. 1, pp. 113-128, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade, 2010.
- [13] Pamučar, D., Using fuzzy logic and neural networks during decision making proces in transport, *Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik*, Vol. 58, No. 3, pp 125-143, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade, 2010.
- [14] Božanić, D., Pamučar, D., Evaluating locations for river crossing using fuzzy logic, *Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik*, Vol. 58, No. 1, pp. 129-145, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade, 2010.
- [15] Đorović, B., Ljubojević, S., Dimić, S., Optimizing transportation processes using the route model, *Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik*, Vol. 53, No. 1, pp. 76-85, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Belgrade, 2005.
- [16] Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, Y., Seiford, L.M., *Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications*, Kluwer Academic Publish, Boston, 1994.
- [17] Zhu, J., *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA excel solver*, Boston, Kluwer Academic Publishers, 2003.

- [18] Tone, K., A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment *European Journal of Operational Research*, 143 (1), pp. 32-41, 2002.
- [19] Tone, K., Tsutsui, M., Network DEA: A slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197 (1), pp. 243-252, 2009.
- [20] Du, J., Liang, L., Zhu, J., A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis: A Comment, *European Journal of Operational Research*, 204 (3), pp. 694-697, 2010.

#### PRIMENA DEA METODOLOGIJE U PROCESU KONTROLE I MERENJA KVALITETA MREŽE LINIJA JAVNOG GRADSKOG PREVOZA PUTNIKA

OBLAST: matematika, operaciona istraživanja  
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

##### Sažetak:

DEA pristup omogućava da se matematičkim programiranjem implicitno procenjuje odnos većeg broja ulaznih i izlaznih parametara uspešnosti. Analitički proces koji je razvijen na bazi DEA metodologije koristi ulazno-izlazne parametre i predstavlja pogodan alat za kvantifikaciju efikasnosti sistema javnog prevoza putnika i praktičnu identifikaciju optimalnih rešenja. Rad prikazuje na koji način DEA metodologija može da se primeni u procesu kontrole kvaliteta javnog prevoza putnika (JPP). Mreže linija JPP posmatraju se kao Decision Making Units (DMU) koje poseduju određeni nivo kvaliteta usluge, a definišu korisnici usluge, odnosno putnici. DEA metodologija korišćena je radi definisanja optimalnih parametara kvaliteta usluge i definisanja ukupne cene koštanja postojeće mreže linija JPP-a. Na kraju, u radu je predložena optimizacija mreže linija JPP-a.

##### Uvod

Značaj i uloga prevoza putnika je nezamenjiva funkcija u životu svih građana, privrede i svih aktivnosti u gradu. Kvalitet prevozne usluge ovog sistema utiče na efikasnost svih proizvodnih, pratećih procesa i drugih aktivnosti ljudi u gradu. Uloga lokalnih vlasti u ovim procesima je ključna, jer one moraju da stvore uslove za dugoročan stabilan sistem prevoza putnika. Pored toga, treba omogućiti da se sistem razvija u kontrolisanim uslovima, a koji će realizovati zahtevani kvalitet kao jedini pravi pokazatelj njegove uspešnosti.

Naime, delatnost javnog gradskog i prigradskog prevoza putnika nije profitabilna, jer nema standardne ekonomske karakteristike, pre svega zbog činjenice da se radi o javnoj usluzi. Navedena konstatacija odnosi se na slučaj obavljanja ove funkcije od strane javnih preduzeća



koja su u vlasništvu lokalnih ili regionalnih vlasti, pošto posluju u okruženju nepostojanja standardnih principa slobodnog tržišta (ograničenje cena prevoza, povlašćene cene prevoza za pojedine kategorije putnika, manji porast cena prevoza u odnosu na porast troškova poslovanja, itd.). U ovom slučaju, nedostajuća sredstva do nivoa cene koštanja – operativnih tekućih troškova poslovanja preduzeća (bez stvaranja uslova za ostvarivanje profita), kao i potrebnih finansijskih sredstava za razvoj (investicije) obezbeđuju se, pre svega, subvencijama države.

Generalno govoreći, u srpskim gradovima sistemi JGPP uživaju velike subvencije i dotacije, tako da se tekući troškovi funkcionisanja ovog sistema iz cene usluge pokrivaju sa 20 do 80%, a ostatak se obezbeđuje iz drugih izvora. Investicije se, po pravilu, pokrivaju iz sredstava lokalnih, regionalnih i centralnih vlasti kojima je interes da investicijama realizovani kvalitet približe i izjednače sa zahtevanim.

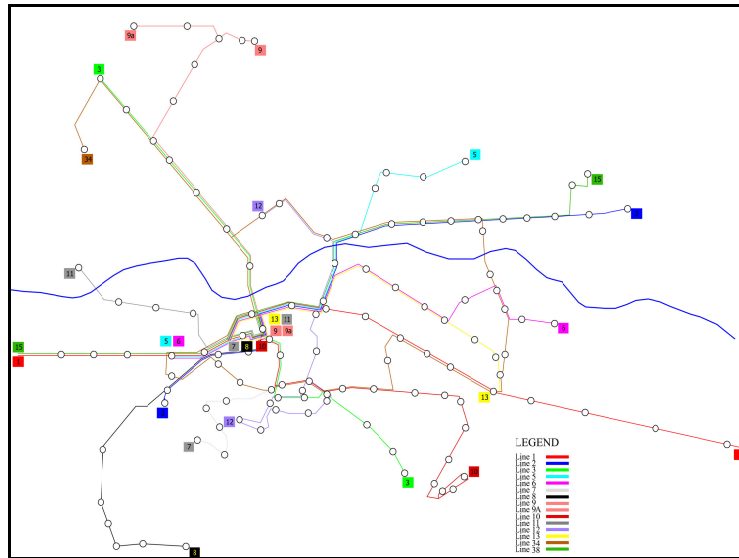
U radu je prikazana primena DEA metodologije u definisanju kvaliteta javnog gradskog prevoza putnika u Nišu.

#### DEA pristup i metodologija

Ideju merenja efikasnosti razvio je M. J. Farrell sredinom dvadesetog veka kada je koristio pristup neparametarske granice efikasnosti za merenje efikasnosti kao relativne udaljenosti od granice efikasnosti [1]. Ovo merilo, koje je u literaturi poznato kao empirijska ili relativna efikasnost, kasnije je posebno prošireno u radovima Charnesa, Coopera i Rhodessa [2]. Oni su ovu tehniku nazvali analizom obavljanja podataka ili DEA (engl. Data Envelopment Analysis). DEA omogućava da se meri efikasnost primenom stvarnih ulaznih i izlaznih parametara, pri čemu se pojam efikasnosti odnosi na empiričku ili relativnu efikasnost [3]. Ona ne zahteva poznavanje specifične funkcionalne forme među ulaznim i izlaznim parametrima, za razliku od drugih tradicionalnih statističkih pristupa. Prednost DEA je u mogućnosti razmatranja više ulaznih i izlaznih parametara koji su raznorodni (finansijski, tehnički, socijalni, itd.) i izražavaju se u različitim mernim jedinicama. Poslovne jedinice, njihove aktivnosti ili procesi u DEA terminologiji posmatraju se kao jedinice odlučivanja DMU (Decision Making Units), što je, u stvari, jedinica koja donosi poslovne odluke, a čiju efikasnost karakteriše skup ulaza i izlaza, odnosno njihova međuzavisnost.

#### Primena DEA metodologije u merenju kvaliteta javnog gradskog prevoza putnika u Nišu

Mreža javnog gradskog prevoza putnika u Nišu prikazana je na slici 1. Mreža ima ukupno 15 linija (linija 1, linija 2, linija 3, linija 5, linija 6, linija 7, linija 8, linija 9, linija 9A, linija 10, linija 11, linija 12, linija 13, linija 34 i linija 38) i ukupnu dužinu od 113 kilometara. Najduža je kružna linija 34, ukupne dužine od 21 kilometar. Najkraće su linije 7 i 11, duge po 3 kilometra.



Slika 1 – Mreža linija javnog prevoza putnika u Nišu

Radi merenja kvaliteta linija javnog prevoza putnika definisana su tri ulazna parametra (srednja dužina linija, vreme vožnje i vreme obrta) i tri izlazna parametra (frekvencija nailaska vozila, srednji broj vozila i broj stanica na liniji).

Merenje kvaliteta postojeće mreže prevoza putnika i definisanje parametara optimalne mreže

Merenje kvaliteta javnog gradskog prevoza putnika bazirano je na ulazno-izlaznim parametrima, koristeći ulazno orijentisan CRS (Constant Returns to Scale) model.

$$\theta^* = \min \theta \quad (1)$$

sa ograničenjima:

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

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

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

Sistem JGPP predstavlja jedan od sistema JGPP-ova koji se procenjuju, a  $x_{i0}$  i  $y_{r0}$  jesu i-ti ulaz i r-ti izlaz za JGPP, respektivno, pri čemu je sistem JGPP efikasan ako i samo ako je ocena fiksnosti  $\phi^* = 1$  i  $\lambda_j = 0$  za svako  $j$  osim za JGPP0 za koji je  $\lambda = 1$ .

Za ocenu pune efikasnosti izabran je Slack-based model koji meri efikasnost koristeći iste podatke i omogućava punu ocenu neefikasnim sistemima JGPP.

Rezultati merenja kvaliteta mreže linija primenom softvera DEA Excel Solver prikazani su u tabeli 2.

Ukupna cena JGPP i korekcija postojećeg modela

Ukupna cena JGPP je funkcija koja zavisi od određenih parametara. To su:

- plata zaposlenih radnika;
- amortizacije upotrebe vozila;
- amortizacije održavanja vozila;
- tekući troškovi koji obuhvataju: održavanje prostora za parkiranje vozila i skladištenje rezervnih delova, osiguranje vozila, takse, snabdevanje rezervnim delovima i ostali tekući troškovi;
- redovno održavanje vozila nakon pređene određene kilometraže koju je deklarirao proizvođač;
- redovno održavanje vozila;
- troškovi potrošnje pogonskih tečnosti;
- troškovi osiguranja vozila i putnika;
- troškovi registracije vozila i
- troškovi amortizacije pneumatika.

Zaključak

DEA je moderna metoda operacionih istraživanja koja se u sektoru transporta sve više koristi za komparativnu analizu efikasnosti entiteta (DMU) koji rade pod sličnim uslovima i koriste iste vrste ulaza da bi proizveli iste vrste izlaza. U slučaju ocene efikasnosti kvaliteta sistema JGPP-a, DEA metoda je prihvatljiva, jer istovremeno uzima u obzir više ulaza i više izlaza i objektivno ocenjuje relativnu efikasnost – na osnovu izračunate vrednosti indeksa efikasnosti deli DMU na relativno efikasne i relativno neefikasne.

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

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

Ključne reči: Data envelopment analysis, matematičko programiranje, kontrola kvaliteta, javni gradski prevoz putnika, optimizacija.

Datum prijema članka: 21. 09. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 22. 11. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 24. 11. 2011.

## SUBJEKTIVNI PRISTUP ODREĐIVANJU TEŽINA KRITERIJUMA

Milićević R. *Milić*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra logistike, Beograd,

Župac Ž. *Goran*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra menadžmenta u odbrani, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202048M

OBLAST: matematika, operaciona istraživanja

VRSTA ČLANKA: naučna kritika

### Sažetak:

*U radu je prikazan metod subjektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma. Ukratko su prikazane kompenzacione i nekompenzacione metode određivanja težina kriterijuma. Detaljnije je razrađeno određivanje težina kriterijuma primenom parnih poređenja i rangiranja. U poslednjem delu rada uklatko su navedeni mogući načini određivanja težina kriterijuma u grupnom okruženju.*

*Subjektivni pristup uključuje uticaj donosioca odluke na težine kriterijuma, a samim tim i na konačno rešenje višekriterijumskog problema. Za razliku od objektivnog pristupa neke metode subjektivnog pristupa ne zahtevaju postojanje matrice odlučivanja.*

*Osnovni cilj rada je sistematizovan prikaz mogućih načina određivanja težina kriterijuma od strane donosioca odluke ili više učesnika u procesu odlučivanja.*

*Ključne reči: težine kriterijuma, kompenzacione metode, nekompenzacione metode, metode prioritizacije, rangiranje kriterijuma, grupna težina kriterijuma.*

## Uvod

Subjektivni pristup zasnovan je na određivanju težina kriterijuma na osnovu informacije dobijene od donosioca odluke ili od eksperata uključenih u proces odlučivanja. Kod subjektivnog pristupa donosilac odluke ili eksperti daju svoje mišljenje o značaju kriterijuma za dati proces odlučivanja u skladu sa svojim sistemom preferentnosti. S obzirom na to da subjektivni pristupi odražavaju subjektivno mišljenje i intuiciju donosioca odluke, donosilac odluke utiče na rezultat procesa odlučivanja.

Postoji više metoda za određivanje težina kriterijuma zasnovanih na subjektivnom mišljenju donosioca odluke ili eksperata o važnosti kriterijuma za dati kontekst odlučivanja. Klasifikacija razvijenih metoda može biti

izvršena na više načina. Tako, na primer, metode se mogu razlikovati po broju učesnika u procesu određivanja težina, primenjenim teorijskim konceptima, načinu objedinjavanja individualnih težina kriterijuma i sl.

Po broju učesnika u procesu odlučivanja razlikuju se individualne i grupne metode određivanja težina kriterijuma. U individualnim metodama obično se vrednosti težina kriterijuma određuju na osnovu mišljenja donosioca odluke. Kod grupnih metoda u proces određivanja težina kriterijuma uključeno je više eksperata ili zainteresovanih strana, pri čemu se može organizovati grupni rad učesnika ili se težine određuju objedinjavanjem individualnih eksperatskih ocena vrednosti kriterijuma.

Na osnovu koncepta kompenzacije ili razmene između kriterijuma moguće je metode podeliti na kompenzacione i nekompenzacione. Bez obzira na to da li se radi o kompenzacionim ili nekompenzacionim metodama, najčešće su u određivanju težina kriterijuma primenjena parna poređenja ili rangiranje kriterijuma.

U radu će biti prikazane teorijski potpuno obrađene i praktično najčešće primenjivane metode određivanja težina kriterijuma.

## Kompenzacione metode određivanja težina kriterijuma

Kod kompenzacionih metoda se, pri određivanju težina kriterijuma, u obzir uzima celokupan raspon kriterijumskih vrednosti varijanti svakog pojedinačnog kriterijuma. Dobijene težine nemaju apsolutno značenje i ne odražavaju generalne vrednosti, već samo preference i prioritete u odnosu na razmatrane varijante.

Dodeljivanjem vrednosti težinama kriterijuma u kompenzacionim metodama donosilac odluke direktno određuje koliko jedinica jednog kriterijuma je spreman da izgubi sa ciljem da poveća vrednost drugog kriterijuma za jednu jedinicu. Ako je težina kriterijuma  $i$  duplo veća od težine kriterijuma  $j$ , tada donosilac odluke vrednuje 10 jedinica kriterijuma  $i$  isto kao i 20 jedinica kriterijuma  $j$ . Da bi donosilac odluke što jasnije izrazio svoju preferentnost putem nužne razmene između kriterijuma, težine su izražene u početnoj skali i uzimanjem u obzir apsolutnog nivoa performansi i apsolutne razlike vrednosti.

Najčešće korišćene kompenzacione metode su sledeće:

**Trade-off metoda** [1] – donosilac odluke poredi dve hipotetičke varijante koje se jedino razlikuju po dva kriterijuma. Ostali kriterijumi se zadržavaju na istom fiksnom nivou. Neka su  $x$  i  $y$  dve varijante, a indeksi 1 i 2 neka označavaju kriterijume. Donosilac odluke razmatra dve hipotetičke varijante sa parovima kriterijuma  $(x_1; x_2)$  i  $(y_1; y_2)$  i podešava jedan od kriterijuma dok varijante ne postanu jednako preferentne. Da bi izabrao koji će kriteri-

jum podešavati donosilac odluke mora poznavati rang kriterijuma ili mora znati koja od hipotetičkih varijanti je preferirana. To je potrebno zbog toga da bi se izbeglo da donosilac odluke menja vrednost kriterijuma izvan raspona kriterijuma utvrđenog na početku. Indiferentnost je data jednačinom:

$$w_1 v_1(x_1) + w_2 v_2(x_2) = w_1 v_1(y_1) + w_2 v_2(y_2) \quad (1)$$

gde su:  $w_1$  i  $w_2$  nepoznate težine kriterijuma.  $n-1$  jednačina indiferentnosti, poznate vrednosti  $v_i(\cdot)$  i uslov normalizacije daju  $n$  jednačina koje se koriste za dobijanje  $n$  težina. Potrebno je naglasiti da moraju biti poznate sve kriterijumske vrednosti varijanti  $v_i(\cdot)$ . Kod metode trade-off oblik funkcije koristi utiče na težinu kriterijuma.

Trade-off metoda je teško primenjiva na sve situacije odlučivanja pošto zahteva da kriterijumi budu mereni na kontinualnoj skali.

**Swing metoda** [2] – prvo se konstruišu dva ekstremna hipotetička scenarija W i B, od kojih je prvi (W) urađen na osnovu najlošijih vrednosti svih kriterijuma, a drugi scenario (B) odgovara najboljim vrednostima. Polazno stanje je scenario W. Donosilac odluke mora pažljivo da sagleda potencijalnu dobit od prelaska iz W u B i da odluči koji od kriterijuma će prvo pomeriti u scenario B. Podrazumevajući da je taj prvi prelaz vrednovan sa 100 jedinica na hipotetičkoj skali, donosilac odluke mora da dodeli vrednost ( $<100$ ) drugom kriterijumu koji se pomera u B, a zatim dodeljuje vrednost trećem i tako redom do poslednjeg kriterijuma koji prelazi u scenario B. Ako je drugi kriterijum koji se pomera u scenario B upola važan kao prvi kriterijum on dobija 50 poena. Na kraju se poeni dodeljeni kriterijumima normalizuju da bi se dobile težine kriterijuma. Svakom od  $n$  kriterijuma su dodeljeni poeni  $s_1, \dots, s_n$ . Odgovarajuća težina kriterijuma izračunava se na sledeći način:

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{k=1}^n s_k} \quad (2)$$

Swing metoda se odlikuje sledećim prednostima: jednostavnošću i transparentnošću otkrivanja preferentnosti; osetljivošću na uticaj razlike rangova; sposobnošću rešavanja problema bez obzira na broj kriterijuma i varijanti; izbegavanje direktnih pitanja razmene (trade-off).

**SMART metoda** [3] (the Simple Multi-Attribute Rating Technique) – pojednostavljuje višekriterijumski pristup rangiranju, uključujući proceduru određivanja težina kriterijuma koja se realizuje u dva koraka. Prvo, donosilac odluke rangira značaj promena kriterijuma od najlošije vrednosti kriterijuma do najbolje vrednosti. Drugo, on vrši procenu relativne važnosti svakog kriterijuma u odnosu na kriterijum koji je po značaju na poslednjem

mestu. Korak-dva obično počinje dodeljivanjem 10 bodova najmanje važnom kriterijumu. Ostalim kriterijumima se dodeljuje vrednost veća od 10. Rezultujuće težine normiraju se tako da njihova suma iznosi jedan.

Nova verzija metode pod nazivom SMARTER (SMART Exploiting Ranks) koristi rangove kriterijuma za određivanje težina kriterijuma. Obično se koristi metoda centroida rangova.

**Conjoint metoda** [4] – donosilac odluke rangira razmatrane varijante uzimajući u obzir njihove vrednosti za ceo skup kriterijuma. Ukupne preference se razlažu pomoću regresione analize da bi se dobile pojedinačne funkcije vrednosti i pripadajuće težine. Conjoint metoda određuje težine kriterijuma na direktan i holistički način. Potrebna uslov za primenu metode je postojanje velikog broja varijanti i kriterijuma da bi regresiona analiza mogla biti primenjena. Metoda je veoma prihvatljiva za donosioca odluke jer zahteva jednostavne informacije o preferentnosti. Pošto metoda ne primorava donosioca odluke na opreznost u pogledu preferencija u odnosu na kriterijume može se dogoditi da donosilac odluke ignoriše, pogrešno tumači ili razmatra kriterijume na inkonzistentan način, pa se dobijene težine ne mogu smatrati balansiranim.

**MACBETH** (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) [5] – procedura određivanja težina kriterijuma je samo jedan deo ove metode koja kao rezultat daje poredak varijanti na osnovu više kriterijuma. Težine kriterijuma se ne procenjuju direktno na osnovu relativne važnosti kriterijuma, već se razmatra raspon kriterijumskih vrednosti varijanti. Metoda objedinjava elemente metoda swing i trade off, uz neophodan test koherentnosti procedura. Težine se podudaraju sa trade off konceptom; donosilac odluke daje odgovor na pitanje koliko je spreman da prihvati smanjenje performansi po jednom kriterijumu da bi se postiglo povećanje po drugom. Posmatraju se najlošije vrednosti kriterijuma i procenjuje se da li je dobit u odnosu na performanse kriterijuma, koja se postiže pomeranjem od najlošijeg do najboljeg nivoa, veća ili manja od odgovarajuće dobiti koja bi se postigla za druge kriterijume.

## Nekompensacione metode određivanja težina kriterijuma

Suprotno od kompenzacionih metoda, u nekompensacionim metodama prikazuju se, uglavnom, globalne vrednosti važnosti kriterijuma i ne razmatra se uticaj obima specifičnog konteksta odlučivanja, što se podrazumeva pri konstrukciji parcijalnih relacija preferentnosti.

Najčešće korišćene nekompensacione metode su sledeće:

**Direktno dodeljivanje težina** [6] (Direct point allocation method) najjednostavnija je od svih metoda određivanja težina kriterijuma. Dono-

silac odluke raspodeljuje fiksni broj poena, bodova i sl., između kriterijuma. Obično je vrednost težina kriterijuma izražena u procentima, pa je ukupna suma vrednosti težina svih kriterijuma jednaka 100%. Najvažnijem kriterijumu dodeljuje se najveća vrednost težine.

**Proporcionalna metoda** [7] (Ratio or direct importance weighting method) sledeća je jednostavna metoda određivanja težina kriterijuma. Donosilac odluke prvo rangira sve kriterijume u skladu sa njihovim značajem. Na osnovu ranga kriterijuma donosilac odluke dodeljuje težinu svakom od kriterijuma. Najlošije rangirani kriterijum dobija težinu 10. Sledeći po redu (od kraja) kriterijum dobija težinu 20 i tako redom do najbolje rangiranog kriterijuma. Na kraju je potrebno izvršiti normalizaciju težina kriterijuma tako da je njihov zbir jednak 100. Razlika između težina kriterijuma ne mora biti uvek jednaka 10. Veličina razlike težina kriterijuma zavisi od subjektivnog mišljenja donosioca odluke i izražava razliku značaja kriterijuma. Rangiranje kriterijuma u prvom koraku pomaže da se dobiju preciznije vrednosti težina.

**Metoda otpora prema promenama** [8] (Resistance to change method) – poseduje elemente swing metode i metode parnih poređenja. Ona je sastavni deo nekih metoda višeg ranga (npr. ELECTRE). Svaki kriterijum ima dve suprotne strane performansi: poželjna i nepoželjna. Na početku se razmatraju poželjne strane svih kriterijuma. Donosilac odluke parno poredi sve kriterijume i bira koji od njih bi pomerio sa poželjne na nepoželjnu stranu. Za svaki kriterijum se računa ukupna frekvencija otpora prema promenama (koliko puta pri parnim poređenjima kriterijum nije izabran za promenu strane) što predstavlja ukupan rezultat tog kriterijuma. Na taj način se uspostavlja hijerarhija među kriterijumima.

## Određivanje težina kriterijuma primenom parnih poređenja

Određivanje težina kriterijuma metodom parnih poređenja zasniva se na parnom poređenju kriterijuma i proračunu težina primenom određene metode prioritizacije. Donosilac odluke poredi svaki kriterijum sa ostalim i određuje nivo preferentnosti za svaki par kriterijuma. Kao pomoć u određivanju veličine preferentnosti jednog kriterijuma u odnosu na drugi koristi se ordinalna skala. Jedna od najčešće korišćenih metoda je metoda analitičkih hijerarhijskih procesa (AHP).

Na osnovu parnih poređenja kriterijuma – potkriterijuma formira se matrica parnih poređenja iz koje je potrebno odrediti vektor prioriteta kriterijuma – potkriterijuma  $w$  (težine kriterijuma – potkriterijuma). Zbog inherentne nekonzistentnosti, vektor  $w$  je samo ocena stvarnog vektora prioriteta koji je nepoznat.



Matematički, matrica  $A$  predstavlja skup ocena parova:  $A=\{a_{ij}|i=1, \dots, n, j=1, \dots, n\}$ . Mogući skup vektora  $W$  može se definisati kao skup vektora prioriteta  $w$  koji zadovoljavaju normalizaciju i ograničenje pozitivnosti<sup>1</sup>:  $W=\{w|w>0, e^T w=1\}$  gde je  $e$   $n$ -komponentni jedinični vektor,  $e^T=(1, \dots, 1)$ .

Iz matrice  $A$  potrebno je identifikovati vektor  $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  koji najbolje ocenjuje koeficijente  $w_i/w_j$  na osnovu svih elemenata matrice. Ako se elementi vektora  $w$  normalizuju aditivnim metodom tako da je njihov zbir 1, konačne vrednosti će predstavljati relativne prioritete kriterijuma, a vektor  $w$  vektor prioriteta matrice  $A$  [9].

Metode za određivanje  $w$  iz date matrice poređenja  $A$  zajedničkim imenom se nazivaju prioritizacione metode i podeljene su u tri grupe: metode iz oblasti matricne algebre, metode jednokriterijumske optimizacije i metode dvokriterijumske optimizacije.

U radu će biti prikazane metode prioritizacije koje se najčešće primenjuju i čija je vrednost dokazana u praksi.<sup>2</sup>

**Metoda sopstvenih vrednosti** (Eigenvector Method – EV). Kao traženi vektor prioriteta  $w$  može se usvojiti vektor sopstvenih vrednosti matrice  $A$ . Da bi se odredio ovaj vektor, rešava se linearni sistem:  $Aw=\lambda w$ ,  $e^T w=1$  tako da se dobije maksimalna sopstvena vrednost matrice  $A$ . Ako je donosilac odluke konzistentan, tada je  $\lambda=n$ ; u suprotnom je  $\lambda>n$ . Maksimalna sopstvena vrednost za nekonzistentnu matricu može se oceniti uzastopnim kvadriranjem matrice, normalizovanjem suma elemenata po vrstama svaki put i prekidanjem procedure kada je razlika između normalizovanih suma u dva uzastopna računanja manja od očekivane vrednosti. Konzistentnost poređenja u parovima i kvalitet dobijenog rezultata proverava se izračunavanjem stepena konzistentnosti, a usvojena tolerantna vrednost ovog pokazatelja je 0,1.

**Metoda aditivne normalizacije** (Additive Normalization Method – AN). Da bi se dobio vektor prioriteta  $w$ , dovoljno je podeliti elemente kolone matrice  $A$  sumom elemenata te kolone (odnosno, normalizovati kolonu), zatim sabrati elemente i sumu dodati u svaku rezultujuću vrstu  $i$ , konačno, podeliti ovu sumu brojem elemenata te kolone. Ova procedura je opisana relacijama:

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a'_{ij} \quad (3)$$

<sup>1</sup> U radu će se pod skupom vektora  $W$  razmatrati samo vektori prioriteta kriterijuma – potkriterijuma.

<sup>2</sup> Opis metoda prioritizacije dat je na osnovu: Srđević B., Kolarov V.: *Varijantna AHP vrednovanja dispozicija crpnih stanica na slivnom području*. Vodoprivreda, 37, 203–214, 2005.

Metoda je jednostavna i često se primenjuje u praksi, iako može dovesti do narušavanja ranga elemenata u nekim specifičnim slučajevima.

**Logaritamska metoda najmanjih kvadrata** (The Logarithmic Least Squares Method – LLS). Definiše se jednokriterijumski problem:

$$\min D_L(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n [\ln a_{ij} - (\ln w_i - \ln w_j)]^2 \quad (4)$$

$$\prod_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

koji se rešava traženjem normalizovanog vektora  $w$  u domenu  $R^1$  polja pozitivnih realnih brojeva, pod uslovom da su sve komponente vektora  $w$  multiplikativno normalizovane. Metoda LLS je poznata i kao metoda geometrijske sredine zato što daje jedinstveno rešenje geometrijskim osrednjavanjem vrsta matrice  $A$ .

$$w_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}^{1/n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Ovako dobijene vrednosti vektora prioriteta se normalizuju, tako da u zbiru daju 1.

**Metoda otežanih najmanjih kvadrata** (The Weighted Least Squares Method – WLS). Metoda WLS minimizira funkciju  $L_2$  euklidskog rastojanja, definisanu za elemente nepoznatog vektora prioriteta  $w$  i poznate ocene  $a_{ij}=w_i/w_j$  rešavanjem sledećeg ograničenog nelinearnog problema optimizacije:

$$\min z = w^T F w = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_i - a_{ij} w_j)^2 \quad (7)$$

uz uslov:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (8)$$

gde je matrica  $F=[f_{kj}]_{n \times n}$ , sa elementima:

$$\begin{aligned} f_{kk} &= n - 2 + \sum_{i=1}^n a_{ik}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \\ f_{kj} &= -(a_{kj} + a_{jk}), \quad k, j = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq j \end{aligned} \quad (9)$$

Matrica  $F$  je tzv. M-matrica[10], isključivo pozitivna ako za bilo koje  $i, j, k \in \{1, \dots, n\}$  postoji bar jedno  $a_{kj} \neq a_{ki} a_{ij}$ . Pretpostavlja se da je gornji problem rešiv, tako da se dobije da je  $w > 0$ , bez postavljanja ovog ograničenja. Navedeni model spada u klasu nelinearnih.

Uvođenjem Lagranžijana:  $L_1 = w^T F w + 2\lambda_1(e^T w - 1)$  i njegovim diferenciranjem po  $w$  i  $\lambda_1$ , dobija se sistem od  $(n+1)$  nehomogenih linearnih jednačina sa  $(n+1)$  nepoznatom, čijim se rešavanjem dobija:

$$w^* = \frac{F^{-1}e}{e^T F^{-1}e}, \quad \lambda_1^* = \frac{-1}{e^T F^{-1}e} \quad (10)$$

**Metoda fazi programiranja prioriteta**[11] (The Fuzzy Preference Programming Method – FPP). Polazi se od pretpostavke da, ukoliko je matrica  $A$  konzistentna, tada je  $a_{ij}w_j - w_i = 0$  za svako  $i, j = 1, 2, \dots, n, j > i$ , što se može predstaviti kao sistem  $m = n(n-1)/2$  linearnih jednačina:  $Rw = 0$ .

Ako je matrica  $A$  nekonzistentna, potrebno je naći takve vrednosti  $w$  da sistem jednačina bude približno zadovoljen, odnosno da je  $Rw \approx 0$ .

Sistem jednačina se u FPP geometrijski prikazuje kao presek fazi hiperlinija, a problem prioritizacije transformiše se u optimizacioni. Vrednosti prioriteta određuju se tako da odgovaraju tački sa najvišom merom preseka. Na ovaj način problem prioritizacije se svodi na problem fazi programiranja koji se lako rešava kao standardni linearni program:

$$\begin{aligned} \max \mu \\ \mu d_j^+ + R_j w &\leq d_j^+ \\ \mu d_j^- - R_j w &\leq d_j^-, \quad j = 1, 2, \dots, m \\ 0 &\leq \mu \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1, \quad w_i > 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Leva i desna granična vrednost  $d_j^-$  i  $d_j^+$  predstavljaju tolerantni interval aproksimacije skalarne (ne-fazi) jednakosti  $R_j w = 0$ . Vrednost prirodnog indeksa konzistentnosti,  $\mu$ , zavisi od graničnih vrednosti ( $d_j^-$  i  $d_j^+$ ).

## Određivanje težina kriterijuma primenom rangiranja

Određivanje težina kriterijuma je kognitivno zahtevan zadatak i u nekim slučajevima je donosiocu odluke mnogo lakše da, umesto dodeljivanja numeričkih vrednosti težinama kriterijuma, izvrši rangiranje kriterijuma (ili da izradi njihov poredak). Na osnovu rangova kriterijuma koje je odredio donosilac odluke moguće je proračunati težine kriterijuma.

Pri proračunu težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma posebno je značajno ustanoviti tip međuzavisnosti (funkcije) rang – težine. Nekoliko autora je dalo predlog specifičnih funkcija za dodeljivanje težina  $w_r$  za  $n$  kriterijuma sa rangovima  $r=1,2,\dots,n$ . U [12] i [13] objavljeni su rezultati empirijskih istraživanja po kojima je relacija rang – težina kriterijuma u osnovi linearna funkcija. U [12] je numeričkim eksperimentima pokazano postojanje teoretske pravolinijske zavisnosti između ranga i prosečne težine. Takođe je ustanovljeno da nagib linearne funkcije zavisi od broja rangiranih kriterijuma.

Tri funkcije rang – težina: recipročna, suma rangova (linearna) i eksponencijalna su predložene u literaturi [14]. Proračun težina kriterijuma na osnovu centroida rangova predložen je u literaturi [15]. Primena geometrijskog odnosa rang – težina sugerisana je u [16]. U [17] su razvijene funkcije za proračun težina na osnovu raspodele verovatnoća rangova (rank order distribution (ROD) weights), za različit broj kriterijuma. Polazeći od pretpostavke o postojanju univerzalne međuzavisnosti između ranga kriterijuma i prosečne težine kriterijuma u [18] empirijski je razvijena linearna funkcija rang – težina čiji nagib zavisi od broja kriterijuma. Takođe, podrazumeva se da se ta međuzavisnost može iskoristiti za kombinovanje pojedinačnih rangova u skup objedinjenih (agregiranih grupnih) težina kriterijuma kada je rangiranje kriterijuma izvršilo više eksperata.

Kod svih metoda se podrazumeva postojanje konzistentne povezanosti ranga i srednje težine kriterijuma, koja je nezavisna od konteksta problema. Formule po kojima se vrši proračun težina kriterijuma u navedenim metodama biće date u nastavku rada. U tabelama od 1 do 6<sup>3</sup> date su vrednosti težina kriterijuma proračunate metodama: linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera, inverznih težina, centroida rangova, sume rangova, geometrijskih težina i, na osnovu gustine raspodele, verovatnoća rangova za broj kriterijuma od 2 do 10.

#### **Metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera:**

$$w_r = 100 - s_n(r - 1) \quad (12)$$

gde je:  $w_r$  – težina,  $r$  – rang,  $s_n$  – apsolutna vrednost koeficijenta smera dobijena pomoću metode najmanjih kvadrata pri čemu je broj kriterijuma jednak  $n$ . Kod ove metode kriterijum sa rangom 1 ima težinu  $w_1=100$ . U [18] je empirijski određena vrednost:  $s_n=3.19514+37.75756/n$ . Vrednosti težina kriterijuma dobijene ovom metodom nalaze se u intervalu od 0 do 100. Aditivnom normalizacijom te vrednosti se svode na interval 0–1.

<sup>3</sup> Tabele od 2 do 5 preuzete su iz: Roberts, R., Goodwin, P., *Weight approximations in multi-attribute decision models*, Journal of Multicriteria Decision Analysis, 11, 291-303, 2002.

Tabela 1  
Table 1

Aditivno normalizovane vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom linearnih težina  
sa promenljivim koeficijentom smera  
Additive normalized linear weights with a variable slope

| Rang | Kriterijumi |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2           | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 1    | 0.5620      | 0.3958 | 0.3085 | 0.2548 | 0.2185 | 0.1924 | 0.1729 | 0.1577 | 0.1457 |
| 2    | 0.4380      | 0.3333 | 0.2695 | 0.2274 | 0.1978 | 0.1759 | 0.1592 | 0.1461 | 0.1355 |
| 3    |             | 0.2709 | 0.2305 | 0.2000 | 0.1770 | 0.1594 | 0.1455 | 0.1344 | 0.1254 |
| 4    |             |        | 0.1915 | 0.1726 | 0.1563 | 0.1429 | 0.1318 | 0.1228 | 0.1152 |
| 5    |             |        |        | 0.1452 | 0.1356 | 0.1263 | 0.1182 | 0.1111 | 0.1051 |
| 6    |             |        |        |        | 0.1148 | 0.1098 | 0.1045 | 0.0995 | 0.0949 |
| 7    |             |        |        |        |        | 0.0933 | 0.0908 | 0.0878 | 0.0848 |
| 8    |             |        |        |        |        |        | 0.0771 | 0.0761 | 0.0746 |
| 9    |             |        |        |        |        |        |        | 0.0645 | 0.0645 |
| 10   |             |        |        |        |        |        |        |        | 0.0543 |

**Metoda inverznih težina:**

$$w_r = \frac{\frac{1}{r}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{j}} \quad (13)$$

gde je r - rang, j=1,2,...,n kriterijumi.

Tabela 2  
Table 2

Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom inverznih težina  
Rank reciprocal weights

| Rang | Kriterijumi |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2           | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 1    | 0.6667      | 0.5455 | 0.4800 | 0.4379 | 0.4082 | 0.3857 | 0.3679 | 0.3535 | 0.3414 |
| 2    | 0.3333      | 0.2727 | 0.2400 | 0.2190 | 0.2041 | 0.1928 | 0.1840 | 0.1767 | 0.1707 |
| 3    |             | 0.1818 | 0.1600 | 0.1460 | 0.1361 | 0.1286 | 0.1226 | 0.1178 | 0.1138 |
| 4    |             |        | 0.1200 | 0.1095 | 0.1020 | 0.0964 | 0.0920 | 0.0884 | 0.0854 |
| 5    |             |        |        | 0.0876 | 0.0816 | 0.0771 | 0.0736 | 0.0707 | 0.0682 |
| 6    |             |        |        |        | 0.0680 | 0.0643 | 0.0613 | 0.0589 | 0.0569 |
| 7    |             |        |        |        |        | 0.0551 | 0.0525 | 0.0505 | 0.0488 |
| 8    |             |        |        |        |        |        | 0.0460 | 0.0442 | 0.0427 |
| 9    |             |        |        |        |        |        |        | 0.0393 | 0.0379 |
| 10   |             |        |        |        |        |        |        |        | 0.0341 |

**Metoda centroida rangova:**

$$w_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r}^n \frac{1}{j} \quad (14)$$

Tabela 3  
Table 3Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom centroida rangova  
Rank order centroid weights

| Rang | Kriterijumi |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2           | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 1    | 0.7500      | 0.6111 | 0.5208 | 0.4567 | 0.4083 | 0.3704 | 0.3397 | 0.3143 | 0.2929 |
| 2    | 0.2500      | 0.2778 | 0.2708 | 0.2567 | 0.2417 | 0.2276 | 0.2147 | 0.2032 | 0.1929 |
| 3    |             | 0.1111 | 0.1458 | 0.1567 | 0.1583 | 0.1561 | 0.1522 | 0.1477 | 0.1429 |
| 4    |             |        | 0.0625 | 0.0900 | 0.1028 | 0.1085 | 0.1106 | 0.1106 | 0.1096 |
| 5    |             |        |        | 0.0400 | 0.0611 | 0.0728 | 0.0793 | 0.0828 | 0.0846 |
| 6    |             |        |        |        | 0.0278 | 0.0442 | 0.0543 | 0.0606 | 0.0646 |
| 7    |             |        |        |        |        | 0.0204 | 0.0334 | 0.0421 | 0.0479 |
| 8    |             |        |        |        |        |        | 0.0156 | 0.0262 | 0.0336 |
| 9    |             |        |        |        |        |        |        | 0.0123 | 0.0211 |
| 10   |             |        |        |        |        |        |        |        | 0.0100 |

**Metoda sume rangova:**

$$w_r = \frac{2(n+1-r)}{n(n+1)} \quad (15)$$

Tabela 4  
Table 4Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom sume rangova  
Rank sum weights

| Rang | Kriterijumi |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2           | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 1    | 0.6667      | 0.5000 | 0.4000 | 0.3333 | 0.2857 | 0.2500 | 0.2222 | 0.2000 | 0.1818 |
| 2    | 0.3333      | 0.3333 | 0.3000 | 0.2667 | 0.2381 | 0.2143 | 0.1944 | 0.1778 | 0.1636 |
| 3    |             | 0.1667 | 0.2000 | 0.2000 | 0.1905 | 0.1786 | 0.1667 | 0.1556 | 0.1455 |
| 4    |             |        | 0.1000 | 0.1333 | 0.1429 | 0.1429 | 0.1389 | 0.1333 | 0.1273 |
| 5    |             |        |        | 0.0667 | 0.0952 | 0.1071 | 0.1111 | 0.1111 | 0.1091 |
| 6    |             |        |        |        | 0.0476 | 0.0714 | 0.0833 | 0.0889 | 0.0909 |
| 7    |             |        |        |        |        | 0.0357 | 0.0556 | 0.0667 | 0.0727 |
| 8    |             |        |        |        |        |        | 0.0278 | 0.0444 | 0.0545 |
| 9    |             |        |        |        |        |        |        | 0.0222 | 0.0364 |
| 10   |             |        |        |        |        |        |        |        | 0.0182 |

**Raspodela verovatnoća rangova** [17] – polazeći od pretpostavke da rangovi kriterijuma podležu ravnomernoj raspodeli verovatnoća za broj kriterijuma  $n=2$  do  $n=10$  razvijene su gustine raspodele verovatnoća normalizovanih težina i na osnovu njih izvršen proračun vrednosti težina kriterijuma (tabela 6). Ne ulazeći u šira teoretska razmatranja procedure proračuna teži-

na kriterijuma, jer se ona mogu naći u [17], kao primer navode se gustine raspodele verovatnoća normalizovanih težina za broj kriterijuma  $n=3$ :

– rang 1:

$$f_{w_1}(x) = \begin{cases} \frac{-1}{x^3} + \frac{3}{x^2}, & 1/3 \leq x \leq 1/2 \\ \frac{1}{x^3} - \frac{1}{x^2}, & 1/2 < x \leq 1 \\ 0 & 0 \leq x < 1/3 \end{cases} \quad (16)$$

– rang 2:

$$f_{w_2}(x) = \begin{cases} \frac{-1}{(x-1)^2} + \frac{1}{(2x-1)^2}, & 0 \leq x \leq 1/3 \\ \frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x-1)^2}, & 1/3 < x \leq 1/2 \\ 0 & 1/2 < x \leq 1 \end{cases} \quad (17)$$

– rang 3:

$$f_{w_3}(x) = \begin{cases} \frac{4}{(x-1)^2} - \frac{1}{(2x-1)^2}, & 0 \leq x \leq 1/3 \\ 0 & 1/3 < x \leq 1 \end{cases} \quad (18)$$

Tabela 5

Table 5

Vrednosti težina kriterijuma dobijene na osnovu gustine raspodele verovatnoća rangova  
Rank order distribution weights

| Rang | Kriterijumi |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2           | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
| 1    | 0.6932      | 0.5232 | 0.4180 | 0.3471 | 0.2966 | 0.2590 | 0.2292 | 0.2058 | 0.1867 |
| 2    | 0.3068      | 0.3240 | 0.2986 | 0.2686 | 0.2410 | 0.2174 | 0.1977 | 0.1808 | 0.1667 |
| 3    |             | 0.1528 | 0.1912 | 0.1955 | 0.1884 | 0.1781 | 0.1672 | 0.1565 | 0.1466 |
| 4    |             |        | 0.0922 | 0.1269 | 0.1387 | 0.1406 | 0.1375 | 0.1332 | 0.1271 |
| 5    |             |        |        | 0.0619 | 0.0908 | 0.1038 | 0.1084 | 0.1095 | 0.1081 |
| 6    |             |        |        |        | 0.0445 | 0.0679 | 0.0805 | 0.0867 | 0.0893 |
| 7    |             |        |        |        |        | 0.0334 | 0.0531 | 0.0644 | 0.0709 |
| 8    |             |        |        |        |        |        | 0.0263 | 0.0425 | 0.0527 |
| 9    |             |        |        |        |        |        |        | 0.0211 | 0.0349 |
| 10   |             |        |        |        |        |        |        |        | 0.0173 |

**Metoda geometrijskih težina:**

$$w_r = \frac{1}{(\sqrt{2})^{r-1}} \quad (19)$$

Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom geometrijskih težina ne zavise od broja kriterijuma. Aditivnom normalizacijom vrednosti težina kriterijuma svode se na interval 0–1.

Tabela 6  
Table 6

Vrednosti težina kriterijuma dobijene metodom geometrijskih težina  
Geometric weights

| Rang | Težine kriterijuma |               |
|------|--------------------|---------------|
|      | bez normalizacije  | normalizovane |
| 1    | 1.0000             | 0.3023        |
| 2    | 0.7071             | 0.2138        |
| 3    | 0.5000             | 0.1512        |
| 4    | 0.3536             | 0.1069        |
| 5    | 0.2500             | 0.0756        |
| 6    | 0.1768             | 0.0534        |
| 7    | 0.1250             | 0.0378        |
| 8    | 0.0884             | 0.0267        |
| 9    | 0.0625             | 0.0189        |
| 10   | 0.0442             | 0.0134        |

S obzirom na to da metode određivanja težina kriterijuma ispoljavaju veliki uticaj na vrednosti dobijenih težina kriterijuma i da ne postoji saglasnost o najboljoj metodi određivanja težina kriterijuma, to ne postoji način za direktno određivanje „istinitog“ skupa težina kriterijuma. Primenom metode rangiranja dobijaju se aproksimativne vrednosti „istinitog“ skupa težina kriterijuma.

U [17] se navodi da postoje jasni teorijski dokazi da težine dobijene metodom centroida rangova predstavljaju najbolju aproksimaciju težina koje se mogu dobiti metodom direktnog dodeljivanja težina. Takođe, težine određene na osnovu raspodele verovatnoća rangova najbolje odgovaraju težinama koje se mogu dobiti proporcionalnom metodom.

Vrednosti težina kriterijuma određenih na osnovu raspodele verovatnoća rangova skoro se poklapaju sa vrednostima težina dobijenih metodom sume rangova [17]. Kada je potrebno odrediti težina velikog broja kriterijuma uspešno se može primeniti metoda sume rangova, koja zahteva manje proračuna, a daje u potpunosti prihvatljive rezultate.

U [18] je dat pregled studija koje se bave poređenjem efikasnosti metoda određivanja težina kriterijuma primenom rangiranja i nekih nekompenzacionih metoda tog određivanja. U većini studija se navodi da se najbolji rezultati u određivanju težina kriterijuma na osnovu ranga kriterijuma dobijaju primenom metode centroida rangova (u uslovima direkt-



nog dodeljivanja težina kriterijuma). Međutim, u [17] autori ističu univerzalnost metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera i daju prednost njenoj primeni u odnosu na ostale metode određivanja težina na osnovu ranga kriterijuma.

## Određivanje težina kriterijuma metodama grupnog odlučivanja

Određivanje težina kriterijuma može biti realizovano i u grupnom kontekstu. Grupa može biti sastavljena od donosioca odluke i predstavnika zainteresovanih strana, odnosno interesnih grupa koji ostvaruju određeni interes u odnosu na rešavani problem. Donosilac odluke može, takođe, angažovati eksperte i to uglavnom izvan organizacije koja je zainteresovana da, kao međurezultat procesa odlučivanja, dobije vrednosti težina kriterijuma.

Grupne težine kriterijuma mogu se dobiti, u osnovi, na dva načina: metodama kolektivnog rada članova grupe i metodama dobijanja individualnog mišljenja članova grupe.

Metode kolektivnog rada članova grupe pretpostavljaju dobijanje uopštenog mišljenja u toku zajedničkog razmatranja rešavanog problema. U ovu grupu metoda spadaju, na primer, metoda komisije, „moždane oluje“ i metoda scenarija.

Metode dobijanja individualnog mišljenja članova grupe zasnovane su na prethodnom dobijanju informacija od članova grupe, ispitivanih nezavisno jedan od drugog, sa naknadnom obradom dobijenih podataka. U ove metode spadaju metode anketnog ispitivanja, intervju i metoda Delfi.

Grupne težine kriterijuma dobijaju se provođenjem određene procedure grupisanja (objedinjavanja) individualnih težina kriterijuma. Razlikuju se dva osnovna načina objedinjavanja: socijalni i matematički. Socijalni način podrazumeva dobijanje grupne težine još u procesu provođenja izabrane metode usaglašavanjem članova grupe. Saglasne težine kriterijuma mogu biti postignute interaktivnim radom članova grupe ili provođenjem metode Delfi. Matematički način podrazumeva primenu procedure agregacije individualnih težina kriterijuma.

Kada u procesu odlučivanja, a samim tim u određivanju težina kriterijuma, učestvuje više zainteresovanih strana ili interesnih grupa formiranje grupne težine kriterijuma nije jednostavno. Svaki učesnik u procesu odlučivanja ima svoj sistem preferentnosti, u skladu sa kojim dodeljuje težinske koeficijente kriterijumima, pa se, pored problema objedinjavanja pojedinačnih težina, pojavljuje problem različitih sistema preferentnosti i njihovog uključivanja u težine kriterijuma.

Moguće je izdvojiti tri osnovna pristupa određivanju težina kriterijuma u grupnom okruženju [19, 20].

1. Neoklasični pristup je zasnovan na ideji da se društvene preferentnosti mogu dobiti agregacijom individualnih preferentnosti. Ovaj pristup podrazumeva da su preference fiksne i nezavisne od socijalnih (društvenih) uslova. Grupne težine dobijaju se osrednjavanjem individualnih težina. To podrazumeva da je zadovoljenje individualnih preferenci jednako dobro i za pojedinca i za društvo. Objedinjavanje individualnih preferenci u grupne moguće je izvršiti korišćenjem geometrijske sredine. Međutim, nije uvek moguće postići konsenzus i može se pojaviti nekonzistentnost između grupne preference i neke individualne.

2. Drugi pristup zasniva se na ideji dogovorne demokratije. Društvene grupe i pojedinci uključeni u proces odlučivanja treba da se obavežu na jedan efektivan promišljen (dogovorani) proces pre donošenja odluke. Na taj način dogovor postaje izvor legitimnosti. Ljudi menjaju svoje pozicije i mišljenje u skladu sa konkretnim zahtevima konteksta rešavanog problema, putem interakcije sa ostalim učesnicima procesa odlučivanja razmenjujući informacije koje utiču na njihove osnovne vrednosti i pretpostavke. Kod većine ovakvih pristupa prvo se odrede individualne težine, a zatim se tokom grupne diskusije nastoji postići saglasnost o skupu težina koji će biti korišćen u daljem procesu odlučivanja.

3. Treći pristup može se nazvati alternativnim, jer se ne uklapa u prethodno navedene pristupe. Pristup koristi metodologiju tihog dogovora za dobijanje grupnog poretka kriterijuma. Učesnici u procesu odlučivanja rangiraju, u skladu sa svojim preferencama, kriterijume od najmanje do najviše važnog. Oni menjaju poredak kriterijuma, bez vođenja diskusije, dok se ne postigne jedan saglasan grupni poredak kriterijuma. Zatim učesnici daju svoje individualne preference koje služe za proveru korelacije individualnih shvatanja sa grupnim rezultatom.

Rešenje problema raznovrsnosti individualnih težina ne može biti postignuto prisilnim konsenzusom ili traganjem za idealnim algoritmom agregacije koji obezbeđuje jedinstveno optimalno rešenje. Potrebni su pristupi koji neće ignorisati postojanje društvene neuporedivosti (nemerljivosti) i koji će olakšati proces odlučivanja bez redukovanja problema težina traženjem jedne vrednosti ili postizanjem konsenzusa.

Metodologija određivanja težina kriterijuma koja kombinuje parna poređenje i proporcionalnu metodu određivanja težina kriterijuma sa dodatnom proverom konzistentnosti jedna je od mogućih metodologija određivanja težina kriterijuma koja uključuje preference zainteresovanih strana (interesnih grupa).

### *Primena metode Delfi za određivanje težina kriterijuma*

Delfi metoda je pouzdan način dobijanja mišljenja grupe eksperata o određenom problemu provođenjem nekoliko ciklusa ispitivanja putem upitnika. Proceduru metode karakterišu anonimnost, povratna veza i grupni odgovor.

Tokom realizacije procedure Delfi metode zadržana je anonimnost eksperata radi izbegavanja negativnog uticaja kritičizma inovativnosti i kreativnosti članova grupe. Realizacijom metode upravlja moderator koji ima nezavisnu komunikaciju sa članovima ekspertske grupe. On sastavlja upitnik na osnovu problema koji se rešava i šalje ga svim članovima grupe, a zatim prikuplja sve odgovore i komentare, obrađuje ih i ocenjuje. U postupku obrade dobijenih odgovora on odbacuje sve ono što je irelevantno za rešavani problem.

Obradeni odgovori se dostavljaju članovima ekspertske grupe. Eksperti mogu da komentarišu odgovore ostalih eksperata, a mogu ih iskoristiti kao korisnu informaciju za promenu svojih stavova i odgovora. Članovi grupe menjaju svoje mišljenje na osnovu novih informacija mnogo lakše nego prilikom otvorene diskusije ili nominalne grupne tehnike. Na taj način trebalo bi da se postigne konsenzus. Metoda, takođe, otkriva probleme oko kojih postoji neslaganje članova grupe ili neizvesnost u kvantitativnom smislu.

Primena Delfi metode za određivanje težina kriterijuma započinje razradom upitnika koji se dostavlja svim ekspertima. Od eksperata se zahteva da iskažu svoje preferencije u odnosu na svaki kriterijum, odnosno da daju ocenu relativnog značaja kriterijuma, uz uslov da ukupan zbir svih vrednosti, po svim kriterijumima bude 1 (100% iskazano u procentima).<sup>4</sup>

Delfi metoda vrši se sa izabranim skupom eksperata ( $E_1, E_2, \dots, E_m$ ) koji su međusobno anonimni u onoliko krugova koliko je potrebno da odstupanje u srednjim vrednostima težina svakog od kriterijuma bude zanemarljivo.

Nakon dobijenih odgovora iz prvog kruga od svih učesnika vrši se njihova obrada koja podrazumeva izračunavanje srednje vrednosti, standardne devijacije i koeficijenta varijacije za svaki od kriterijuma. Podaci se prikazuju u tabeli.

Tabela 7  
Table 7

Tabela za obradu rezultata metode Delfi  
Table for calculating the results of the Delphi method

| Kriterijumi | Eksperti |    |     |       | srednja vrednost | standardna devijacija | koeficijent varijacije |
|-------------|----------|----|-----|-------|------------------|-----------------------|------------------------|
|             | E1       | E2 | ... | $E_m$ |                  |                       |                        |
| K1          |          |    |     |       |                  |                       |                        |
| K2          |          |    |     |       |                  |                       |                        |
| ...         |          |    |     |       |                  |                       |                        |
| $K_n$       |          |    |     |       |                  |                       |                        |

<sup>4</sup> Primena metode Delfi urađena je na osnovu: Bukumirović M., Aleksandar Č., *Vrednovanje karakteristika infrastrukture poštanskih centara*. XXIII Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2005, Beograd, 315–324, 2005.

Postupak se ponavlja sve dok srednje vrednosti  $i+1$ -vog kruga ne pokažu neznatna odstupanja od srednjih vrednosti težinskih koeficijenata  $i$ -tog kruga (najčešće ne više od 5 krugova), odnosno dok srednja vrednost koeficijenta varijacije ne padne na zadovoljavajući nivo. Tada se može smatrati da je dobijen prihvatljiv stepen konsenzusa, čime se proces završava, a svaki od učesnika dobija konačne rezultate.

Delfi metoda može se modifikovati tako što eksperti ne započinju svoj rad sa belim papirom već im se daju početne težine kriterijuma. Početne težine kriterijuma mogu biti određene nekom objektivnom metodom ili dobijene kao rezultat rada grupe zainteresovanih strana ili neke druge ekspertske grupe.

### *Objedinjavanje individualnih težina kriterijuma*

#### *Objedinjavanje individualnih rangova kriterijuma*

Kada u procesu određivanja težina kriterijuma primenom rangiranja učestvuje više eksperata potrebno je njihove individualne rangove (ili težine) kriterijuma objediniti i formirati jedinstvene grupne težine kriterijuma.

Postoji više mogućih metoda agregacije individualnih težina kriterijuma koji su dobijeni od  $m$  eksperata. Izbor metoda agregacije individualnih težina kriterijuma trebalo bi prepustiti stručnjacima u oblasti operacionih istraživanja i teorije odlučivanja. Neke od mogućih metoda su sledeće [21]:

**1. Metoda aritmetičkog osrednjavanja:** za svaki kriterijum se prvo konvertuju individualni rangovi u individualne težine, a zatim se proračunava srednja težina svakog kriterijuma, uzimajući u obzir sve individualne težine. Metoda se sastoji od dva koraka:

a) za svakog eksperta  $i$  se konvertuje rang  $r_{ij}$  u individualnu težinu  $w_{ij}$  za svaki od  $n$  kriterijuma, npr. primenom metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera:<sup>5</sup>

$$w_{i,j} = 100 - s_n(r_{i,j} - 1) \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (20)$$

Umesto metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera moguće je primeniti metodu centroida rangova, metodu inverznih težina ili neku drugu metodu pretvaranja rangova u težine kriterijuma;

<sup>5</sup> U literaturi: Alfares H. K., *Combining criteria ranks for calculating their weights in group MCDM*. Systems Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 2007. se preferira korišćenje metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera. Takođe, mnogi autori smatraju da se najbolji rezultati postižu primenom centroida rangova.

b) agregirana težina za svaki od kriterijuma dobija se osrednjavanjem težina dobijenih od svih  $m$  eksperata:

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m w_{i,j}}{m} \quad j = 1, \dots, n \quad (21)$$

Redosled navedenih koraka može biti obrnut. Prvo se može izvršiti osrednjavanje individualnih rangova, a zatim izvršiti njihova konverzija u (agregirane) težine. U oba slučaja dobijaju se iste vrednosti težina rangova.

**2. Metoda geometrijskog osrednjavanja težina** slična je metodi aritmetičkog osrednjavanja. U prvom koraku vrši se konverzija individualnih rangova u individualne težine primenom neke od funkcija transformacije rangova u težine. Agregirane težine dobijaju se u drugom koraku, primenom geometrijskog osrednjavanja individualnih težina kriterijuma:

$$W_j = \sqrt[m]{w_{1,j} \times w_{2,j} \times \dots \times w_{m,j}} \quad j = 1, \dots, n \quad (22)$$

**3. Metoda geometrijskog osrednjavanja rangova:** u prvom koraku vrši se geometrijsko osrednjavanje individualnih rangova:

$$\bar{r}_j = \sqrt[m]{r_{1,j} \times r_{2,j} \times \dots \times r_{m,j}} \quad j = 1, \dots, n \quad (23)$$

U drugom koraku vrši se konverzija srednjeg ranga  $\bar{r}_j$  u agregiranu težinu kriterijuma  $W_j$  pomoću npr. metode linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera:

$$W_j = 100 - s_n (\bar{r}_j - 1) \quad j = 1, \dots, n \quad (24)$$

Ako su svi eksperti izvršili rangiranje istog skupa kriterijuma, preporučuje se primena metode aritmetičkog osrednjavanja. Ako su eksperti izvršili rangiranje različitih podskupova kriterijuma, preporučuje se primena metode geometrijskog osrednjavanja težina.

Agregacija individualnih rangova kriterijuma može biti izvršena primenom glasačkih metoda iz teorije društvenog izbora (odlučivanja) kao što su npr.: većinsko glasanje, sistem Hare, Borda, poređenje u parovima i odobreno glasanje.<sup>6</sup>

Grupni rangovi kriterijuma dobijeni metodama glasanja se zatim, primenom neke od funkcija transformacije rangova u težine, pretvaraju u težine kriterijuma.

<sup>6</sup> Više o glasačkim metodama može se videti npr. u: Srđević B., Srđević Z., Zoranović T., *Višekriterijumske i glasačke tehnike u individualnom i grupnom odlučivanju*. Savremena poljoprivreda. vol. 55, 5, 153–159, Novi Sad, 2006. i Srđević B., *Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management*. Decision Support Systems, 42, 2261–2273, 2007.

## *Objedinjavanje individualnih težina kriterijuma dobijenih metodom parnih poređenja*

Kada se za određivanje težina kriterijuma primenom parnih poređenja angažuje  $K$  eksperata procedura je sledeća:

- primenom izabrane prioritizacione metode proračunava se vektor težina kriterijuma  $w(k)$  za  $k$ -tog eksperta,
- grupne težine kriterijuma proračunavaju se geometrijskim osrednjavanjem individualnih težina kriterijuma:

$$w_i^G = \left[ \prod_{k=1}^K w_i(k) \right]^{1/K} \quad (25)$$

## **Zaključak**

Metode subjektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma zasnivaju se na proračunu težina kriterijuma na osnovu subjektivne ocene značaja kriterijuma koja je dobijena od donosioca odluke (ili eksperata). U procesu razvoja i usavršavanja metoda višekriterijumske analize razvijeno je više subjektivnih metoda određivanja težina kriterijuma čija se klasifikacija može izvršiti na više načina.

Kod kompenzacionih metoda donosilac odluke direktno određuje koliko jedinica jednog kriterijuma je spreman da izgubi kako bi povećao vrednost drugog kriterijuma za jednu jedinicu. Najčešće korišćene kompenzacione metode su: trade-off metoda, swing metoda, SMART metoda, conjoint metoda i metoda MACBETH.

U nekompenzacionim metodama ne razmatra se uticaj obima specifičnog konteksta odlučivanja i prikazuju se globalne vrednosti važnosti kriterijuma. Najčešće korišćene nekompenzacione metode su: direktno dodeljivanje težina, proporcionalna metoda i metoda otpora prema promenama.

Suština određivanja težina kriterijuma primenom parnih poređenja sastoji se u proračunu vektora težina kriterijuma na osnovu vrednosti datih u matrici parnih poređenja primenom određenog postupka prioritizacije. U radu su izdvojeni i prikazani najčešće korišćeni (najefikasniji) metodi prioritizacije.

Rangiranje kriterijuma predstavlja dobru polaznu osnovu za proračun težina kriterijuma, jer je manje zahtevno i prihvatljivije za donosioca odluke od većine ostalih metoda. Većina autora se slaže da metoda centroida rangova i metoda linearnih težina sa promenljivim koeficijentom smera daju najbolje rezultate.

Kada u procesu određivanja težina kriterijuma učestvuje više učesnika potrebno je, pored problema relativne važnosti kriterijuma, rešiti problem različitih sistema preferentnosti učesnika u procesu. Takođe je, u

skladu sa datim kontekstom odlučivanja, potrebno izabrati odgovarajuću proceduru objedinjavanja individualnih težina kriterijuma.

Prikaz izabranih metoda subjektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma, uz navođenje relevantne literature u ovoj oblasti, može biti od velike pomoći prilikom rešavanja konkretnih višekriterijumskih problema što jeste svrha ovog rada.

### Literatura

- [1] Keeney, R. L., Raiffa, H., *Decisions with multiple objectives*. Wiley, New York, 1976.
- [2] von Winterfeldt, D., Edwards, W., *Decision Analysis and Behavioral Research*. Cambridge University Press, New York, 1986.
- [3] Edwards, W., Barron, F.H., *SMARTS and SMARTER: Improved Simple Methods for Multiattribute Utility Measurement*. Organizational behavior and human decision processes, 60, 306–325, 1994.
- [4] Green, P. E., Srinivasan, V., *Conjoint Analysis in Consumer Behavior: Status and Outlook*. Journal of Consumer research 5, 103–123, 1978.
- [5] Bana e Costa, C. and Vansnick, J.C., *MACBETH: An interactive path towards the construction of cardinal value functions*. International Transactions in Operational Research, 1 (4), 489–500, 1994.
- [6] Poyhonen, M. and Hamalainen, R., *On the convergence of multiattribute weighting methods*. European Journal of Operational Research, 129, 569–585, 2001.
- [7] Weber, M., Borcherding, K., *Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making*. European Journal of Operational Research, 67, 1–12, 1993.
- [8] Rogers, M. and Bruen, M., *A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III*. European Journal of Operational Research, 107 (3), 552–563, 1998.
- [9] Srđević, B., Kolarov, V. *Varijantna AHP vrednovanja dispozicija crpnih stanica na slivnom području*. Vodoprivreda, 37, 203–214, 2005.
- [10] Graham, A., *Nonnegative matrices and applicable topics in linear algebra*. Ellis Horwood, Chichester, UK, 1987.
- [11] Mikhailov, L., *A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process*. Journal of Operational Research Society, 51, 341–349, 2000.
- [12] Doyle, J.R., Green R.H, Bottomley P.A., *Judging relative importance: direct rating and point allocation are not equivalent*. Organizational Behavior and Human Decision Processes 70(1), 65–72, 1997.
- [13] Bottomley, P.A, Doyle J.R, Green R.H., *Testing the reliability of weight elicitation methods: direct rating versus point allocation*. Journal of Marketing Research, 37(4), 508–513, 2000.
- [14] Stillwell, W.G, Seaver D.A, Edwards, W., *A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making*. Organizational Behavior and Human Performance 28(1), 62–77, 1981.

- [15] Solymosi, T, Dompí, J., *Method for determining the weights of criteria: the centralized weights*. European Journal of Operational Research 26(1), 35–41, 1985.
- [16] Lootsma, F. A., Bots, P. W. G., *The assignment of scores for output-based research funding*. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 8(1), 44–50, 1999.
- [17] Roberts, R., Goodwin, P., *Weight approximations in multi-attribute decision models*, Journal of Multicriteria Decision Analysis, 11, 291–303, 2002.
- [18] Alfares, H. K., Duffuaa, S. O., *Assigning cardinal weights in multi-criteria decision making based on ordinal ranking*. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 15, 125–133, 2009.
- [19] Grafakos, S., Zevgolís, D., Oikonomou, V., *Incorporating stakeholders' preferences for ex ante evaluation of energy and climate policy interactions: Development of a Multi Criteria Analysis weighting methodology*. EASY-ECO Vienna Conference 2008.
- [20] Miličević, R. M., Župac, Ž. G., *Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 60, No. 1, pp. 39–56, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2012.
- [21] Alfares, H. K., *Combining criteria ranks for calculating their weights in group MCDM*. Systems Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, 2007.

## SUBJECTIVE APPROACH TO THE DETERMINATION OF CRITERIA WEIGHTS

FIELD: Mathematics, Operations Research  
ARTICLE TYPE: Scientific Criticism

### Summary:

*This paper presents the methods of the subjective approach in determining the criteria weights. The compensatory and noncompensatory methods for determining the criteria weights are briefly summarized. Determining the criteria weight using pairwise comparisons and rankings is elaborated in detail. Possible ways of determining the criteria weight in a group environment are presented in the last part of the paper.*

*A subjective approach includes an impact of the decision maker on the criteria weights, and therefore on the final solution of multicriteria problems. In contrast to the objective approach, some methods of the subjective approach do not require the existence of a decision matrix.*

*The main aim of this paper is a systematic review of possible ways of determining the criteria weights by the decision maker or more participants in the decision process.*

### Introduction

*The subjective approach is based on determining the criteria weights based on information received by decision-makers or experts involved in the decision making process. In the subjective approach, decision makers or experts give their views on the importance of criteria for a given decision-making process in accordance with their system of preference.*



#### Compensatory methods for determining the criteria weights

*Most widely used compensatory weighting methods are the following: trade-off method, swing method, the SMART method, conjoint method and MACBETH.*

#### Noncompensatory methods for determining the criteria weights

*The most widely used noncompensatory weighting methods are the following: direct point allocation, ratio or direct importance weighting methods and resistance to change technique.*

#### Determining the criteria weights using pairwise comparisons

*On the basis of pairwise comparisons of criteria-subcriteria, the matrix of paired comparisons is formed from which it is necessary to determine the priority vector of criteria -subcriteria  $w$  (criteria-subcriteria weights).*

*The methods for determining  $w$  from a given comparison matrix  $A$  are called prioritization methods. In practice, the best results are given by the following methods: eigenvector method, additive normalization method, logarithmic least squares method, weighted least squares method and fuzzy preference programming method.*

#### Determining the criteria weights using the criteria ranking

*From the set of the developed methods, the following methods were selected for determining weights based on the criteria rank: linear weights with variable slope, reciprocal weights, rank order centroid weights, rank sum weights, geometric weights, and rank order distribution weights.*

*In most studies, it is stated that the best results in determining the criteria weights based on the criteria ranking are obtained by the rank order centroid method. It also stresses the universality of linear weights with the variable slope method.*

#### Weight determination methods of group decision-making criteria

*Group criteria weights can be gained by carrying out certain aggregation individual criteria weights procedures. There are two basic aggregation procedures: the social one and the mathematical one.*

*In determining the group criteria weight, there is a problem of different preference systems and their inclusion in the criteria weights. It is possible to distinguish three main approaches in solving this problem: the neoclassical approach, an approach based on the idea of deliberative democracy and alternative proposals.*

#### Application of the Delphi method to determine the criteria weights

*Experts fill out questionnaires in which they express their preferences for each criterion, and give the assessment of the relative importance of the criteria, provided that the sum total of all values, by all criteria, is 1 (100% expressed as percentage).*

*After receiving responses from the first round of all the participants, the processing of the received responses is performed, which involves*

*calculating the mean, standard deviation and the coefficient of the variation for each of the criteria.*

*The procedure is repeated until the average coefficient of the variation drops to a satisfactory level.*

Aggregation of individual criteria weights

Aggregation of individual criteria ranks

*The following aggregation methods of individual criteria ranks are presented: arithmetic averaging method, geometric weights averaging method and geometric rank averaging method.*

*The aggregation of individual criteria ranks can be performed using the voting method in the social choice theory such as: plurality voting, the Hare system, the Borda count, pairwise comparisons voting and approval voting.*

*Group criteria ranks obtained by the voting methods are then converted to criteria weights using some of the transformation functions of ranks in the weights.*

Aggregation of individual criteria weights obtained by pairwise comparisons

*Group criteria weights are calculated by geometric averaging of individual criteria weights obtained by the selected prioritization method.*

Conclusion

*Methods of the subjective approach to determining the criteria weights are based on a calculation of criteria weights based on subjective assessment of criteria importance obtained by decision-makers (or experts). In the process of development and improvement of methods of multicriteria analysis, more subjective methods are developed for determining the criteria weight for which the classification can be done in several ways.*

*The paper listed the most commonly used compensatory and non-compensatory methods without their further theoretical elaboration. In addition, it presented the selected methods for determining the criteria weight using pairwise comparisons and ranking. Finally, it outlined how to determine the criteria weights in a group environment.*

*Displaying the selected methods of the subjective approach in determining the criteria weights, with reference to relevant literature in this field, can be of great help in solving specific multicriteria problems, which is the primary purpose of the study.*

*Key words: criteria weights, compensatory methods, noncompensatory methods, prioritization methods, ranking criteria, group weight criteria.*

Datum prijema članka: 17. 05. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 14. 06. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 15. 06. 2011.

# ПОСТРОЕНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СИЛ БЫСТРОГО РЕАГИРОВАНИЯ

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

DOI: 10.2298/vojtehg1202071E

ОБЛАСТ: компьютерные науки, криптография  
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная работа

## Краткое содержание:

*Анализируются новые подходы (асимметричность и идиосинкритичность) к ведению боевых действий, вскрываются факторы, непосредственно влияющие на построение и особенности функционирования подсистемы защиты информации перспективной автоматизированной системы управления войсками. Исследуются возможные пути построения подсистем криптографической защиты информации в автоматизированной системе управления оперативной группировкой объединенных сил быстрого реагирования в условиях асимметричных и идиосинкритичных подходов к ведению боевых действий.*

Ключевые слова: криптографическая защита информации, автоматизированная система управления войсками.

## Введение

В последнее время ведущие мировые военные специалисты рассматривают вооруженные конфликты (локальные войны) как асимметричные, идиосинкритичные войны [1]. Появление новых форм и способов ведения вооруженной борьбы, высокая интенсивность изменения обстановки и динамика боевых действий, широкое применение средств вычислительной техники и компьютерных систем обуславливают высокие вероятностно-временные требования к показателям эффективности боевого управления и связи [1–4].

В этих условиях построение подсистем защиты информации перспективной автоматизированной системы управления войсками (АСУВ) сопряжено со многими противоречивыми факторами, непосредственно влияющими на эффективность АСУВ в целом. Целью статьи является обоснование путей построения подсистем криптографической защиты информации в АСУ оперативной группировки объединенных сил быстрого реагирования.

## Современные тенденции и изменения в средствах и способах вооруженной борьбы

Анализ боевых возможностей вооруженных сил ряда развитых государств и характера локальных военных конфликтов последнего времени позволяет выделить некоторые основополагающие тенденции и эволюционные изменения в средствах и способах современной вооруженной борьбы.

Основными чертами таких изменений являются:

- практический отказ от широкомасштабной ядерной войны;
- ориентация на ведение вооруженной борьбы, прежде всего с использованием высокоточного обычного оружия и сохранением ядерных сил как средства сдерживания;
- повышенное внимание к локальным войнам и вооруженным конфликтам как наиболее возможным формам вооруженного столкновения государств;
- повышение роли начального периода войны, завоевание стратегической инициативы, а при благоприятных условиях – достижение основных военных целей вооруженной борьбы;
- рассмотрение в составе первоочередных объектов одновременного поражения массированными ракетно-авиационными ударами не только развернутых группировок вооруженных сил противника, но и важнейших центров государственного и военного управления, ключевых элементов экономической и военной инфраструктуры, районов формирования стратегических резервов и тому подобное;
- рост роли обычных средств вооруженной борьбы, возложение на некоторые из них функций сдерживания (для ядерных государств, как дополнение к ядерному сдерживанию);
- объединение усилий всех видов вооруженных сил по единому замыслу и плану, что является необходимым условием стратегического успеха, особенно на начальном этапе боевых действий;
- повышение внимания к защите от нападения с воздуха и космоса, как стратегической задачи вооруженных сил;

- повышение способности к быстрому перемещению на значительные расстояния больших группировок войск и их развертывание в кратчайшие сроки (стратегическая мобильность), появление в связи с этим в составе вооруженных сил таких функциональных элементов, как силы быстрого реагирования [2].

## Асимметричность и идиосинкритичность, как новые подходы к ведению боевых действий

По мнению ведущих мировых военных специалистов, характер войн XXI столетия будет носить асимметричный и идиосинкритичный характер [1]. Под асимметричностью понимается нетрадиционное ведение боевых действий, разнообразие способов и форм ведения войны, которые определяют победу, отсутствие общего основания для сравнения, аспект возможностей, которые трудно сопоставить с накопленным войсками опытом.

Под идиосинкритичностью понимается специальный, нетрадиционный подход к использованию новых и (или) старых средств вооруженной борьбы. При этом важной составляющей начального этапа вооруженного конфликта (локальной войны) является нанесение главного удара в наиболее уязвимое место противника, что позволит сломить его волю к сопротивлению. Даже при наличии мощного интеллекта и реальных сил для ведения борьбы, противник, потеряв психологическую устойчивость, будет сломлен и побежден [1].

Асимметричность и идиосинкритичность на начальном этапе вооруженного конфликта реализуется путем нанесения мощных ударов по стратегически важным объектам противника, что может деморализовать противоборствующую сторону и произвести эффект «опрокидывания» фронта с полным его разгромом.

Другим важным аспектом современных вооруженных конфликтов является стирание граней масштабности боевых действий. Фактически исчезают резкие грани между уровнями масштабности ведения боевых действий – тактических, оперативных, стратегических [5,8–10].

Тактика нередко влияет определяющим образом на оперативный и даже стратегический уровень. При этом для обеспечения асимметричности и идиосинкритичности проводится замена основных боевых единиц оперативно тактических группировок новыми компьютеризированными боевыми соединениями, использующими единую компьютерную сеть управления, увеличиваются огневые возможности боевых подразделений за счет введения новых образцов высокоточного оружия.

Анализ локальных войн показывает, что перед началом боевых действий создаются воздушно-космические и наземно-морские силы

под единым командованием, которые, в зависимости от военной мощи противника, могут проводить двухфазную воздушно-космическую и наземную операции или однофазную наземную операцию [9, 10].

Анализируя первичные космические массированные ракетно-авиационные удары (КМРАУ), можно обобщить их типичный состав: от 600 до 1000 крылатых ракет морского и воздушного базирования и от 1200 до 1600 самолетов различного предназначения, из которых до 60% составляют ударные истребители, с поражением до 1800–2800 целей. Так, общая численность при проведении КМРАУ в первые сутки может составлять от 1800 до 2600 самолетов (крылатых ракет воздушного, морского базирования, тактических ракет, оперативно-тактических ракет наземного базирования).

В состав наземной группировки на второй фазе, как правило, входят силы сухопутных войск до 4 армейских корпусов (16–20 дивизий), до 13–40 дивизионов палубной авиации, до 8 зенитно-ракетных дивизионов противовоздушной обороны, 1200–2000 танков; 400–1500 противотанковых ракетных комплексов; 650–2150 боевых машин пехоты, до единиц 1150 армейской авиации.

Очевидно, что характерной чертой военных операций ближайшего будущего будет возможность достижения их целей посредством проведения огневого поражения без вторжения группировки сухопутных войск на территорию противника. Такие операции будут представлять собой совокупность массированных, групповых и сосредоточенных ударов авиации, ракетных войск и артиллерии с использованием средств радиоэлектронной борьбы, автоматизированных систем управления, самонаведения оружия, разведки и анализа данных.

Таким образом, современные вооруженные конфликты характеризуются асимметричностью, идиосинкритичностью, внезапностью нанесения КМРАУ по стратегически важным объектам противника, широким использованием новейших образцов высокоточного оружия, авиации, крылатых ракет морского и воздушного базирования.

Анализ показывает, что при проведении КМРАУ в первые сутки общая численность средств поражения целей с воздуха может составлять от 1800 до 2800 единиц (самолетов, крылатых ракет воздушного, морского базирования, тактических ракет, оперативно-тактических ракет наземного базирования). При проведении наземной фазы наступательной операции на усиление выделяется от 300 до 400 самолетовылетов для каждого армейского корпуса.

Следовательно, при отражении нападения наземной группировки средства разведки необходимо обнаружить от 10000 до 15000 наземных подвижных целей. При этом и воздушная, и наземная фазы наступления сопровождаются целенаправленными действиями частей и подразделений радиоэлектронной борьбы противника (РЭБ), навязыванием ложной информации с его стороны.

Поэтому для устойчивого, непрерывного, оперативного и скрытного управления силами и средствами активной компоненты объединенных сил быстрого реагирования (ОСБР) необходимо развернуть до 200 пунктов управления оперативно-тактического и тактического уровня. При этом перспективная АСУВ должна обеспечить доведение команд до подразделений в условиях резко возросших объемов обрабатываемых и передаваемых данных, активных действий подразделений РЭБ противника. Возникает необходимость проанализировать состояние и общие принципы построения системы управления и связи ОСБР.

## Особенности построения АСУВ ОСБР

Отличительной особенностью построения систем боевого управления и связи является иерархическая централизованная структура, включающая подсистему принятия решений, которая распределена по нескольким подчиненным уровням, а информационные сообщения циркулируют по соответствующим направлениям и сетям связи [4,7,8].

Перспективная система управления и связи ОСБР, как совокупность взаимоувязанных и согласованных по задачам, месту, времени действий пунктов управления, узлов и линий связи различного назначения, развертываемых и создаваемых по единому плану, должна обеспечивать устойчивое, непрерывное, оперативное, скрытное управление объектами и решать следующие задачи:

- сбор, обработку, документирование и отображение информации об общей воздушной обстановке, оповещение подразделений о воздушной обстановке;
- сбор, обработку документирования и выдачу боевых распоряжений и донесений;
- сбор, обработку информации о наземной обстановке;
- поддержку процессов принятия решений лицами боевых дежурных смен;
- отображение обобщенной информации характеристик целей и боевых действий;
- управление подчиненными подразделениями;
- управление информационными потоками в пунктах • управления;
- передачу боевой и оперативной информации на пункты управления различных уровней, обеспечение информационного взаимодействия;
- обеспечение безопасности информационных и других ресурсов.

Для решения задач управления подчиненными силами и средствами разворачиваются автоматизированные командные пункты (АКП), способные функционировать в различных режимах: боевом режиме, режиме боевого дежурства, режиме технического обслуживания [7,8].

В боевом режиме АКП обеспечивают полномасштабное решение задач управления всеми подчиненными силами и средствами полной боевой сменой. В режиме боевого дежурства дежурной сменой АКП обеспечивается управление дежурными силами при приведении частей оперативной группировки в высшую степень боевой готовности, развертывание в предбоевые порядки и организацию боевого дежурства. В режиме технического обслуживания обеспечивается обслуживание основных аппаратных и программных средств системы для ее поддержания в работоспособном состоянии [4].

В рамках трехступенчатой системы оперативного управления (генеральный штаб, объединенное оперативное командование, межвидовые группировки), функционального и структурного совершенствования системы оперативного управления войсками целесообразным является создание органа управления межвидовой группировкой, объединенного оперативного командования (ООК).

В состав модульной автоматизированной системы управления на основе организационной структуры объединенного оперативного командования, функционального предназначения структурных составляющих ООК необходимо выделить ряд подсистем, реализующихся путем создания соответствующего программного обеспечения базовых модулей:

- информационно-справочный модуль, предназначенный для обеспечения планирования боевого применения подчиненных войск (сил), всестороннего обеспечения боевых действий, получения и обработки разведывательной информации;
- информационно-расчетный модуль динамического моделирования, предназначенный для проведения предварительных расчетов оценки боевых возможностей конкретного состава и определения ожидаемой эффективности боевых действий своих войск, моделирования возможных действий противника, оценки возможного нанесенного ущерба, выработки предложений для непосредственного управления войсками (силами);
- модуль отображения обстановки, предназначенный для выведения в режиме реального времени с различной детализацией и масштабом информации в зависимости от необходимого анализа обстановки;
- модуль коммутации, предназначенный для организации информационного обмена между АКП по действующим каналам связи, создания межрегиональных сетей управления и оповещения, а также для обеспечения информационного взаимодействия базовых комплектов аппаратуры, реализующих функции конкретного АКП.

Таким образом, перспективная АСУВ ОСБР должна обеспечивать автоматизацию процессов сбора, анализа и оценки данных обстановки, принятия решения, планирования, постановки и доведения задач до войск (сил), контроль за ходом их выполнения [4–6,9,10]. При этом важным



направлением совершенствования АСУВ является разработка подсистемы защиты информации, предназначенной для обеспечения безопасности и достоверности обрабатываемых и передаваемых данных. В современных условиях основными объективно сложившимися факторами, резко усложнившими обеспечение безопасности и достоверности информации в системе управления ОСБР, следует считать [4,9,10]:

- асимметричность (разносторонность, непохожесть подходов) и идиосинкритичность (новые способы использования средств) ведения боевых действий возможным противником;
- резкое увеличение численности и разнообразия применяемых средств ведения вооруженной борьбы, прежде всего во время проведения КМРАУ и ведения наземной фазы операции;
- высокую интенсивность и динамику изменения обстановки в условиях современной высокотехнологичной войны;
- широкое применение средств информационного и радиоэлектронного воздействия и другие.

Проведенный анализ показал, что современные вероятностно-временные требования к перспективным средствам защиты информации существенно возросли [4,7,8]. Это обусловлено наличием следующих объективно сложившихся противоречивых факторов:

- резким увеличением объемов обрабатываемых и передаваемых данных в современных системах управления и связи;
- развитием современной вычислительной техники и компьютерных систем, их широкой доступностью;
- появлением новых форм и способов обработки информации, в том числе, технологий распределенных вычислений и вычислений в облаках, их широкой доступностью;
- развитием методов криптографического анализа, появлением новейших технологий несанкционированного доступа к информации, возникновением новых угроз конфиденциальности, целостности, аутентичности и доступности.

Таким образом, появление новых методов криптоанализа в совокупности с возможностями современной вычислительной техники, новыми формами и способами обработки информации выдвигают повышенные требования к стойкости криптографических средств защиты информации. Повышение объемов обрабатываемой и передаваемой информации в системах управления и связи также выдвигает повышенные требования к быстродействию криптографических средств защиты информации.

Резкое обострение объективно сложившихся противоречивых факторов ведет к стремительному повышению вероятностно-временных требований, предъявляемых к перспективным криптографическим средствам защиты информации, которые должны обеспечивать:

- быстрое (10–100 Мбит/с) криптографическое преобразование больших объемов данных с возможностью частой смены ключевых данных;

- высокий уровень стойкости к современным методам криптоанализа (безопасное время  $T_B > 100\text{--}200$  лет, вероятность вскрытия ключевых данных и вероятность бесключевого чтения  $P_K, P_{\text{И}} < 10^{-25}\text{--}10^{-30}$ ), теоретически хорошо обоснованную модель безопасности информации;
- комплексное обеспечение безопасности и достоверности (вероятность ошибки  $P_{\text{ош}} < 10^{-9}$ ) информации в системах управления и связи специального назначения.

Учитывая изложенное, рассмотрим возможности существующих средств защиты по обеспечению требуемых показателей безопасности информации в перспективной АСУВ ОСБР.

Анализируя возможностей существующих средств защиты информации следует подчеркнуть, что традиционно решение задач обеспечения безопасности информации возлагается на засекречивающую аппаратуру связи (ЗАС).

В настоящее время на вооружении в подразделениях связи видов вооруженных сил стоят как аналоговые, так и цифровые ЗАС. Большинство типов ЗАС обеспечивает засекречивание только определенного вида информации с небольшой скоростью передачи и не имеет защиты от навязывания ложной информации. В то же время, в современных условиях остро стоит вопрос обеспечения конфиденциальности, целостности и аутентичности при передаче предварительных боевых распоряжений, начиная с первых часов возможного военного конфликта, а нередко – еще до его начала.

## Построение подсистем криптографической защиты информации в современных АСУВ

Проведенный анализ показал, что в условиях резкого обострения объективно сложившихся негативных факторов эффективное функционирование подсистемы защиты информации перспективной АСУ ОСБР сопряжено с частой сменой ключевых данных, реализацией быстрого криптографического преобразования с обеспечением требуемых показателей безопасности и достоверности информации.

Следуя основным теоретическим положениям современной криптографии, требуемые параметры функционирования подсистем защиты информации в системах управления и связи специального назначения можно реализовать путем применения симметричных криптоалгоритмов в сочетании с несимметричными протоколами распространения секретных ключевых данных [4].

Использование симметричных криптоалгоритмов позволяет реализовать быстрое криптографическое преобразование больших

объемов данных. В то же время, это направление сопряжено со следующими существенными недостатками:

- несимметричные протоколы обмена ключами подразумевают самостоятельное формирование частей секретного ключа двумя различными абонентами, что нарушает принцип централизованного управления и распространения ключей;

- использование несимметричных протоколов обмена ключами подразумевает формирование общего ключа для двух абонентов; при формировании секретного ключа совместно с другими абонентами соответствующие секретные ключи будут различны, что делает невозможным организацию управления и связи в циркулярном режиме, а это в свою очередь затрудняет своевременное управление подчиненными объектами и, в конечном счете, ведет к снижению непрерывности и оперативности управления;

- использование несимметричных протоколов обмена ключами подразумевает применение криптоалгоритмов, сложность реализации которых на 3–5 порядков превосходит сложность реализации классических (симметричных) криптоалгоритмов, что в условиях частой смены ключевых данных может привести к значительным задержкам в управлении.

Решение возможно также путем применения несимметричных алгоритмов шифрования. В этом случае один (общий для группы абонентов ключ) распространяется по открытым каналам связи, и нет необходимости поочередного выполнения алгоритмов распространения секретных ключевых данных с каждым абонентом информационного обмена в отдельности. В то же время, этот подход связан со следующими существенными недостатками:

- сложность реализации существующих алгоритмов несимметричного шифрования существенно (на 3–5 порядков) выше по сравнению с симметричными криптоалгоритмами, что в условиях стремительного увеличения объемов обрабатываемых и передаваемых данных и повышения вероятностно-временных требований к безопасности и достоверности информации недопустимо;

- применение существующих несимметричных протоколов обмена секретными сообщениями с использованием открытых ключей приводит к значительному (в 2–4 раза) увеличению избыточности передаваемых данных, что существенно снижает эффективность связи.

Таким образом, существующие классические подходы к построению подсистем обмена секретными сообщениями не позволяют на сегодняшний день в полной мере обеспечить выполнение современных требований безопасности информации в системах управления и связи специального назначения.

Возникает противоречие между резко возросшими объемами обрабатываемых и передаваемых данных, повышением вероятност-

но-временных требований к безопасности и достоверности информации при частой смене ключевых данных и существующими подходами теории защиты информации к построению подсистем обмена секретными сообщениями.

Применяемый математический аппарат криптографического преобразования данных не позволяет в полной мере обеспечить эффективную защиту информации в системах управления и связи специального назначения. Перспективным направлением в разрешении выявленного противоречия являются криптографические средства защиты информации, построенные с использованием алгебраических блочных кодов [4,9,10]. Фактически, речь идет о построении средств защиты информации, основанных на специальных режимах функционирования аппаратуры канального кодирования. Их применение позволяет:

- реализовать быстрые криптографические преобразования больших объемов данных с использованием открытых ключей, что с одной стороны не требует распространения секретных ключевых данных по закрытым каналам связи, а с другой стороны – не требует усложнения существующей аппаратуры передачи данных;
- обеспечить высокий уровень стойкости к современным методам криптоанализа за счет сведения задачи бесключевого чтения к решению теоретико-сложностной задачи декодирования случайного кода при обеспечении доказуемой стойкости криптографических средств защиты информации;
- строить интегрированные механизмы канального кодирования и криптографического преобразования данных, что позволяет комплексно решать задачи обеспечения безопасности и достоверности информации в системах управления и связи специального назначения.

Таким образом, решение важной научно-технической проблемы, состоящей в разработке теоретических основ построения быстрых криптографических преобразований доказуемой стойкости с использованием алгебраических блочных кодов и создания на их основе криптографических средств защиты информации с использованием открытых ключей, является актуальным.

Решение указанной проблемы имеет важное значение как для развития теории защиты информации, так и для решения прикладных вопросов обеспечения безопасности и достоверности информации в перспективной АСУВ ОСБР.

## Заключение

Таким образом, в современных условиях требования к системам управления и связи резко возросли. Перспективная АСУВ должна обеспечить доведение сигналов и команд до адресатов в условиях

резко возросших объемов обрабатываемых и передаваемых данных, активных действий частей и подразделений РЭБ противника. Поэтому важным направлением совершенствования АСУВ является разработка эффективных подсистем защиты информации.

При этом стоящие на вооружении средства защиты информации на сегодняшний день морально и физически устарели и не обеспечивают выполнение современных требований по обеспечению ее безопасности и достоверности. Однако существующие классические подходы к построению подсистем обмена секретными сообщениями не позволяют в полной мере обеспечить выполнение современных требований.

Поэтому перспективным направлением в разрешении выявленного противоречия являются криптографические средства защиты информации, построенные с использованием алгебраических блочных кодов. Их применение позволяет строить быстрые криптографические преобразования доказуемой стойкости и создавать на их основе средства защиты информации с использованием открытых ключей. Решение указанной проблемы имеет важное значение как для развития общей теории защиты информации, так и для решения прикладных вопросов обеспечения безопасности и достоверности информации в перспективных АСУВ.

### *Литература/References*

- [1] Montgomeri, M., *The era of strategic asymmetry*, Independent Military Review, 37/2002, pp. 3–12.
- [2] Gorodnov, V. P., Drobaha, G. A., Ermošin, M. O., Tkačenko, V. I., *Simulation of fighting air defense forces and information management processes of its (theory, practice and history)*, HVU, Harkov, 2004.
- [3] Bereza, A. S., *System integrators basis for the development of ASM*, HVU, Harkov, 1996.
- [4] Evseev, S. P., Dorokhov, O. V., Korol, O. G., *Mechanisms of protection of information in computer networks and systems*, Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik, Vol. 59, No. 4, pp. 15–39, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Belgrade, 2011.
- [5] *Final report of European project number IST-1999-12324, named New European Schemes for Signatures, Integrity and Encryption*, 2004.
- [6] Salomaa, A., *Cryptography with open keys*, Mir, Moskva, 1995.
- [7] Kuznecov, A. A., Evseev, S. P., *The development of theoretical coding schemes using elliptic codes*, Information processing systems, 5/2004, pp. 127–132.
- [8] Kuznecov, O. O., Evseev, S.P., Kavun, S. V., *Information security and economic security of the enterprise*, HNUE, Harkiv, 2008.
- [9] Palčik, M., *Conceptual foundations of a model of the Armed Forces of Ukraine in 2010*, Science and Defence, 1/2009, pp. 6–14.
- [10] White paper, 2006., *Ukraine defence Policy*, MoD of Ukraine, Kiev, 2006.

## CONSTRUCTION OF CRYPTOGRAPHIC INFORMATION PROTECTION IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR RAPID REACTION MILITARY FORCES

Evseev Sergey Petrovich, Dorokhov Oleksandr Vasilievich,  
Korol Olga Grigorievna, Kharkov National University of Economics,  
Faculty of Economics Informatics, Ukraine

FIELD: Computer Sciences, Cryptography

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

### Summary

*New approaches to realizations of military operations are analyzed. The main factors that directly affect the construction and operation of information security subsystems in prospective automated command and control military systems are described. Possible ways of the construction of cryptographic subsystems of information protection in automated operation management systems for united military force groups are investigated.*

### Introduction

*New forms of warfare, high dynamics of combat operations, and the use of computers result in the growth of performance requirements in combat control and communications. Especially important is the protection of information in automated systems for command and control.*

### Characteristics of modern military conflicts

*The features of modern military conflicts are: absence of a large-scale nuclear war; focus on precise conventional weapons with a nuclear one as a deterrent; increased role of the initial period of war; primary lesion of centers of state and military governance, infrastructure, reserves; increased attention to the protection against attacks from the air and space; and high speed of movement of troops and their mobility.*

### New approaches to the conduct of military operations

*It should be noted that the main attacks occur on strategically important objects, blurring the scale of the fight - tactical, operational, and strategic one. Air forces are widely used as well as primary massive missile and air strikes without the invasion of ground troops into the enemy territory.*

*It is necessary to transmit signals and commands to military units within increased mass of transmitted data and during enemy actions.*

### Features of military automated control and communication systems

*These systems must be able to solve the problems of collection, processing, and displaying information on a combat situation, thus offering support for decision making by commanders at various levels.*

*They are composed of some basic modules: data bases; calculation tools for dynamic modeling and assessment of combat capabilities, expected enemy action; mapping of the situation; information management and communication units.*

*Information protection, security and reliability of processed and transmitted data are important as well.*

*They are made difficult due to the increase of the number and diversity of warfare means and data mass; dynamic changes of the situation; intensive use of information and electronic effect technologies; development of cryptographic analysis methods as well as new technologies of unauthorized access to information for violation of their confidentiality, integrity, authenticity and accessibility.*

*Therefore, requirements for cryptographic protection of information are intensified. Traditionally, the security of information is provided by equipment for secret communications. However, this works only with certain types of information and with insufficient transmission speed, without protection from false information.*

Construction of subsystems for the cryptographic protection of information

*Data protection involves frequent changes of key data and the implementation of cryptographic transformations. They can be implemented using symmetric cryptographic algorithms combined with asymmetric distribution of secret protocols of key data. However, this direction is associated with major drawbacks.*

*It is also possible to use asymmetric encryption algorithms. In this case, a common group key is distributed through open communication channels. There is no distribution of secret key data to each subscriber individually. However, this approach has several drawbacks.*

*The existing approaches to secret exchange of messages and mathematical tools for cryptographic transformation of data cannot thus fully ensure the security of information management systems and communications for special purposes.*

*A prospective solution of this problem can be found in a cryptographic information protection means which uses algebraic block codes, based on special modes of operation of equipment channel coding.*

*It allows the implementation of fast cryptographic transformations of large volumes of data using open public keys. What is more, it does not require the distribution of secret key data through special telecommunication channels. In addition, it does not require the complexity of the existing equipment of data transmission.*

*It also provides a high level of resistance to modern methods of cryptanalysis by reducing the keyless read problem to a solution of the theoretic complexity problem of decoding a random code with provable security strength of cryptographic information protection.*

Conclusions

*The requirements for military control and communication systems are dramatically increased now. An important problem is the protection and safety of information in them. A prospective solution for this purpose is to protect information using algebraic block codes.*

*Key words: cryptographic information protection, automated command control and communication military systems, algebraic block codes.*

Datum prijema članka: 24. 11. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 26. 12. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 27. 12. 2011.

## DEFINISANJE SAJBER RATOVANJA

Mladenović D. *Dragan*, Vojska Srbije, Garda, Beograd,  
 Jovanović M. *Danko*, Vojska Srbije, Generalštab,  
 Uprava za logistiku (J-4), Beograd,  
 Drakulić S. *Mirjana*, Univerzitet u Beogradu,  
 Fakultet organizacionih nauka, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202084M

OBLAST: računarstvo i informatika, informacione tehnologije, informacioni sistemi (pravni, etički i profesionalni aspekti računarstva)

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

### Sažetak:

*Sajber sukobi predstavljaju novu vrstu ratovanja koja se tehnološki veoma brzo razvija. Rezultat tog razvoja su sve češći i intenzivniji sajber napadi koje države pokreću na protivničke ciljeve i koji imaju širok spektar dejstva, od informacionih do fizičkog uništenja ciljeva. Međutim, sajber ratovanje se vodi primenom istih sredstava, tehnika i metoda kao i u slučaju sajber kriminala, terorizma i obaveštajnih aktivnosti i ima veoma specifičnu prirodu, koja omogućava državama da prikriveno pokreću napade na protivnika. Polazna tačka pri definisanju doktrina, procedura i standarda u oblasti sajber ratovanja je utvrđivanje njegove prave prirode. U ovom radu dat je doprinos tom nastojanju primenom analize postojećih državnih doktrina i međunarodne prakse u oblasti sajber ratovanja i utvrđivanju njegove nacionalno prihvatljive definicije.*

*Ključne reči: sajber ratovanje, sajber rat, sajber prostor, kibernetički sukob, informaciono ratovanje.*

## Uvod

Interes za sajber bezbednost u međunarodnoj zajednici je tokom protekle decenije doživeo eksplozivni rast i medijski je trenutno najzastupljeniji u oblasti međunarodne i nacionalnih bezbednosti. Globalna i nacionalna ekonomije sve više zavise od informaciono-komunikacionih tehnologija, što povećava njihovu ranjivost od sajber napada i ranjivost zavisnih društvenih i privrednih sistema. Sajber prostor je postao integralni deo života pojedinaca, poslovanja i funkcionisanja država. Sajber pretnje ubrzano rastu po obimu i sofisticiranosti, sve više su usmerene na sisteme nacionalne infrastrukture i potiču od protivničkih država, ali i mnogobrojnih nedržavnih aktera. Veliki broj država u svetu ubrzano i intenzivno izgrađuje vlastite kapacitete i usvaja nacionalne strategije i vojne doktrine za sajber ratovanje. I najveći vojni savezi su prepoznali opasnosti sajber pretnji i posvetili im značajnu pažnju. Važan zaključak po-



slednjeg samita NATO-a, održanog u Lisabonu 2010. godine, bio je imperativ za realizaciju kolektivnog jačanja odbrambenih sajber kapaciteta (za otkrivanje napada, identifikaciju, prevenciju, odbranu, odvracanje i oporavak napadnutih sistema),<sup>1</sup> što je potvrđeno i tokom Strategijske vojne konferencije za partnere, održane u Beogradu u junu 2011. godine.<sup>2</sup> NATO je preduzeo više ozbiljnih koraka u tom smeru, među kojima se ističe formiranje Zajedničkog centra izuzetnosti za sajber odbranu u Talinu (Estonija).<sup>3</sup> Organizacija za kolektivnu bezbednosti i saradnju<sup>4</sup> i Organizacija država Šangajske kooperacije su područje sajber bezbednosti takođe stavili u prvi plan interesovanja, posebno naglašavajući opasnosti od informacionih operacija u sajber prostoru.<sup>5</sup>

Iako se samostalni ratovi u sajber prostoru još uvek nisu dogodili, sajber dimenzija modernih sukoba postala je važna i nijedna savremena vojska je ne sme zanemariti. Međutim, priroda sajber ratovanja je nova i specifična. Primena postojećih načela i pravila međunarodnog prava oružanih sukoba u velikom broju specifičnih situacija sajber ratovanja nije jednostavna i ostavlja mnoga otvorena pitanja. Pored toga, u području sajber bezbednosti gotovo da ne postoji značajniji nivo međudržavnog poverenja, niti su izgrađene specifične norme, standardi i instrumenti međunarodne saradnje. U skladu sa različitim nacionalnim kapacitetima, strukturama, društvenim sistemima i interesima, stavovi država oko pitanja sajber bezbednosti se veoma razlikuju, ali do sada to nije bila prepreka u nastojanjima da što pre izgrade vlastite kapacitete za napad, odbranu i odvracanje protivnika. Pri tome svaka strana bira pravac i način razvoja u skladu sa vlastitim potrebama [1].

Međunarodna praksa nas uči da se međunarodno pravo izgrađuje kada ključni faktori u svetu pokazuju interesovanje za to (kada opasnosti od nedostatka regulativa nadjačaju prednosti od neregulisane primene). Ipak, veličina i moć države nije merilo doprinosa globalnoj sajber bezbednosti, već njen ugled, dosadašnje istorijsko iskustvo i nastojanje da pruži doprinos svetskoj zajednici država. Kao primer za to može poslužiti dosadašnja praksa Ujedinjenih nacija, poput inicijativa Malte pri usvajanju praktičnih rešenja za Konvenciju o pravu mora (UNCLOS III) i prevenciji

<sup>1</sup> Lisbon Summit Declaration, Issued on 20 Nov. 2010, [http://www.nato.int/cps/en/SID-B55533DE-89A47A84/natolive/official\\_texts\\_68828.htm?mode=pressrelease](http://www.nato.int/cps/en/SID-B55533DE-89A47A84/natolive/official_texts_68828.htm?mode=pressrelease), (08.07.2011).

<sup>2</sup> Strategic Military Partner Conference 2011, Post Lisbon: Delivering Transformation, North Atlantic Treaty Organization, 16 June 2011, [http://www.act.nato.int/images/stories/events/2011/smpc/2011\\_report2\\_draft.pdf](http://www.act.nato.int/images/stories/events/2011/smpc/2011_report2_draft.pdf), (08.07.2011)

<sup>3</sup> NATO Cooperative Cyber Defence Centre of Excellence, Tallinn, Estonia, <http://www.ccdcoe.org/>, (08.07.2011).

<sup>4</sup> Организация Договора о коллективной безопасности.

<sup>5</sup> Agreement Between the Governments of the Member States of the Shanghai Cooperation Organization on Cooperation in the Field of International Information Security, [http://media.npr.org/assets/news/2010/09/23/cyber\\_treaty.pdf](http://media.npr.org/assets/news/2010/09/23/cyber_treaty.pdf), (12.03.2011).

globalnih klimatskih promena ili inicijativi Argentine prilikom regulisanja statusa Meseca i drugih nebeskih tela, izuzetno bitnih područja zajedničke baštine čovečanstva, kakav je delom i sajber prostor. Pored doprinosa kolektivnoj sajber bezbednosti ovakav pravac delovanja ujedno doprinosi i ostvarivanju nacionalnih interesa. Čak i one države čija nacionalna infrastruktura trenutno manje zavisi od informacionih tehnologija i sajber prostora ne smeju zanemariti ovo područje, a potvrda za to mogu biti skorašnja društveno-politička iskustva država arapskog sveta, koje su doživele nagle i neočekivane promene društvenih sistema u velikoj meri zahvaljujući i aktivnostima u sajber prostoru.

Ovakve inicijative u području sajber bezbednosti u potpunosti su u skladu sa dosadašnjim nastojanjima svetske zajednice,<sup>6</sup> koja se zalaže za aktivni dijalog među državama u oblasti regulisanja kolektivne sajber bezbednosti, smanjenje rizika upotrebe informaciono-komunikacionih tehnologija za vođenje sukoba, zaštitu najbitnije nacionalne i zajedničke infrastrukture, međunarodnu razmenu iskustava i informacija o dosadašnjoj praksi u polju bezbednosti u sajber prostoru i aktivno učešće u usklađivanju zajedničke terminologije i definicija u skladu sa Rezolucijom Generalne skupštine UN 64/25 iz 2009. godine<sup>7</sup> u čijem je nastanku Republika Srbija aktivno učestvovala.<sup>8</sup>

Osnova aktivnog nastupa prema budućim opasnostima sajber ratovanja je razumevanje njegove prirode i suštine. Takođe, neophodno je postaviti osnovne smernice u pogledu planiranja nacionalne sajber odbrane i ofanzivnih dejstava i granica za dozvoljeno strano delovanje izvan kojih se preduzima akcija državnih struktura u skladu sa nacionalnom strategijom. Informaciono-komunikaciona revolucija je dramatično izmenila ceo svet, pa i način vođenja sukoba, tako da principi i norme postojećeg prava oružanog sukoba nemaju moć da efikasno regulišu konfliktne situacije sajber ratovanja. Nastale promene se ne ogledaju isključivo u području prava, već se odnose i na oblast politike, društva, tehnologije i nauke. Područje sajber ratovanja iziskuje kompleksan i multidisciplinarnan pristup i razvoj novih, originalnih i efikasnih principa i normi pri izgradnji nacionalne i kolektivne strategije sajber bezbednosti i specifičnih pravnih i tehnoloških sistema za njeno sprovođenje.

<sup>6</sup> Report of the Group of Governmental Experts on Developments in the Field of Information and Telecommunications in the Context of International Security, General Assembly Resolution A/65/201, 30 July 2010, <http://www.un.org/Docs/journal/asp/ws.asp?m=A/65/201>, (11.05.2011).

<sup>7</sup> Developments in the Field of Information and Telecommunications in the Context of International Security, UN General Assembly Resolution A/65/201, 14 January 2010, <http://daccess-ods.un.org/TMP/3197782.html>, (11.05.2011).

<sup>8</sup> Developments in the field of information and telecommunications in the context of international security, UN General Assembly Resolution A/63/385, 6 November 2008, <http://daccess-ods.un.org/TMP/2230461.23981476.html>, (11.05.2011).

## Utvrđivanje prirode sajber sukoba

Uprkos rastućem broju sajber napada, u međunarodnoj javnosti se često može uočiti pogrešan stav o njihovoj prirodi, koja se meša sa sajber kriminalom, terorizmom, špijunažom<sup>9</sup> ili propagandom i informacionim operacijama [2]. U stvarnosti, broj slučajeva sajber ratovanja je mnogo manji od ukupnog broja sajber napada.<sup>10</sup> Najveći broj sajber napada odnosi se na sajber kriminal, odnosno na situacije u kojima je prekršen krivični zakon neke države i (ili) međunarodni propisi krivičnog prava. U tim slučajevima prekršioci su pojedinci ili kriminalne organizacije koji podležu sankcijama nacionalnih i međunarodnih krivičnih propisa u skladu sa prihvaćenim pravilima jurisdikcije pravnih sistema. U načelu, sajber terorizam je specifičan slučaj sajber kriminala<sup>11</sup> koji predstavlja upotrebu sajber prostora radi ostvarivanja terorističkih ciljeva na način kako to definišu nacionalni i međunarodni propisi. Drugi specifičan slučaj sajber kriminala je sajber špijunaža, koja je u principu legalna u međunarodnim okvirima<sup>12</sup> i zabranjena nacionalnim propisima ukoliko ju je pokrenuo protivnik [3], a dozvoljena ukoliko služi sopstvenim nacionalnim interesima.<sup>13</sup> Ključna razlika između sajber kriminala i ratovanja ogleda se u tome da li su u te aktivnosti uključeni politički akteri koji imaju međunarodnopravni subjektivitet.<sup>14</sup> S obzirom na okolnost da se za sajber ratovanje i kriminal koriste ista sredstva, metode i tehnike, radi izbegavanja njihovog mešanja neophodno je od-

<sup>9</sup> Nacionalno krivično pravo ima specifičan odnos prema špijunaži, jer koristi subjektivnu odgovornost (u načelu, isto delo je nezakonito ukoliko ga izvršava protivnik, a dozvoljeno je ako je usmereno ka protivniku).

<sup>10</sup> Ni za jedno konkretno dejstvo u sajber prostoru još uvek nije dokazano da ima prirodu državne agresije u skladu sa međunarodnim pravom, iako postoje mnogobrojne sumnje.

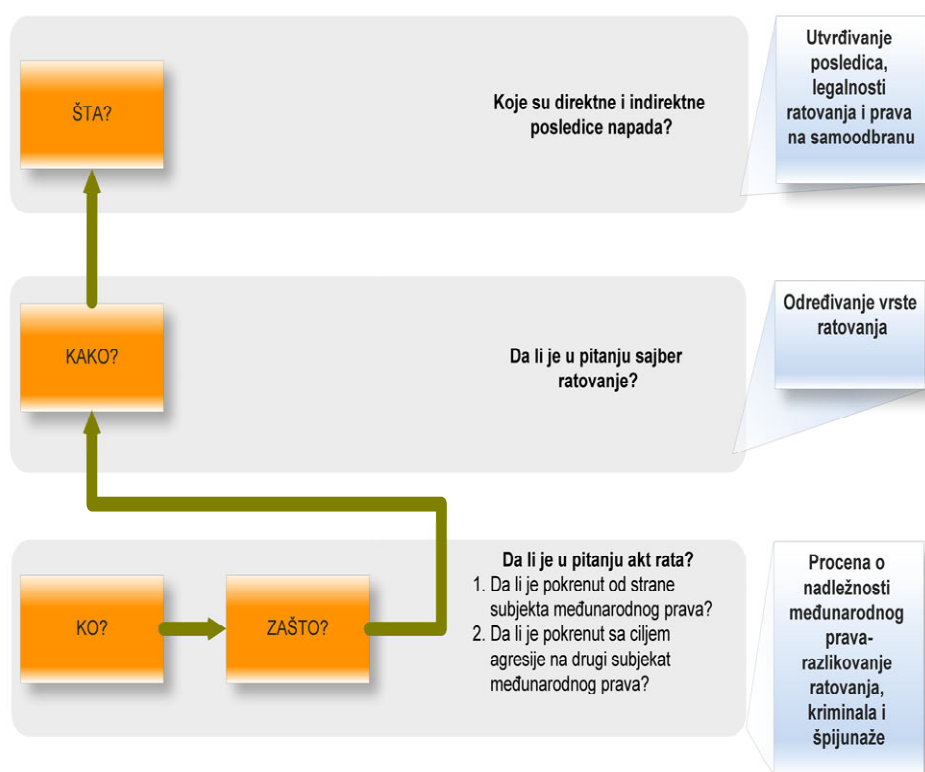
<sup>11</sup> Pojam sajber terorizma i terorizma u opštem slučaju nije međunarodno definisan.

<sup>12</sup> Konvencija o poštovanju zakona i običaja rata na kopnu (IV Haška konvencija) i njen aneks IV: Uredba o zakonima i običajima rata na kopnu, član 24, 18. oktobar 1907, (u nastavku Haška konvencija IV). „Ratna lukavstva i primena mera koje su neophodne radi prikupljanja podataka o neprijatelju i njegovoj državi, se smatraju dozvoljenim“, [http://avalon.law.yale.edu/20th\\_century/hague04.asp](http://avalon.law.yale.edu/20th_century/hague04.asp), (17.03.2008).

<sup>13</sup> Tomas Wingfield, naučni istraživač vašingtonskog Potomak instituta za političke studije, smatra da pravo na primenu špijunaže predstavlja neotuđivi deo prava na samoodbranu svake države i tvrdi: „Bečka konvencija o diplomatskim odnosima iz 1961. godine prepoznaje pravo država da se uključe u špijunske aktivnosti u miru, a državna praksa učestvovanja u prikrivenim obaveštajnim aktivnostima predstavljaju neotuđivi deo u međunarodnim odnosima i politici“. Thomas C. Wingfield, „The Law of Information Conflict: National Security Law in Cyberspace“, Aeagis Research Corporation, 2000. godine. Međunarodno pravo oružanih sukoba predviđa obaveštajna dejstva u toku sukoba i reguliše ih. Zato se obaveštajni rad može smatrati aktivnošću u nadležnosti krivičnog prava, ali i prava oružanih sukoba ukoliko je preduzeta kao vojna aktivnost, posebno u vreme oružanog sukoba.

<sup>14</sup> Ono reguliše odnose između svih subjekata međunarodnog prava. Iako ne postoji jedinstven stav, u načelu to su države i međunarodne organizacije. To znači da međunarodno pravo reguliše odnose između država, između država i međunarodnih organizacija i između i unutar samih međunarodnih organizacija. Određeni međunarodnopravni subjektivitet (uglavnom uži od onog koji imaju države i međunarodne organizacije) se priznaje i raznim kvazidržavama, kvazimeđunarodnim organizacijama, specifičnim subjektima (Svetoj Stolici u Vatikanu, Malteškom viteškom redu i sličnim organizacijama), društvenim grupama (narodima, manjinama i slično), čovečanstvu kao celini, pa čak i pojedincima. Stoga, međunarodno pravo oružanih sukoba reguliše odnose između država, između država i međunarodnih organizacija i između i unutar samih međunarodnih organizacija.

rediti identitet učesnika sukoba i njihove motive (ciljeve ili namere). Samo u slučaju da je napad preduzeo neki subjekt međunarodnog prava sa nametom da počinji akt agresije nad drugim subjektom međunarodnog prava može se smatrati da je reč o ratovanju. U tome se krije trenutno najvažniji problem određivanja prirode sajber napada, jer je tehnološki teško, ili čak nemoguće, u realnom vremenu utvrditi identitet napadača (ko), njegove namere (zašto) i sredstva ili metode napada (kako). Ako i kada se utvrde odgovori na ova pitanja neophodno je utvrditi neposredne i posredne posledice napada (šta se desilo?), kako bi se moglo primeniti međunarodno pravo koje reguliše ratovanje.



Slika 1 – Prikaz toka utvrđivanja prirode sajber ratovanja  
Figure 1 – Flowchart of determining the nature of cyber warfare

Zato polazne i ujedno najvažnije činjenice pri određivanju da li neki sajber napad predstavlja akt rata predstavljaju podaci o tome ko je počinilac napada i sa kojom namerom je pokrenut. Odgovor na prvo pitanje određuje prirodu sukoba – da li je reč o ratovanju ili kriminalnu (odnosno u posebnim slučajevima – terorizmu i špijunaži), a odgovor na drugo pitanje daje potvrdu agresije, jer se ne može smatrati da je reč o ratovanju ukoliko

je do štete po napadnutog došlo nenamerno ili bez utvrđene odgovornosti države iz koje je potekao napad. Tek u slučaju potvrdnog odgovora na oba pitanja može se razmatrati priroda napada (da li je reč o sajber ili nekom drugoj vrsti ratovanja) i koje su posledice napada, kako bi se u skladu sa međunarodnim pravom oružanih sukoba utvrdila legalnost napada i pravo na samoodbranu napadnute strane (slika 1). Utvrđivanje sredstava, odnosno načina napada, pruža odgovor samo o vrsti sukoba, a ne i o njegovoj prirodi, s obzirom na to da sredstva sajber ratovanja obično imaju osnovnu mirnodopsku namenu, a da njegove metode mogu primenjivati svi akteri podjednako, od pojedinaca do saveza država.

Iako se broj napada u sajber prostoru neprestano povećava, u većini slučajeva je gotovo nemoguće tehnički utvrditi njihovu pravu prirodu. Pošto se pri sajber kriminalu, špijunaži i ratovanju primenjuju iste metode, tehnike i sredstva, razlikuje ih jedino činjenica ko su napadači i da li postoji odgovornost države za napad. U praksi se razlikuju i posledice napada. Osim toga, svi slučajevi sukoba između subjekata međunarodnog prava ne predstavljaju stanje rata. S druge strane, rat može biti formalno proglašen od zvaničnih predstavnika država, ali to nije neophodan uslov da bi on postojao (u slučaju *de facto* sukoba). Svaki rat ima svoje faze, a najčešće mu prethode razni oblici početnih sukoba, koji najčešće nemaju status ratnih aktivnosti, ali koji imaju potencijal da eskaliraju u stanje rata u slučaju da se ne pronađe mirno rešenje. Čak i u slučaju kada se dogodi ratni sukob između zaraćenih strana, malo je verovatno da će se on voditi isključivo u formi sajber ratovanja [2, str. 7, 81]. S druge strane, brz razvoj tehnologije i pogodnosti koje pruža sajber ratovanje vode ka širokoj i intenzivnoj upotrebi sajber sredstava u svrhu ratovanja u formi asimetričnog dejstva, kao katalizatora za efikasniju primenu sredstava tradicionalnog (kinetičkog) ratovanja, za psihološko- propagandne informacione operacije u sajber prostoru i presudnog faktora koji omogućava mrežnocentrično ratovanje.

Priroda sajber ratovanja je prilično nejasna. Posledica toga je veliki broj različitih termina u upotrebi<sup>15</sup> i odsustvo opšteprihvaćene definicije. Za shvatanje pojma „sajber ratovanje“ potrebno je razumeti razliku između termina rat i ratovanje. U načelu, rat predstavlja stanje neprijateljstva ili sukoba (obično otvorenog, objavljenog i oružanog) među državama ili nacijama, ali i period trajanja takvog sukoba, čiju osnovu čini oružana borba. On se ne svodi samo na oružanu borbu, već uključuje i druge oblike sukoba (politički, psihološki, propagandni, ekonomski, itd.).<sup>16</sup> Ratova-

<sup>15</sup> U engleskom jeziku postoji veliki broj različitih termina koji se odnose na sukobe u sajber prostoru i često se međusobno poistovećuju: *cyberwar* (*cyber war*), *ivar*, *infowar*, *netwar*, *information warfare*, *electronic warfare*, *network centric warfare*, *cybernetic warfare*, *computer network warfare*, *cybernetic war* i drugi. U službenim obraćanjima javnosti predstavnici američke vlade za sajber napad ravnopravno upotrebljavaju termini *cyber attack*, *cyberattack* i *cyber-attack*

<sup>16</sup> Grupa autora, *Вojни лексикон*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1981.

nje predstavlja samu aktivnost (proces) koja se vodi između suprotstavljenih strana koje su u stanju rata, podrazumevajući upotrebu oružja i metoda za vođenje te aktivnosti. Ono može imati uže i šire značenje. U skladu sa prirodom savremenih sukoba, obuhvata širok spektar svih mogućih (oružanih i neoružanih) aktivnosti usmerenih prema suparniku sa ciljem da mu se nametne volja.<sup>17</sup> Ono može imati i uže značenje, jer se može odnositi samo na vođenje sukoba oružjem ili nesmrtonosnim metodama sukoba u nekoj specifičnoj oblasti (ratovanje pravom, informaciono ratovanje, pomorsko ratovanje, kosmičko ratovanje, sajber ratovanje, itd.). Ratovanje nije ograničeno isključivo na upotrebu oružja, već i na primenu drugih, direktno nesmrtonosnih sredstava, metoda i tehnika. U slučaju sukoba u sajber prostoru adekvatnije je govoriti o ratovanju nego o ratu. Malo je verovatno da će dve države voditi rat isključivo u sajber prostoru i tako ograničiti vlastite kapacitete na jednu vrstu vojnog dejstva. Takva dejstva će verovatnije biti integrisana u druge vidove sukoba. Pošto se državna odgovornost za sajber napade teško može dokazati, protivnici ne moraju da u kontinuitetu preduzimaju ratne aktivnosti, već ih mogu ograničiti na pojedinačne operacije ili napade. Nemogućnost utvrđivanja napadača dovodi do situacije da se sajber operacije preduzimaju i protiv nedeklarisanih protivnika, pa čak i između saveznika. Takva dejstva u sajber prostoru mogu imati stratejski, operativni ili taktički nivo, obuhvatajući borbene ili neborbene aktivnosti radi ostvarivanja vojnog ili političkog cilja.<sup>18</sup> Stoga je za najveći broj vojnih aktivnosti u sajber prostoru najprikladniji termin sajber operacija. Najčešće primenjivana dejstva imaju ofanzivni karakter, poput napada, preventivne odbrane, sajber odvratanja<sup>19</sup> ili sajber špijunaže. Iako je sajber ratovanje po prirodi neodvojivo povezano sa sajber prostorom, većina njegovih operacija se delom ili u celini ne odvija isključivo u njemu (zbog prirode sistema visoke važnosti koji po pravilu nisu uvezani na internet), pa stoga ni izrazi „sajber operacije“, „sajber napad“, „sajber ratovanje“ ili „sajber rat“ nisu terminološki najprikladniji u opštem slučaju.<sup>20</sup> Međutim, njihova upotreba jeste opravdana s obzirom na globalnu zastupljenost ovog termina u političkoj, vojnoj i akademskoj sferi i posmatranje celokupne sajber infrastrukture.

<sup>17</sup> Prema američkom vojnom teoretičaru Ričardu Šafranskom, ratovanje je „skup svih borbenih i neborbenih aktivnosti koje se preduzimaju da bi se potčinila suprotstavljena volja protivnika ili oponenta. Ratovanje, u ovom smislu, nije sinonim za rat. Ratovanje ne zahteva objavu rata niti zahteva postojanje uslova koji se u najširem smislu smatraju kao „stanje rata“. Cilj ratovanja nije uvek da se protivnik ubije, već da se potčini. Protivnik je potčinjen kada se ponaša na način koji se podudara sa načinom na koji protivnik želi da se on ponaša“. Richard Szafranski, „A Theory of Information Warfare“, *Airpower Journal*, 1995. godine, <http://iwar.org.uk/iwar/resources/airchronicles/szfran.htm>, (10.5.2010).

<sup>18</sup> Joint Publication 1-02, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms* Military dictionary.

<sup>19</sup> U vojnoj doktrini SAD u najčešćoj upotrebi je termin *cyber deterrence*.

<sup>20</sup> U Ruskoj strategiji odbrane ovakav vid odbrane postoji isključivo kao deo informacionih operacija, dok u zapadnoj akademskoj zajednici postoje predlozi da se termin *cyber* koji asocira na sajber prostor zameni terminom *cybernetic* (kibernetički).

## Šta je sajber prostor?

Najvažnija karakteristika sajber ratovanja je da se ono delom, ili u potpunosti, odvija u sajber prostoru ili kroz njega (delovanjem iz sajber prostora na fizički svet i obrnuto). Stoga je određenje pojma „sajber prostor“ od suštinske važnosti za razumevanje sajber ratovanja. Iako njegovo etimološko poreklo potiče iz starogrčkog jezika,<sup>21</sup> reč je o relativno novom pojmu. Od kada je prvi put upotrebljen<sup>22</sup> vremenom mu se menjalo značenje, a taj proces je još uvek u toku. Definicija američkog ministarstva odbrane može se prihvatiti kao najcitiranija u stručnoj vojnoj literaturi: „Sajber prostor je globalno područje u okviru informacionog okruženja koje sačinjava međuzavisna mreža infrastrukture informacionih tehnologija, uključujući internet, telekomunikacione mreže, računarske sisteme i ugrađene procesore i kontrolere.“<sup>23</sup> Ipak, ona ne navodi protokole koji omogućavaju tok informacija, softver i same informacije koje se čuvaju, obrađuju i kreću informacionim mrežama, a koje su cilj dejstva sajber napada. Moderno shvatanje podrazumeva da je sajber prostor globalna oblast (sredina) obrade, razmene, stvaranja i uništavanja informacija između umreženih informacionih sistema, koji omogućavaju odgovarajući protokoli i fizička osnova [4, str. 20].

Sajber prostor ne može postojati bez svoje materijalne osnove koja se prostire u svim fizičkim područjima sveta (na kopnu, u moru, vazduhu i svemiru).<sup>24</sup> Iako njegov naziv implicira prostiranje i zahvatanje nekog područja (postojanje fizičkih dimenzija), to važi samo za njegovu fizičku osnovu (dimenziju) koja se prostire u navedenim fizičkim područjima.<sup>25</sup>

Takođe, on je veštačka tvorevina stvorena aktivnošću ljudi, čija je infrastruktura u privatnom ili državnom vlasništvu. Ove karakteristike daju pravo državama da ostvaruju vlastiti suverenitet nad njegovim delovima. Najbitnije svojstvo sajber prostora nisu granice, već aktivnost čiji rezultat je da se nematerijalna suština izjednačava sa kvalitetom materijalnih stvari. Stoga sajber prostor ne treba shvatiti kao prostorno područje, već kao spe-

<sup>21</sup> *Κυβερνητικός* (κυβερνητικός) - upravljati, kormilariti, usmeravati. U knjizi *Kibernetika i komunikacija kod životinja i mašina* (MIT Press, 1948), autor Norbert Viner je termin *kibernetika* upotrebio u kontekstu upravljanja složenim sistemima u životinjskom svetu i mehaničkim sistemima, a kasnije i u kontekstu integracije i interakcije ljudi ili životinja sa mašinama.

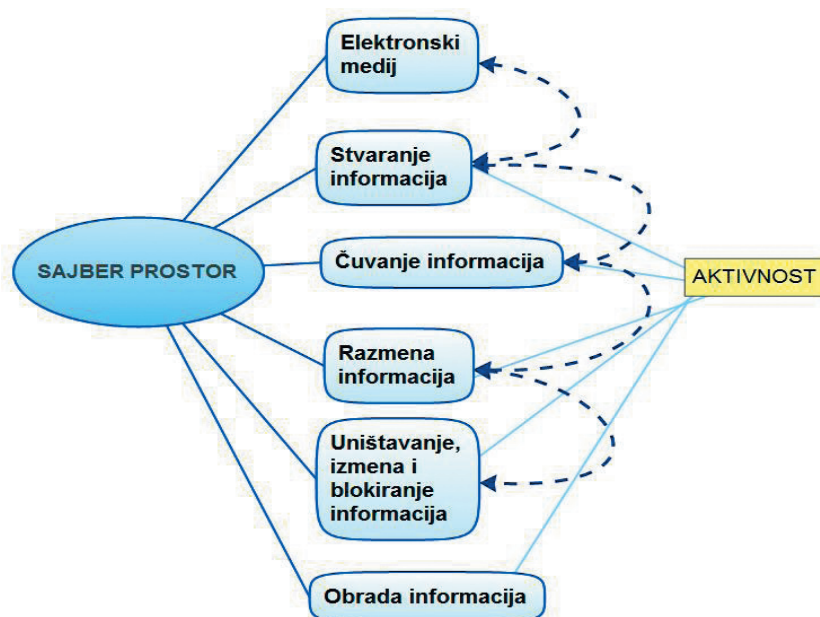
<sup>22</sup> Upotrebio ga je pisac Vilijem Gibson u naučnofantastičnoj noveli *Neuromancer* iz 1984. godine u nameri da opiše „zajedničku virtuelnu okolinu čije se stanovništvo, objekti i prostor mogu videti, čuti i dodirnuti“, [www.ipowerweb.com/hostingdictionary](http://www.ipowerweb.com/hostingdictionary), (12.05.2009).

<sup>23</sup> Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms.

<sup>24</sup> David T. Fahrenkrug, „*Cyberspace Defined*“, Air War College, Maxwell Air Force Base, Alabama, 2002. godina.

<sup>25</sup> „Sajber prostor nije fizičko područje, on ispoljava svoju meru u svakoj fizičkoj dimenziji. On je skraćeni termin koji se odnosi na okruženje stvoreno zajedničkim uticajem računarskih mreža, informacionih sistema i telekomunikacione infrastrukture, koja se obično podrazumeva *World Wide Web*-om“. Thomas C. Wingfield, *The Law of Information Conflict: National Security Law in Cyberspace*, Aegis Research Corp, 2000. godine.

cifičnu aktivnost. U užem smislu, sajber prostor je skup informacija, računarskih sistema i mreža (kablovskih ili bežičnih) i aktivnosti među njima.<sup>26</sup> Po širem, pored navedenih elemenata, on obuhvata i celokupnu infrastrukturu i aktivnosti u elektromagnetnom spektru.<sup>27</sup> Ovakav stav ne podržavaju svi, jer se elektromagnetno zračenje koristi u komunikaciji duže od veka, a sajber prostor tek nekoliko decenija. Međutim, razvoj tehnologije i digitalizacija informacija vode ka objedinjavanju svih elektronskih aktivnosti u sajber prostoru.<sup>28</sup>



Slika 2 – Osnovne karakteristike sajber prostora  
Figure 2 – Basic characteristics of cyber space

Sajber prostor nije samo internet, već ga čine sve informacione mreže, kao i sve što ih povezuje i kontroliše. Neke od njih nisu povezane na internet ili im to nije ni svrha.<sup>29</sup>

<sup>26</sup> Department of National Defence, *Nature of Future Environments: Cyberspace Environment Version 1.0*, Chief of Force Development, Director of Future Security Analysis, mart 2009.

<sup>27</sup> United States Department of Defense, Joint Chief of Staff, *National Military Strategy for Cyberspace Operations*, decembar 2006.

<sup>28</sup> Clay Wilson, *Information Operations, Electronic Warfare, and Cyberwar: Capabilities and Related Policy Issues*, CRS Report for Congress, Updated March 20, 2007, Congressional Research Service, RL31787, <http://www.fas.org/sgp/crs/natsec/RL31787.pdf>, (28.11.2010).

<sup>29</sup> Razne ad hok mreže, mreže senzora u prodavnicima ili skladištima, mreže bankomata, elektronskih sistema za naplatu, finansijske, berzanske i mnoge druge.



## Šta je sajber ratovanje?

Jedinstvena, opšteprihvaćena definicija sajber ratovanja još uvek ne postoji. Ono se često meša sa sajber kriminalom, špijunažom ili elektronskim ratovanjem.<sup>30</sup> Da bi sajber sukob imao prirodu ratovanja, neophodno je da ima karakter organizovane agresije jednog subjekta međunarodnog prava na drugi (u načelu, agresija jedne države na drugu). Zbog ovog zahteva većina dosadašnjih sajber napada nema karakter ratovanja. Izmena web stranice Narodne skupštine Republike Srbije od strane albanskih hakera u vreme mirnodopskih odnosa Srbije i Albanije se ne može oceniti aktom agresije ili rata, već je to oblik sajber kriminala koji podleže nadležnosti zakona Republike Srbije. Nekada sajber kriminal može imati veoma komplikovan oblik. Na primer, kriminalno delo u sajber prostoru može počiniti izvršilac u jednoj državi, primenom resursa u drugoj državi, pri čemu se žrtva tog dela nalazi u trećoj državi (ili je pod njenom jurisdikcijom). Stoga često može doći do sukoba u nadležnostima, s obzirom na postojanje različitih vrsta jurisdikcija<sup>31</sup> (nacionalna, teritorijalna, univerzalna ili zaštitna) na koje se države mogu pozvati [5, str. 786–787]. Bez obzira na nadležnost, osnovna karakteristika kriminalnih dela je da su ih počinili subjekti koji nemaju međunarodni subjektivitet (nedržavni učesnici).<sup>32</sup> Specifičan oblik kriminala u sajber prostoru je sajber terorizam, koji predstavlja upotrebu sajber prostora u terorističke svrhe, kako ih definišu nacionalni i međunarodni propisi.<sup>33</sup> U slučaju terorizma, razgraničavanje nadležnosti i definisanje prirode sukoba je složenije nego kod sajber kriminala. Pošto se u slučaju terorizma dešava oružani napad (agresija) koji vrši nedržavni činilac, postavlja se pitanje odgovornosti države porekla napada. Odgovor na ovo pitanje je složen i njegovo tuma-

<sup>30</sup> Ahmad Kamal, *The Law of Cyber-Space*, United Nations Institute of training and Research, Geneva, 2005, 92-918-038-8, strana 76, <http://www.un.int/kamal/thelawofcyberspace/The%20Law%20of%20Cyber-Space.pdf>, (18.03.2010).

<sup>31</sup> Iako se termini „nadležnost“ i „jurisdikcija“ u praksi uglavnom koriste kao sinonimi, neki autori pominju razliku između njih. Nadležnost određuje stvarnu i mesnu nadležnost sudova, kao i odabir nadležnosti po kojoj sud postupa u datoj pravnoj stvari s obzirom na vrstu predmeta. Pojmu jurisdikcije u materijalnom pravu odgovara pojam krivične vlasti, koja predstavlja ovlašćenje države da postupa u odnosu prema prekršiocima i u odnosu prema drugim državama i da na određeno krivično delo primeni svoje krivično zakonodavstvo. Mogući su slučajevi da država ima krivičnu vlast, ali ne i nadležnost suđenja, ali i obrnuta situacija da država ima jurisdikciju, ali ne i krivičnu vlast. Pošto je razlika nadležnosti i jurisdikcije neznatna u praksi, ovi pojmovi se najčešće koriste kao sinonimi. Maja Munivrana, „Univerzalna jurisdikcija“, *Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu*, Vol. 13, broj 1/2006. strana 191.

<sup>32</sup> Prvi i najpoznatiji multilateralni sporazum koji reguliše sajber kriminal je Konvencija Saveta Evrope o sajber kriminalu iz 2001. godine.

<sup>33</sup> I sam pojam terorizma u međunarodnim okvirima nije precizno definisan, a opšti preovlađujući stav se menjao tokom vremena. Njegova priroda se posebno teško definiše pri primeni u sajber prostoru.

čenje varira u odnosu na stranu koju neka država zauzima u incidentu. Na primer, SAD su u upotrebu uvele institut „državnog terorizma“, primenile ga u slučaju Libije 1986. godine i čak objavile „rat teroru“ napadom na Avganistan 2003. godine.

Zbog prirode sajber ratovanja postoje dileme da li njegovo direktno dejstvo (nekinetičko) uopšte predstavlja agresiju i primenu oružane sile I, ako je odgovor potvrđan, u kojim okolnostima. S obzirom na to da u globalnim razmerama postoji više otvorenih nego rešenih pitanja u vezi sa prirodom sajber ratovanja, da bi se ona lakše razumela praktično je analizirati vojne doktrine dve vodeće vojne sile – SAD i Rusije. Između njihovih opštih stavova postoji konceptijsko neslaganje oko pojma i značenja sajber ratovanja [4, str. 16].

U politici odbrane SAD sajber ratovanje je dugi niz godina bilo čvrsto asocirano sa informacionim ratovanjem. Zajedničkom doktrinom američke vojske za informacione operacije<sup>34</sup> iz 1998. godine informacione operacije su definisane kao „aktivnosti preduzete radi uticaja na informacije i informacione sisteme protivnika uz istovremenu odbranu sopstvenih informacija i informacionih sistema“, pri čemu su računarski mrežni napadi (*Computer Network Attack – CNA*) njihov sastavni deo, definisan kao „operacije koje se preduzimaju sa ciljem da se izazove prekid, poremećaj, onemogućavanje pristupa ili uništenje informacija koje se nalaze u računarima i računarskim mrežama, kao i samih računara i mreža“.<sup>35</sup> Termin „informaciono ratovanje“ je u vojnoj terminologiji vremenom zamenjen terminom informacione operacije, koji je evoluirao u integrisanu upotrebu elektronskog ratovanja, računarskih mrežnih operacija, psiholoških operacija, obezbeđenja operacija i drugih pridruženih aktivnosti radi izazivanja prekida, narušavanja, prisvajanja ili uticaja na protivničko donošenje odluka od strane ljudi ili automatizovanih sistema uz istovremenu zaštitu vlastitog donošenja odluka [6, str. 175]. Njihov krajnji cilj je izazivanje željenog ponašanja rukovodstva ili stanovništva protivničke države i zaštita sopstvenog.<sup>36</sup> Iako su računarski mrežni napadi i dalje deo informacionih operacija, područje sajber ratovanja sve više postaje samostalno polje vojnih operacija čija se sredstva, metode, tehnike, ljudski kapaciteti, doktrina i strategija najbrže razvijaju. Tako teče inverzan proces u odnosu informacionog i sajber ratovanja u kojem je težište vojnih dejstava u informacionom području stavljeno na aktivnosti u sajber prostoru. Sajber prostor se smatra novim područjem ratovanja pored kopna, mora, vazduha i svemira i omogućava mnogobrojne vidove ispoljavanja

<sup>34</sup> Joint Doctrine for Information Operations JP 3-13, 9 October 1998, [www.iwar.org.uk/iwar/resources/us/jp3\\_13.pdf](http://www.iwar.org.uk/iwar/resources/us/jp3_13.pdf), (18.01.2009).

<sup>35</sup> Isto.

<sup>36</sup> Information Operations, Joint Publication 3-13, 13 February 2006, [http://www.fas.org/irp/doddir/dod/jp3\\_13.pdf](http://www.fas.org/irp/doddir/dod/jp3_13.pdf), (12.01.2010).

vojnih dejstava, od informacionih operacija i propagande, preko špijunaže, pa sve do izazivanja fizičkog uništenja ciljeva protivnika zavisnih od informacionih sistema. Američka koncepcija sajber ratovanja postavlja težište na njegov tehnološki aspekt i direktno dejstvo na informacije i informacione sisteme. Pri tome se prihvata činjenica da informacije postoje i izvan sajber područja, ali se smatra da je potrebno staviti fokus zanimanja na sajber područje s obzirom na njegov rastući uticaj na društvo, privredu i vojne aktivnosti. Digitalizacija informacija, sadržaja, procesa i servisa i primena informacionih tehnologija u svim oblastima društvenih aktivnosti, uključujući i vojsku, veoma je visoka, pa se s pravom može očekivati i široka zastupljenost računarskih mrežnih operacija. Taj proces je posebno izražen u oblasti medija i telekomunikacija. Stoga vojnu primenu sajber prostora i termin računarske mrežne operacije, pored Međunarodne strategije za sajber prostor<sup>37</sup> i Strategije Ministarstva odbrane za operacije u sajber prostoru<sup>38</sup> obrađuju i tri važna borbena pravila američke vojske: *Joint Publication 3-13 (Information Operations)*, *Joint Publication 3-13.1 (Electronic Warfare)* i *Joint Publication 6-0 (Joint Communications System)*. Iako su ovim pravilima informacione operacije, elektronsko ratovanje i sajber ratovanje međusobno kategorisani u odnosu celina prema delovima, njihov odnos ne treba da se shvati hijerarhijski, već kao međuzavistan. Hronološki redosled njihovog pojavljivanja na svetskoj sceni je najviše doprineo ovakvoj taksonomiji, ali takva podela sve više gubi na značaju, najviše zbog naglog razvoja i porasta značaja sajber prostora u odnosu na druge dve kategorije i u generalnom slučaju. Stoga se informacione operacije, elektronsko i sajber ratovanje ne mogu posmatrati odvojeno, već kao specifični delovi jedinstvenog polja ofanzivnih i defanzivnih vojnih operacija [7]. Pored toga, postoje i drugi važni razlozi zbog kojih se težište u američkom pristupu stavlja na tehnološki oblik sajber bezbednosti. Pošto imaju razvijenu informacionu strukturu, visok stepen zavisnosti društva od informacionih tehnologija i usvojene doktrine aktivnog odvracanja neprijatelja, SAD se u međunarodnim okvirima zalažu za ograničavanje sajber napada prvenstveno na kritične društvene sisteme. Iako ovaj pojam ne postoji u postojećem pravu oružanih sukoba (sistemu Haških i Ženevskih konvencija), savremena doktrina SAD smatra da se njihova kritičnost ogleda u suštinskom značaju za obezbeđivanje funkcionisanja društva, ekonomske stabilnosti, nacionalne bezbednosti i života ljudi [8, str. 10–14]. Koristeći sopstveni dominantni medijski položaj na globalnom nivou, SAD se intenzivno zalažu za stanje u kojem informaciona bezbednost nijedne države ne sme uključivati nikakav oblik cenzure u

<sup>37</sup> International Strategy For Cyberspace, The White House, May 2011, [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss\\_viewer/internationalstrategy\\_cyberspace.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/internationalstrategy_cyberspace.pdf), (18.05.2011).

<sup>38</sup> Department of Defense Strategy for Operating in Cyberspace, DoD, July 2011, <http://www.defense.gov/news/d20110714cyber.pdf>, (17.07.2011).

sajber prostoru, niti državnu kontrolu nad stavom naroda [9]. Svest o potrebi postojanja i očuvanja slobode stava ne mora postojati u celom društvu, već ulogu predvodnika treba da imaju najsvesniji i najobrazovaniji deo populacije neke nacije. Istovremeno, svaka aktivnost neke vlade da preduzme psihološke operacije protiv vlastitog stanovništva je za američku administraciju u ovom pogledu nedopustiva [10].<sup>39</sup> Nacionalna odbrambena strategija SAD je jasno definisala sajber prostor kao novo područje vođenja vojnih operacija,<sup>40</sup> u kojem se sajber oružje smatra podjednako važnim kao i konvencionalno i nuklearno oružje. Sajber napad na kapacitete SAD smatra se „ekvivalentom“ oružanog napada na koji će biti odgovoreno u skladu sa odlukom državnih organa.<sup>41</sup>

Sjedinjene Države su započele snažnu inicijativu u pravcu razvoja nacionalnih kapaciteta za sajber ratovanje. Ona se ogleda u više dimenzija: u novoj strategiji za vojne, diplomatske i političke aktivnosti u sajber prostoru na međunarodnom nivou, doktrini za angažovanje američke vojske, izgradnji komandi<sup>42</sup> i izvršnih kapaciteta za sajber ratovanje,<sup>43</sup> angažovanju odbrambene industrije na razvoju i proizvodnji sredstava za sajber ratovanje i akademskih institucija za razvoj novih metoda, tehnika i sredstava pod okriljem državnih agencija za odbrambeno-bezbednosne poslove. Po planu Ministarstva odbrane SAD, celokupna informaciona sredstva i oprema trebalo bi da se obnavljaju svakih 12 do 36 meseci, umesto sedam do osam godina, koliki je sadašnji proseki.<sup>44</sup> Američki list

<sup>39</sup> Nedoslednost se ogleda u činjenici da Vojska SAD razvija metode i sredstva za informacione operacije u sajber prostoru usmerene prema stanovništvu protivničkih država.

<sup>40</sup> Keith B. Alexander, "Warfighting in Cyberspace", *Joint Forces Quarterly*, 31. jul 2007, <http://www.military.com/forums/0,15240,143898,00.html>, (19.04.2010).

<sup>41</sup> Siobhan Gorman, Julian E. Barnes, „Cyber Combat: Act of War“, *The Wall Street Journal*, 31 May 2011, <http://online.wsj.com/article/SB10001424052702304563104576355623135782718.html>, (11.06.2011).

<sup>42</sup> U.S. Cyber Command (USCYBERCOM) je deo U.S. Strategic Command. Njen načelnik ima položaj generala najvišeg čina (pet zvezdica). Na to mesto je postavljen general Kit Aleksander, koji je istovremeno i načelnik *National Security Agency* (NSA). <http://www.stratcom.mil/>.

<sup>43</sup> Vojska SAD je angažovala preko 21.000 vojnika u svojim sajber jedinicama u svim njenim vidovima (ratnom vazduhoplovstvu, mornarici i kopnenim snagama). Kevin Baron, "Fort Belvoir to host cyber command", *Stars and Stripes*, 23. maj 2010. godine, <http://smartgirlpolitics.ning.com/profiles/blogs/cyber-command-established-to>, (20.06.2010). Za sajber dejstva se ne obučava samo specijalizovano ljudstvo, već i svi drugi pripadnici oružanih snaga. Postoje planovi američke vojske da vrši obuku iz sajber ratovanja za svakog pojedinačnog pripadnika vojske. Dan Elliot, „U.S. Cyber Force To Start Training In Cyberwarfare“, *The Huffington Post*, 12. april 2010. godine, [http://www.huffingtonpost.com/2010/04/12/us-air-force-to-start-training-in-cyberwarfare\\_n\\_534693.html](http://www.huffingtonpost.com/2010/04/12/us-air-force-to-start-training-in-cyberwarfare_n_534693.html), (29.05.2010); Camille Tuuti, "Naval Academy Plans \$100 M Cyber-Warfare Education Center", *The New New Internet*, 29. juna 2010,

<http://www.thenewnewinternet.com/2010/06/29/naval-academy-plans-100m-cyber-warfare-education-center/>, (29.06.2010).

<sup>44</sup> Michael Ono, „Cyber Threat Will Force Pentagon to Buy Faster and Change Culture“, *ABC News*, 22 June 2011, <http://abcnews.go.com/Technology/cyber-threat-force-pentagon-buy-computers-faster-change/story?id=14127592>, (28.06.2011).

*The Washington Post* sproveo je višegodišnje istraživanje – projekat pod nazivom *Top Secret America* u kojem je navedeno postojanje 165 vladinih, vojnih i privrednih organizacija koje za potrebe SAD vrše zadatke, proizvodnju i istraživanja u oblasti sajber operacija.<sup>45</sup> Projektovani ukupni budžetski izdaci Ministarstva odbrane SAD u području informaciono-komunikacionih tehnologija za 2011. godinu su 36,6 milijardi dolara.<sup>46</sup>

S obzirom na nemogućnost potpune odbrane od sajber napada, američka vojna doktrine sve više koristi termin odvratanje,<sup>47</sup> koji podrazumeva izgradnju vlastitih nadmoćnih kapaciteta za sajber (i tradicionalno) ratovanje radi zastrašivanja potencijalnih napadača posledicama odmazde [6]. Da bi se postigao takav cilj neophodno je ostvariti informacionu superiornost u prikupljanju, kontrolisanju, iskorišćavanju i odbrani informacija. Savremeno informaciono okruženje sačinjavaju fizičko, informaciono i sazajno područje. Integrisanje svih navedenih oblika dejstava u toku informacionih operacija pruža visok stepen pouzdanosti za pobeđu protiv svakog protivnika, bio on zavisen od informacionih tehnologija ili ne, jer će se uvek naći onaj skup tehnika i sredstava koji je potreban za nadmoć nad njim. Time se njihovo uobičajeno značenje odnosi prvenstveno na nekinetičke ili „meke“ oblike dejstava nasuprot primeni kinetičkih smrtonosnih i nesmrtonosnih dejstava.<sup>48</sup> To znači da računarske mrežne operacije, kao deo integrisanih informacionih operacija koje su usmerene na nekinetička dejstva, imaju uže značenje u odnosu na savremeno značenje sajber ratovanja koje podrazumeva sve vrste vojnih dejstava u kojima se direktno napadaju protivnički informacioni sistemi, s tim da posredne posledice mogu biti i fizičko uništenje infrastrukture (ili ljudi) koji zavise od tih sistema. Te operacije se delom ili u celini odvijaju u ili kroz sajber prostor.<sup>49</sup> Navedene računarske mrežne operacije sastoje se od napadačkih, odbrambenih i obaveštajnih aktivnosti (*computer network exploitation*) pri čemu se poslednja aktivnost ne smatra sajber

<sup>45</sup> <http://projects.washingtonpost.com/top-secret-america/network/#/single/functions/cyber-ops/> (13.10.2010).

<sup>46</sup> Po podacima *Federal IT Dashboard*, veb sajta američke vlade za prezentovanje i statističku obradu federalnih troškova SAD, <http://www.itdashboard.gov/>, (22.07.2011).

<sup>47</sup> Zamenik načelnika Združenog Generalštaba Vojske SAD, general Kartrajt je prilikom predstavljanja nove Strategije Ministarstva odbrane za operacije u sajber prostoru izjavio: „Nadam se da će u toku ove decenije ukupna nastojanja Ministarstva odbrane u oblasti sajber dejstava promeniti sa sadašnjih 90% fokusa na odbranu na 90% fokusa na odvratanje“. Julian E. Barnes and Siobhan Gorman,

„Cyber Plan Has New Focus on Deterrence“, *The Wall Street Journal*, 15 July 2011, <http://online.wsj.com/article/SB10001424052702304521304576446191468181966.html>, (16.07.2011).

<sup>48</sup> Information operations Primer, U.S. Army War College, November 2006, Carlisle, Pennsylvania, <http://www.iwar.org.uk/iwar/resources/primer/info-ops-primer.pdf>, (12.12.2009).

<sup>49</sup> Cyberspace operations, Air Force Doctrine Document 3-12, 15 July 2010, <http://www.e-publishing.af.mil/shared/media/epubs/afdd3-12.pdf>, (12.01.2011).

ratovanjem.<sup>50</sup> Samo sajber ratovanje se, prvenstveno, shvata kao aktivno delovanje, to jest ofanzivno dejstvo na protivnika,<sup>51</sup> bilo u funkciji napada ili preventivne odbrane. Tako sajber ratovanje u američkoj strategiji postaje sve bitniji oblik vojno-političkog dejstva na protivnika u skladu sa novim, popularnim državnim konceptom „pametne moći“ za ostvarivanje spoljnodiplomatskih ciljeva [12]. Po njemu se svi državni ciljevi u međunarodnim odnosima ostvaruju primenom kapaciteta „tvrde moći“ (ekonomija i vojna sila), „meke moći“ (diplomacija, mediji, sajber prostor i međunarodni imidž) i „pametne moći“<sup>52</sup> (kombinovanje prethodna dva instrumenta radi optimalnog dejstva). Pored toga, ono postaje nezamenljiv oblik vojnog dejstva u doktrini mrežnocentričnog ratovanja i predstavlja osnovni tehnološki faktor koji omogućava njen budući razvoj. U oblasti odbrane od sajber napada težište u civilnom sektoru je na zaštiti kritične nacionalne infrastrukture [11, str. 1, 8], a u vojnom sektoru na zaštiti globalne informacione mreže Ministarstva odbrane (*Global Information Grid – GIG*) koju čini preko sedam miliona računara uvezanih u 15.000 računarskih mreža [11, str. 1].

Drugačiji pogled na područje sajber ratovanja ima grupa država čiji je konceptualni predvodnik Rusija.<sup>53</sup> Pored tehnološkog vida ispoljavanja sajber ratovanja, Rusija ističe značaj i drugih pretnji iz sajber prostora poput informacionih operacija usmerenih prema domaćem stanovništvu ciljane države. Takve operacije se pokreću prikriveno ili otvoreno sa ciljem političkog manipulisanja delom ili celokupnim stanovništvom, iniciranjem i širenjem opozicionih protesta i mobilisanjem neformalnih društvenih grupa čije su aktivnosti usmerene ka rušenju vladajućih režima ili destabilizaciji državnog i društvenog sistema. U Vojnoj doktrini Ruske Federacije [13] i Doktrini informacione bezbednosti Ruske Federacije [14] nisu korišćeni temini sa prefiksom *sajber* (bezbednost, ratovanje ili operacija) već isključivo termini *informaciona bez-*

<sup>50</sup> Američko ministarstvo odbrane termin „računarska mrežna eksploatacija“ definiše kao aktivnost koja se preduzima radi „vojnih operacija i obaveštajnog skupljanja podataka upotrebom računarskih mreža u svrhu prikupljanja podataka od protivničkih automatizovanih sistema ili mreža“. Joint Publication 1-02, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, str. 113. Treba imati u vidu da se prodiranje u protivničke računare, sisteme i mreže u cilju obaveštajnih aktivnosti i sajber ratovanja razlikuje po ciljevima i pravnom okviru. S druge strane, metode, tehnike i osnovne karakteristike su skoro identične u oba slučaja.

<sup>51</sup> Na primer, američko ratno vazduhoplovstvo smatra da „Sajber prostor podstiče ofanzivne operacije...što je neprijatelj zavisniji od sajber prostora, to ofanzivne operacije u sajber prostoru imaju veći potencijal da izazovu jače efekte“. Air Force Cyber Command Strategic Vision, mart 2008. godine,

<http://www.afcyber.af.mil/shared/media/document/AFD-080303-054.pdf>, (18.09.2009).

<sup>52</sup> Smart Power Initiative, Center For Strategic & International Studies, <http://csis.org/program/smart-power-initiative>, (12.04.2011).

<sup>53</sup> U ovu grupu se mogu svrstati Rusija, Kina, ostale države okupljene oko Šangajske organizacije za saradnju, deo bliskoistočnih i arapskih država (Iran, Sirija, Alžir, Egipat, Maroko...), deo latinoameričkih država (Brazil, Čile, Nikaragva, Kuba, Venecuela...), afričkih (Etiopija, Madagaskar, Mali, Sudan, Kongo), azijskih (Mjanmar, Vijetnam, Indija...) i veliki broj zemalja u razvoju.

bednost i ratovanje, pri čemu je podrazumevano da je bezbednost u sajber prostoru deo ukupne informacione bezbednosti.<sup>54</sup> U opštoj perspektivi informacione bezbednosti Rusije polazna tačka je sveukupno informaciono područje u kojem postoje prirodne i veštačke informacije i u okviru kojeg postoji više nezavisnih komponenti, a sajber prostor je samo jedna od njih. Osnovni tipovi pretnji prema informacionoj bezbednosti Rusije su: pretnje prema ustavnim pravima i slobodama građana i svesti pojedinaca, grupa i društva Rusije; pretnje usmerene ka informacionoj bezbednosti državne politike; pretnje usmerene prema nacionalnoj informacionoj i telekomunikacionoj industriji i zahtevima domaćeg tržišta i pretnje prema bezbednosti informacija i informacionih sistema.<sup>55</sup> U navedenim doktrinama prepoznata je opasnost od ugrožavanja tehničkih informacionih sistema i kritično važne infrastrukture, ali je težište sajber pretnji pomerenom ka njihovoj upotrebi prema stanovništvu i javnom mnjenju, zbog čega je zabranjeno stvaranje monopola u kreiranju, prikupljanju ili širenju informacija, nadziranju stanovništva, sakrivanju bitnih informacija od javnosti, nezakonita upotreba specijalnih sredstava za ostvarivanje uticaja na svest pojedinaca, grupa ili društva, monopolizacija informacionog tržišta, sprečavanje funkcionisanja ruskih informativnih agencija i masovnih medija u unutrašnjem informacionom prostoru i jačanje njihove zavisnosti od politike stranih informativnih agencija, blokiranje funkcije državnih medija i bilo kakva manipulacija informacijama (dezinformacije, izvrtanje ili prikrivanje informacija).<sup>56</sup> Pri tome su kao glavni strani izvori pretnji prepoznate aktivnosti stranih političkih, ekonomskih, vojnih, obaveštajnih i informativnih struktura usmerene protiv Ruske Federacije, nastojanje nekih država da dominiraju u svetskoj informacionoj sferi i deluju protiv interesa Rusije, aktivnosti međunarodnih terorističkih organizacija, obaveštajne aktivnosti stranih država i razvoj koncepta informacionog ratovanja stranih država usmerenih ka drugim državama, narušavanju normalnog funkcionisanja informacionih i komunikacionih sistema, informacionih resursa i neovlašćenog pristupa tim resursima. Kao veštačka tvorevina ljudi, sajber prostor se shvata kao područje tehnološkog manifestovanja informacija. Informaciona bezbednost se po tom shvatanju sastoji od ljudskog, društvenog, duhovnog i tehničkog (sajber) područja.<sup>57</sup> Stoga je ruski stav da predmet pregovora i buduće rezolucije mo-

<sup>54</sup> U februaru 2010. godine, Rusija je zvanično objavila novu vojnu doktrinu za narednu deceniju. Ni ova doktrina ne pominje samostalno sajber bezbednost ili Internet, već se bavi aspektom informacione bezbednosti, koji po ruskoj doktrini obuhvata Internet, medije i sajber bezbednost. Военная доктрина Российской Федерации, 5. февраля 2010. године, [http://news.kremlin.ru/ref\\_notes/461](http://news.kremlin.ru/ref_notes/461), (17.05.2010).

<sup>55</sup> Доктрина информационной безопасности Российской Федерации (утверждена Президентом Российской Федерации В. Путиным 9 сентября 2000 г., № Пр-1895), глава VI, § 2, <http://www.scrf.gov.ru/documents/5.html>, (18.04.2011).

<sup>56</sup> Isto.

<sup>57</sup> Skup ovih elemenata informacionog prostora čini kritični informacioni prostor, definisan od strane nacionalnog zakonodavstva i odgovarajućih međunarodnih sporazuma. Доктрина

ra biti sveukupnost informacionog delovanja između država. Pored napada na kritično važnu infrastrukturu i klasičnih napada u sajber prostoru, ruski pristup smatra podjednako opasnom agresijom i širenje dezinformacija, dezorijentisanje i uticaj na volju stanovništva, kao i podrivanje državnog ekonomskog i društvenog sistema psihološkim manipulacijama stanovništva radi destabilizovanja društva [15]. To praktično znači da bi svaka informaciona operacija koju pokreće neka država ili savez država protiv druge države trebalo da bude kvalifikovana kao akt mešanja u unutrašnje poslove i suverenitet Rusije i akt agresije [16, str. 35–42].

Rezultat ovakvog stava je decenijsko nastojanje Rusije da se u okviru institucija Ujedinjenih nacija ograniči i zabrani neprijateljsko delovanje jedne države prema drugoj primenom informacionih operacija. Na konferenciji UN o razoružanju, održanoj 2008. godine u Ženevi, predstavnik ministarstva odbrane Ruske federacije jasno je naveo stav da svaki put kada neka strana vlada namerno širi informacije na internetu sa ciljem podrivanja ili rušenja vlade druge države, to se u međunarodnim odnosima mora kvalifikovati kao agresija, koja treba da se smatra nezakonitom u duhu Povelje UN, pri čemu „bilo koji pravedni cilj, poput promovisanja demokratije, ne može biti upotrebljen kao opravdanje za takve akcije“ [17].

Na multilateralnoj konferenciji o kolektivnoj bezbednosti azijskih država, *Šangajskoj organizaciji za saradnju*,<sup>58</sup> održanoj 2009. godine u Rusiji, na predlog države domaćina, punopravne članice ove organizacije<sup>59</sup> usvojile su sporazum o informacionoj bezbednosti koji se još oštrije suprotstavlja namerama SAD u oblasti vojno-političkog regulisanja sajber prostora.<sup>60</sup> U njemu su kao glavne pretnje po međunarodnu informacionu bezbednost označeni:

- razvoj i upotreba informacionih oružja, priprema za vođenje i vođenje informacionog rata,
- informacioni terorizam,
- informacioni kriminal,
- upotreba dominantne pozicije neke države u informacionom prostoru radi nanošenja štete bezbednosti i interesima drugih država,
- širenje informacione štete društvenim, političkim i ekonomskim sistemima, kao i duhovnim, moralnim i kulturnim sferama drugih država,
- prirodne i/ili veštačke pretnje po bezbedan i stabilan rad svetskih i nacionalnih informacionih infrastruktura.

информационной безопасности Российской Федерации (утверждена Президентом Российской Федерации В. Путиным 9 сентября 2000 г., № Пр-1895), <http://www.scrf.gov.ru/documents/5.html>, (18.04.2011).

<sup>58</sup> <http://www.sectsko.org/EN/secretary.asp>

<sup>59</sup> Kazahstan, Kina, Kirgizija, Tadžikistan i Uzbekistan i Rusija.

<sup>60</sup> Agreement Between the Governments of the Member States of the Shanghai Cooperation Organization on Cooperation in the Field of International Information Security, [http://media.npr.org/assets/news/2010/09/23/cyber\\_treaty.pdf](http://media.npr.org/assets/news/2010/09/23/cyber_treaty.pdf), (12.03.2011).



Uvidom u suprotstavljenost stavova ove dve velike grupe država može se uočiti njihovo nastojanje da situaciju u sajber prostoru<sup>61</sup> prilagode sopstvenim nacionalnim interesima. Sjedinjene Države ostvaruju globalnu tehnološku i medijsku dominaciju u sajber prostoru,<sup>62</sup> pri čemu im nacionalna i vojna infrastruktura izrazito zavisi od sajber prostora. One stoga žele da odvrate potencijalne protivnike od napada na sopstvene resurse i da istovremeno ostvare snažno medijsko-informaciono i tehnološko dejstvo na protivnika. To dejstvo se često obrazlaže zaštitom demokratije i ljudskih prava [10], [18], a za to se nalazi uporište i u stavovima poznatih međunarodnih nevladinih organizacija za zaštitu ljudskih prava [19]. Sjedinjene Države konstantno vrše politički pritisak na Kinu, Iran, Burmu, Kubu, Siriju i druge države, nastojeći da podstaknu javno nepoverenje lokalnog stanovništva u institucije domaćih vlada.<sup>63</sup> Na međunarodnom nivou SAD javno kritikuju svaki vid državnog nadzora i cenzure na političkom nivou. Istovremeno, u nacionalnim okvirima vlada SAD nastoji da obezbedi široku kontrolu privatnih informacija lica radi zaštite od kriminala i radi očuvanja bezbednosti. Američki provajderi telefonskih usluga već decenijama imaju zakonsku obavezu da na period od 18 meseci čuvaju podatke o svim obavljenim telefonskim razgovorima i predaju ih na zahtev organa bezbednosti.<sup>64</sup> Nadzor nad ličnim podacima u SAD, posebno u sajber prostoru je naročito porastao nakon donošenja Patriot akta<sup>65</sup> 2001. godine. Iako je osnovna svrha ovog akta bilo odvracanje i sankcionisanje stranog terorizma i obezbeđivanja nacionalne bezbednosti SAD, on je imao široku primenu i u unutrašnjim i međunarodnim okvirima, uzrokujući mnogobrojne žalbe na njegovu zloupotrebu.<sup>66</sup>

Stav Rusije je drugačiji, pošto ona ne ostvaruje globalnu dominaciju u sajber prostoru, a nacionalna i vojna infrastruktura su joj manje zavisne od sajber prostora. U skladu s tim, Rusija nastoji da izgradi što snažnije ofanzivne kapacitete za uništenje ili špijuniranje protivničkih ciljeva, uz istovremenu zaštitu vlastitog informacionog (posebno medijskog) prostora.

<sup>61</sup> U globalnom delu, ali i u delovima u kojima važe domaći i strani suvereniteti.

<sup>62</sup> Po podacima američke kompanije za evidenciju Internet domena, *Domain Tools*, na svetu postoji 3.365.173.248 IP adresa u 239 država, od kojih se 1.526.701.977 ili 46% nalazi na teritoriji SAD. U toj državi se nalazi i najveći broj regulatornih tela za standardizaciju i nadzor Interneta, podatak preuzet sa sajta [www.domaintools.com](http://www.domaintools.com) (02.07.2011).

<sup>63</sup> Yongnian Zheng, *Technological Empowerment: The Internet, State, and Society in China* 103-34, Stanford University Press, 2008. godina. Zheng zaključuje da je Internet "odigrao važnu ulogu u uspostavljanju političke liberalizacije u različitim aspektima kao što su politička otvorenost, transparentnost i odgovornost".

<sup>64</sup> 47 C.F.R. § 42.6 Retention of telephone toll records., Title 47 – Telecommunication, § 42.6 Retention of telephone toll records, [51 FR 39536, Oct. 29, 1986].

<sup>65</sup> *Uniting and Strengthening America by Providing Appropriate Tools Required to Intercept and Obstruct Terrorism Act of 2001* (PATRIOT Act), (Public Law, 107-56), <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-107publ56/content-detail.html>, (27.04.2010).

<sup>66</sup> Uz izuzetak opravdanih slučajeva kada u cilju spečavanja terorizma i dečije pornografije ove podatke mogu zatražiti i strane države potpisnice Konvencije Saveta Evrope o sajber kriminalu, <http://www.cybertelecom.org/security/treaty.htm>, (12.03.2009).

U načelu, stav SAD dele članice NATO-a i pridružene članice,<sup>67</sup> a ruski stav mnogo širi krug država, uključujući njene najbliže saveznike, većinu država trećeg sveta, Kinu, Brazil i Indiju. Rusija je dala doprinos regulisanju novih međunarodnih pretnji koje proističu iz upotrebe informaciono-komunikacionih tehnologija podnošenjem predloga rezolucije tokom 53. zasedanja Generalne skupštine UN 1998. godine [20]. Ova početna inicijativa predstavila je osnovne principe obezbeđivanja međunarodne bezbednosti u oblasti informacione bezbednosti i usvojena je bez glasanja, a Rusija ju je sledećih godina redovno podnosila na usvajanje Generalnoj skupštini. U narednom periodu su i druge države predstavile svoje viđenje ovog problema i isticale različite prioritete u skladu sa nacionalnim interesima. Generalna skupština UN je 2001. godine uspostavila Grupu vladinih eksperata za razvoj u oblasti informacija i telekomunikacija u kontekstu međunarodne bezbednosti koja je zasedala u periodu 2004–05. godine.<sup>68</sup> Republika Srbija do i nakon objavljivanja stalne vojne neutralnosti u međunarodnoj javnosti nije predstavljala svoj stav o principima vojne primene sajber prostora, ali je 2008. godine, kao supredlagač, pristupila predlogu ruske rezolucije *Doprinosi u polju informacija i telekomunikacija u kontekstu međunarodne bezbednosti* na Generalnoj skupštini UN 2008. godine, zajedno sa još 22 države. Na glasanju povodom rezolucije 167 država je prihvatilo ovaj predlog, dok su protiv bile jedino SAD [21].

Granica između ratovanja i „mekih“ sukoba u toku mira (koji mogu biti usmereni i protiv suparnika i protiv saveznika) sve je nejasnija. Sajber ratovanje je postalo novo sredstvo koje se kreće između vojne i političke opcije. Iako se glavne nesuglasice odigravaju u informacionoj sferi, informaciono ratovanje i sajber prostor ne bi trebalo da se posmatraju u istoj ravni. Informaciono ratovanje treba posmatrati, prvenstveno, u kontekstu funkcije, a sajber ratovanje u kontekstu sredstava, metoda i sredine ratovanja. Sajber operacije mogu biti deo informacionih operacija, ali isto tako i informacione operacije mogu biti deo sajber operacija (na primer, namerno organizovanje i podsticanje opozicionih nemira u nekoj državi primenom sajber prostora radi obaranja rukovodstva protivničke države).

U toku sajber sukoba moguće su defanzivne, ofanzivne i obaveštajne operacije (slika 3). Između ovih oblasti postoji visok stepen međuzavisnosti, jer se retko nezavisno primenjuju. U sajber prostoru naročito nestaje granica između odbrane i napada. Sajber odbrana predstavlja sveukupnu primenu sredstava i dejstava za zaštitu, odbijanje i oporavak od preduzetog sajber napada. Ona podrazumeva otkrivanje, izolovanje, neutralizaciju i izveštava-

<sup>67</sup> Iako postoje izuzeci u skladu sa unutrašnjom političkom situacijom, kao u slučaju nadzora medijskog sajber prostora arapskih država – partnera SAD na Bliskom istoku (Tunis, Jemen, Saudijska Arabija, Bahrein, Egipat).

<sup>68</sup> General Assembly, Developments in the Field of Information and Telecommunications in the Context of International Security, UN document A/RES/56/19, 7 January 2002, <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/476/28/PDF/N0147628.pdf?OpenElement>, (16.03.2011).

nje o napadu, kao i obnovu funkcionisanja sistema. Pošto je u sajber prostoru gotovo nemoguće sprečiti napade protivnika, sve veća pažnja posvećuje se proaktivnoj odbrani koja se realizuje kroz odvracanje i prevenciju napada. Efikasnost strategije odbrane najbolje se vidi na sposobnosti nekog sistema da apsorbira sajber napade i nastavi sa funkcionisanjem. Na primer, *DDoS* napad<sup>69</sup> na Estoniju u proleće 2007. godine u potpunosti je onеспособio rad elektronske uprave, vladinih sistema, najvećih medijskih kuća i banaka.<sup>70</sup> S druge strane, masovan *DDoS* napad<sup>71</sup> pokrenut u leto 2009. godine istovremeno sa više od 200.000 računara uvezanih u *BotNet* mrežu<sup>72</sup> delovanjem računarskog crva *W32.Dozer* (varijanta poznatog crva *Mydoom*) na vladine i berzanske sajtove SAD i Južne Koreje nije uspeo da onеспособi ni sajt Bele kuće, jer je on bio distribuiran na serverima u računarskom oblaku.<sup>73</sup> Čak i pasivne mere odbrane moraju biti proaktivne, poput primene *honeypot* zamki kojima se mogu namamiti i otkriti potencijalni napadači. U sajber ratovanju nije efikasno preduzimati protivmere samo kada se napad već desio, pa zato defanzivne operacije uključuju i mere preventivnog uništenja protivničkih kapaciteta za sajber ratovanje, što poništava granice između klasične odbrane i napada i često ima međunarodne implikacije s obzirom na (ne)opravdanost takvih akcija u skladu sa međunarodnim pravom.

Cilj svakog sajber napada je da se ofanzivnom upotrebom sajber oružja<sup>74</sup> uništi cilj napada ili da mu se trajno ili privremeno nanese šteta narušavanjem ili sprečavanjem funkcije. Sajber napadom može se napasti cilj u sajber prostoru, ali i van njega u fizičkom svetu. Pre napada je

<sup>69</sup> *Denial of service attack (DoS)* je vrsta sajber napada čija je svrha da se žrtvi onemogući da raspolaze vlastitim računarskim resursima. Tipična meta ovakvih napada su komercijalni i drugi javni *web* serveri i *web* stranice za koje napadači žele da budu nedostupne korisnicima. Njihov metod je prilično jednostavan: preopterećenje mreže, servera ili komunikacionih kanala do njih, ostvareno slanjem ogromnog broja zahteva za pristup i zahteva za podacima sa jednog ili mnogo napadačkih računara. Po procenama stručnjaka, kada se delovanjem računarskih crva napravi mreža od preko 100.000 „zombi“ računara, napadač stiče moć da njihovim aktiviranjem u *DDoS* napadu onemogući rad bilo kog servera na svetu, pa čak i celog *DNS* sistema Interneta.

<sup>70</sup> Mark Landler & John Markoff, „Digital Fears Emerge after Data Siege in Estonia”, *The New York Times*, 29. maja 2007, <http://www.nytimes.com/2007/05/29/technology/29estonia.html>, (15.03.2010).

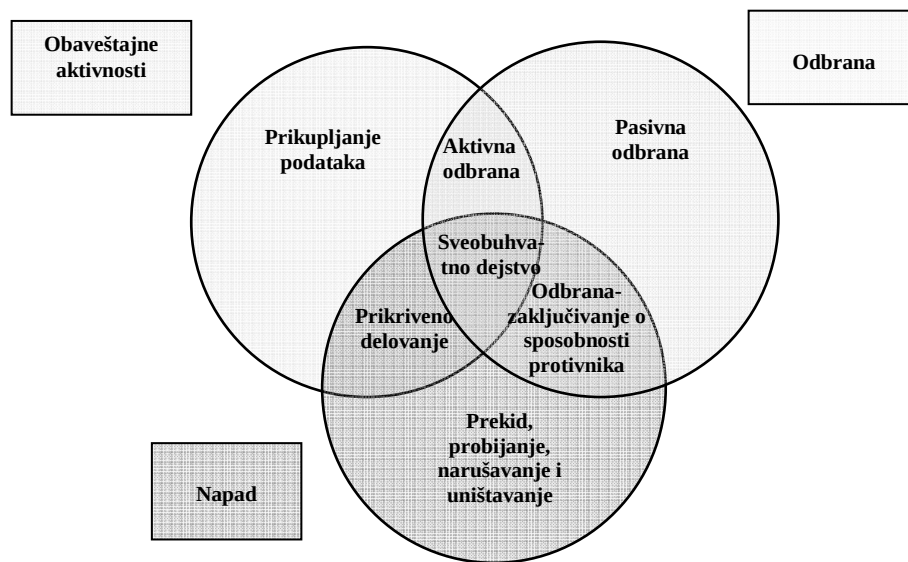
<sup>71</sup> July, 2009 South Korea and US DDoS Attacks, Arbor Networks ASERT Team, 10 July 2009, [http://www.idcun.com/uploads/pdf/July\\_KR\\_US\\_DDoS\\_Attacks.pdf](http://www.idcun.com/uploads/pdf/July_KR_US_DDoS_Attacks.pdf), (11.09.2010).

<sup>72</sup> Nastaju širenjem neke vrste zlonamernog koda.

<sup>73</sup> Akamai Security Solutions, [http://www.akamai.com/html/solutions/security/ddos\\_defense.html](http://www.akamai.com/html/solutions/security/ddos_defense.html), (11.09.2010).

<sup>74</sup> Iako ne postoji jedinstven stav o tome šta predstavlja sajber oružje, iz dosadašnjih stavova stručne javnosti i međunarodne prakse mogu se izneti njegove zajedničke karakteristike: sajber oružje je sredstvo (metod ili tehnika) koje se koristi u sajber napadu na protivnika sa ciljem izazivanja efekata ekvivalentnih ili identičnih upotrebi tradicionalnog oružja sa kinetičkim i termodinamičkim dejstvom. Ono je po svojoj prirodi novo, jer ima osobine koje do njegove pojave nisu karakterisale ni jednu vrstu oružja. Ono se karakteriše kao primena matematičke (računarske) logike, direktno dejstvo ostvaruje na informacije, informacione sisteme i sisteme automatizovane kontrole, a posredno dejstvo može izazvati kinetičke, kognitivne i političke posledice. Njegova sredstva uglavnom imaju primarnu civilnu namenu, donja granica njihove dostupnosti je niska, mogu biti relativno jeftina, mogu imati trenutno ili odloženo dejstvo.

neophodno izvršiti obaveštajne aktivnosti u sajber prostoru i preduzeti potrebne mere odbrane vlastitih sistema i mreža, a aktivna odbrana podrazumeva preduzimanje napada i obaveštajnih aktivnosti.



Slika 3 – Presek vojnih sajber dejstava  
Figure 3 – Intersection of military cyber operations

Treba imati u vidu da sajber ratovanje spada u grupu nekinetičkih vojnih dejstava, ali da njegove posredne posledice mogu biti fizičko uništenje napadnutih i zavisnih sistema i ranjavanje i smrt ljudi. Karakterističan primer za to mogu biti sve češći napadi na elektroenergetsku infrastrukturu,<sup>75</sup> a za neke od njih može se opravdano posumnjati da imaju prirodu ratovanja, poput napada na iransko nuklearno postrojenje Bušer primenom računarskog crva *Stuxnet* [22]. Ovaj maliciozni program ugrozio je rad elektronskih uređaja kompanije *Siemens* u iranskom nuklearnom postrojenju za koje Izrael i SAD smatraju da se koristi za tajni program razvoja nuklearnog oružja. Njegovo postojanje je otkriveno odloženo, nakon perioda dejstva od najmanje godinu dana. S druge strane, podmetanjem hardverskih komponenti u uređaje namenjene ciljanim sistemima ili jednostavnim dejstvom fizičkom silom na infrastrukturu sajber prostora<sup>76</sup> mogu se ostvariti vojna dejstva u obrnutom smeru [23, str. 11–16].

<sup>75</sup> Na primer, u izveštaju kompanije za računarsku bezbednost *McAfee* obrađen je pokušaj poznatog sajber napada *Night Dragon* u kome su kombinacijom raznih hakerskih tehnika izvršeni koordinisani napadi prodiranja u informacione sisteme desetine međunarodnih energetskih, naftnih i gasnih kompanija od 2009. do 2011. godine

<sup>76</sup> Uništenje nuklearnog postrojenja u izgradnji u Siriji od strane avijacije Izraela. Napad je najverovatnije pripremljen presretanjem internet veze i fizičkim ubacivanjem programiranog softvera u elektronsku

Na osnovu navedenog, može se izvesti zaključak da sajber ratovanje predstavlja ofanzivnu i defanzivnu primenu sajber oružja i informacija, koju su pokrenuli ili organizovali državni akteri radi uništavanja ili onesposobljavanja<sup>77</sup> protivničkog cilja direktnim dejstvom na informacije i informacione sisteme i posrednim dejstvom na sisteme, sredstva, servise, procese, društvo i pojedince koji zavise od tih informacija i informacionih sistema, kao i radi odbrane vlastitih kapaciteta od takvih dejstava protivnika. Sajber ratovanje se izvodi, delimično ili u celini, upotrebom sajber prostora, aktivnostima u njemu ili kroz njega. Pošto se značenje pojma sajber prostor menja u skladu sa njegovim tehnološkim razvojem, očekivana je i evolucija pojma sajber ratovanje.<sup>78</sup> Minimalističko shvatanje podrazumeva da se sajber ratovanje odnosi isključivo na dejstva u informacionim mrežama [24], a najšire podrazumeva bilo kakvu upotrebu informacionih sistema, njihovih mreža, kibernetičkih sredstava (računara, senzora i sl.) i celokupnog elektromagnetnog spektra [25, str. 9]. Ova razlika u stavovima postoji čak i u okviru zvaničnih organa jedinstvenih nacionalnih doktrina.<sup>79</sup> Sajber ratovanje se ne vodi isključivo nad informacijama i informacionim sistemima, niti se u potpunosti vodi u sajber prostoru. Ono predstavlja aktivnost sa veoma širokim područjem delovanja, usmereno na celokupnu sajber infrastrukturu koju čine ljudi, procesi i sistemi koji grade sajber prostor [4, str. 21]. Tačnije, sajber infrastrukturu sačinjava okruženje (objekti, sredstva, fizička infrastruktura, prostor na kopnu, moru, vazduhu i svemiru u kome se nalaze ta infrastruktura i sredstva), energija koja omogućava rad informacionih sistema i postrojenja, hardver (procesori, računari i njihovi sklopovi, optički i drugi kablovi i provodnici i slično), softver (mašinski, korisnički, sloja veze, elektronske baze podataka i slično), mreže (mrežni uređaji, komunikacije,

komunikaciju sirijske vojske, koja je uticala na nepravilan rad radarskog sistema vazdušne odbrane. The Associated Press, „AP Exclusive: Syria's referral to UN likely”, 28. april 2011, [http://www.google.com/hostednews/ap/article/ALeqM5giVZqW\\_3nO6EOyIY8ssYt4OWREIA?ocId=a4f81851bc4f4ce58a5cff36f9951cee](http://www.google.com/hostednews/ap/article/ALeqM5giVZqW_3nO6EOyIY8ssYt4OWREIA?ocId=a4f81851bc4f4ce58a5cff36f9951cee), (28.04.2011).

<sup>77</sup> Oštećenjem, degradiranjem, sprečavanjem funkcije, izmenom ili generisanjem.

<sup>78</sup> Najčešće shvatanje sajber prostora je da je on skup svih računarskih mreža uvezanih u celinu u kojoj se podaci kreću u skladu sa načinom na koji to regulišu internet protokoli, a najšira definicija obuhvata celokupan elektromagnetni analogni i digitalni saobraćaj u računarskim mrežama, mrežama mobilne telefonije, bežičnim i žičanim radio-talasnim, ad hok i svim drugim oblicima telekomunikacionog prenosa signala.

<sup>79</sup> Združena komanda američke vojske ima stav koji definiše sajber ratovanje kao područje vojnih operacija koje utiču na elektromagnetni spektar koje uključuju i operacije na računarskim mrežama i elektronsko ratovanje. Elektronsko ratovanje po Združenoj komandi američke vojske obuhvata aktivnosti pri kojima se upotrebljavaju sve vrste elektromagnetnih talasa na svim frekvencijama, poput radio, mikrotalasnih, usmerenih talasa i druge i preklapa se sa mrežnim ratovanjem koje uključuje radio mreže, satelitske veze, taktičke digitalne informatičke veze (TADIL), telemetriju, digitalne podatke, telekomunikacijske i bežične komunikacijske mreže i sisteme (*Air Force Doctrine Document 2-5*, 5). U vojnoj nauci i vojnim doktrinama, oblast elektromagnetnog spektra se izuzetno detaljno proučava, a tim područjem ratovanja se bavi zasebna disciplina – elektronsko ratovanje. U nekim vojnim doktrinama ona je samostalna vojna disciplina za podršku osnovnim snagama, dok je u doktrini NATO zemalja deo šire oblasti – informacionih operacija.

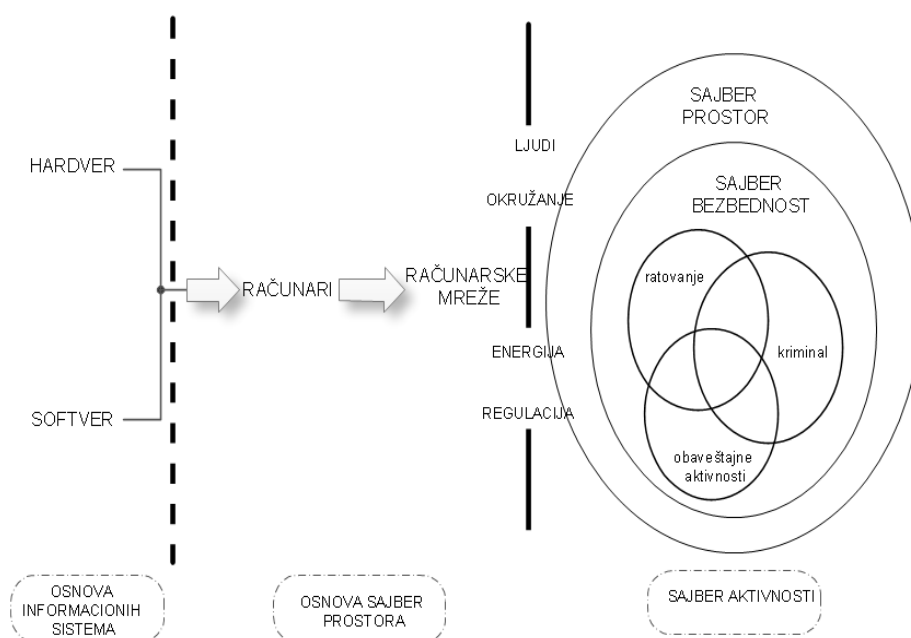
topologije i slično), sadržaj (informacije i datoteke koje se čuvaju i kreću u sistemima i mrežama, mrežni i statistički podaci koji nastaju automatizovano u računarskim sistemima i mrežama i slično), ljudi (programeri, administratori, operateri, osoblje za održavanje, korisnici) i regulative (propisi, sporazumi, standardi i drugo) [26, str. 1–4]. Važno je razumeti da prirodu sajber ratovanja određuju primenjena sredstva i metode, a ne priroda cilja [4, str. 34]. Sajber napad predstavlja ofanzivnu upotrebu sajber oružja na sajber cilj, ali i na tradicionalan cilj (nesajber). S druge strane, upotreba tradicionalnog napada kinetičkim sredstvom na sajber cilj (na primer, bombardovanje računarskog centra ili fizičko uništenje računara) ili na tradicionalni cilj (raketiranje žive sile bespilotnom letelicom kojom se upravlja sa daljine putem sajber prostora) ne predstavlja sajber ratovanje.

Sajber ratovanje ostvaruje direktno i posredno dejstvo. Direktno dejstvo predstavlja uticaj na informacione ciljeve (informacije, procese, servise i informacione sisteme), a posredno dejstvo je u pogledu ratovanja važnije i predstavlja posledicu direktnog dejstva na ljude, sredstva, sisteme i objekte koji zavise od tih informacionih ciljeva, odnosno sajber infrastrukture. Očigledno je da je sajber ratovanje usmereno na širok skup ciljeva. Najveće probleme u definisanju sajber ratovanja predstavlja određivanje da li upotreba propagande, medijskog uticaja ili bilo kog oblika informacionih operacija putem sajber prostora predstavlja sajber ratovanje, kao i gde je granica između sajber ratovanja, terorizma i kriminala.

Na osnovu navedenog mogu se izneti osnovne karakteristike sajber ratovanja:

- Sajber ratovanje predstavlja primenu informacija, informacionih sredstava i sajber prostora u svrhu vođenja međunarodnih sukoba.
- Odvija se u potpunosti ili delimično u sajber prostoru ili kroz sajber prostor.
- Direktno dejstvo sajber napada nema prirodu kinetičkog dejstva, ali njegove posledice (posredno dejstvo) mogu biti i fizičko uništenje sredstava i ranjavanje ili ubijanje ljudi.
- Sajber napadi mogu imati trenutno ili odloženo dejstvo.
- Operacije sajber ratovanja mogu ostati neotkrivene i nakon što ostvare dejstvo.
- Napadači su najčešće prikriveni i nije poznata njihova priroda (ne moraju biti pripadnici oružanih snaga, već i civili ili unajmljeni informatički stručnjaci).
- Sajber ratovanje zamagluje razliku između civila i boraca i po pitanju napadača i po pitanju ciljeva.
- Sredstva kojima se vrše sajber napadi najčešće imaju osnovnu mirnodopsku namenu.
- Napadi mogu imati distribuiran izvor, ali i cilj.
- U većini slučajeva je teško ili nemoguće utvrditi državnu odgovornost za pokretanje sajber napada.

- Sajber ratovanje može imati nisku cenu primene u odnosu na ostvarene efekte napada u poređenju sa tradicionalnim ratovanjem.
- Ima mrežnocentrično i asimetrično dejstvo.
- Ono se ne odvija u zasebnom području kao isključivo vojna aktivnost, već velikim delom ima presek sa sajber kriminalom i špijunažom, od kojih ga razlikuje samo namera pokretača napada, a ne sredstva, metode i tehnike.
- Priroda, sredstva i posledice sajber ratovanja se brzo menjaju u skladu sa tehnološkim razvojem.
- Ne postoji međunarodno prihvaćen stav šta konstituiše sajber ratovanje, niti međunarodne pravne regulative.



Slika 4 – Šematski prikaz prirode sajber dejstava  
Figure 4 – Schematic view of the nature of cyber operations

Navedene karakteristike sajber ratovanja čine ga specifičnim u odnosu na druge vrste sukoba. Da bi se ograničilo nehumano postupanje prema protivniku i ispoštovala pravila ratovanja propisana međunarodnim pravom oružanih sukoba, neophodno je da se njegove odredbe primene i na aktivnosti i situacije sajber ratovanja. Međutim, to je veoma teško s obzirom na okolnost da se sajber ratovanje ne odvija isključivo u području međudržavnog ratovanja, već često zalazi u područja kriminala i ljudskih pra-

va (i obrnuto). Posledica toga je nemogućnost efikasnog regulisanja sajber ratovanja isključivom primenom prava oružanih sukoba. Tradicionalno shvatanje sukoba podrazumeva linearni prikaz na čijim se krajevima nalaze stanja mira i rata, a između njih su progresivni nivoi sukoba. Priroda tih sukoba ocenjuje se u skladu sa Poveljom UN<sup>80</sup> i Rezolucijom Generalne skupštine UN 3314 (XXIX) – Definicija agresije.<sup>81</sup> Postojeći nacionalni i međunarodni pravni režimi regulišu primenu krivičnog prava, obaveštajne operacije i vojne operacije. Svako od navedenih područja ima specifične i međusobno različite zahteve i kriterijume za regulisanje ovih aktivnosti, što predstavlja problem u slučaju sajber operacija koje se, u zavisnosti od situacije, istovremeno mogu naći u područjima kriminala i obaveštajnih aktivnosti (slika 4). Ta okolnost komplikuje izbor aktivnosti država u unutrašnjim i međunarodnim odnosima, s obzirom na zahtev da prema napadačima istovremeno treba različito postupati (odgovor vojnom silom, primenom policijskih i sudskih organa i protivdelovanjem bezbednosnih i obaveštajnih agencija). Čak i u slučaju da sajber napad ima isključivu prirodu sajber ratovanja i da ni po čemu ne zadire u područje kriminala i obaveštajnih aktivnosti, nedostatak regulativa i zajedničkih međunarodnih kriterijuma i propisa u oblasti sajber ratovanja bitno otežava izbor nadležnog prava i legalnog postupanja države, jer neki akt sajber ratovanja može biti: zakonita državna aktivnost (kada je u skladu sa Poveljom UN i odlukama Saveta bezbednosti UN); nezakonita aktivnost, ali koja po svom intenzitetu i posledicama ne daje povoda za primenu oružane sile kao akta samoodbrane (DDoS napad na Estoniju); akt agresije, koji daje pravo napadnutoj strani da preduzme proporcionalan oružani odgovor (na primer, napad na važan infrastrukturni sistem sa posledicama materijalnog uništenja ili smrtnim posledicama) ili čak stanje rata u kojem se međusobno masovno sukobljavaju oružane snage protivničkih strana u skladu sa pravom oružanih sukoba. Pored toga, priroda sajber ratovanja čini da mnoge oblike sajber napada uopšte nije moguće otkriti, a da u većini slučajeva nije moguće utvrditi ko su njegovi počinioци. Zbog toga se priroda sajber ratovanja ne može razmatrati primenom binarne logike koja neku aktivnost tretira ili kao stanje rata ili kao stanje mira, jer ona nije prikladna njegovoj kompleksnoj prirodi. Zbog potrebe prevazilaženja praktičnih problema sajber ratovanja, koji proističu iz prethodno navedenih karakteristika, u stručnoj javnosti postoje predlozi da se u oblast regulisanja sajber ratovanja uvede i treće stanje, „stanje drugačije od rata“ koje je po svojoj prirodi između rata i mira, pa samim tim dozvoljava istovremenu primenu prava oružanih sukoba, krivičnog

<sup>80</sup> Savet bezbednosti procenjuje da li postoji pretnja miru, povreda mira ili agresija i daje preporuke ili odlučuje koje će mere biti preduzete. Povelja Ujedinjenih Nacija, Poglavlje VII, član 39, <http://www.un.org/en/documents/charter/index.shtml> (16.08.2010).

<sup>81</sup> Definition of Aggression, General Assembly Resolution 3314 (XXIX), 1974, [http://untreaty.un.org/cod/avl/pdf/ha/da/da\\_ph\\_e.pdf](http://untreaty.un.org/cod/avl/pdf/ha/da/da_ph_e.pdf), (28.04.2011).



prava i ljudskih prava [8, str. 36–37]. Bez obzira na mnoštvo suprotstavljenih stavova, u međunarodnoj zajednici postoji inicijativa da se započne izgradnja međunarodne regulative, koja je otpočela nastojanjem da se definišu zajednički stavovi i usvoji zajednička taksonomija u ovoj oblasti, čiji su inicijatori SAD i Rusija [4]. Sve je veći broj sajber napada koji pod velom kriminala, u stvari, predstavljaju svojevrsan oblik međudržavne agresije. Pošto nemaju prirodu rata, na kriminalna dela se ne može primeniti pravo oružanih sukoba. Međutim, ovakve situacije kriju latentnu opasnost po izbijanje međudržavnih sukoba. Kao primer mogu poslužiti mnogobrojni nacionalno obojeni sukobi u sajber prostoru: izraelsko-palestinski, rusko-estonski, rusko-gruzijski, rusko-kirgizanski, srpsko-albanski, indijsko-pakistanski, severnokorejsko-američki, jermensko-azerbejdžanski i drugi. Svi ovi sukobi su se odvijali u formi kriminalnih dela u sajber prostoru, ali suštinski predstavljali su oblik međunacionalnih informacionih sukoba u sajber prostoru. Iako su im posledice bile niskog intenziteta i privremenog karaktera, ovi sukobi u sajber prostoru nisu izolovani i predstavljali su deo šireg područja sukoba između pomenutih država (nacionalnih zajednica) pa su samim tim imali potencijal da prerastu u oblik sukoba većeg intenziteta. Takvu opasnost potenciraju najave vojnih zvaničnika SAD i Rusije da će sajber napade ekvivalentne oružanom napadu smatrati oružanom agresijom na koju će odgovoriti vojnim sredstvima u skladu sa nacionalnom doktrinom.<sup>82</sup> Asimetričnost dejstava u takvim sukobima je realna, tako da se na sajber napade mogu uputiti vojni odgovori fizičkom silom [27, str. 14], [28], ali i obrnuto.<sup>83</sup> Pokrenuti sajber napadi mogu biti uzrok eskalacije sukoba, ali i posledica prethodnog akta agresije. Imajući u vidu specifičnu prirodu

<sup>82</sup> Siobhan Gorman, Julian Barnes, „Cyber Combat: Act of War“, 31 May 2011, <http://online.wsj.com/article/SB10001424052702304563104576355623135782718.html>, (31.05.2011).

<sup>83</sup> Najekstremnija mogućnost bi bila upotreba nuklearnog udara kao odgovora na sajber napad. Ovo nije nemoguća situacija, s obzirom na rastuće mogućnosti i moguće posledice sajber napada. SAD i Rusija su već poredile pretnje sajber rata sa nuklearnim napadom. Jason Fritz, „Hacking Nuclear Command and Control“, International Commission on Nuclear Non-proliferation and Disarmament, 2009.

[http://www.icnnd.org/research/Jason\\_Fritz\\_Hacking\\_NC2.pdf](http://www.icnnd.org/research/Jason_Fritz_Hacking_NC2.pdf), (02.05.2009);

New York Times, „Panel Advises Clarifying U.S. Plans on Cyberwar“, 30. april 2009.

[http://www.nytimes.com/2009/04/30/science/30cyber.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2009/04/30/science/30cyber.html?_r=1), (02.05.2009).

V.I. Tsymbal, „Concept of Information Warfare“, govor sa rusko-američke konferencije *Evolving post Cold War National Security Issues* Moskva, 12.-14. septembra, 1995. strana 7. (citirano u radu pukovnika Timotija Tomasa (Timothy Thomas), „Russian Views on Information-Based Warfare“, *Airpower Journal*, jul 1996;

Načelnik Strategijske komande američke vojske, general Kevin Čilton je naveo da planovi za sajber ratovanje SAD i NATO mogu da uključe i nuklearni odgovor na sajber napad: „Bela kuća zadržava pravo na opciju da odgovori upotrebom fizičke sile, moguće čak i nuklearnim oružjem, ukoliko strani entitet započne sajber napad sa ciljem da onemogući američku računarsku mrežu“, Elaine M. Grossman, „U.S. General Reserves Right to Use Force, Even Nuclear, in Response to Cyber Attack“, *Global Security Newswire*, 12. maja 2009. godine, [http://gsn.nti.org/gsn/nw\\_20090512\\_4977.php](http://gsn.nti.org/gsn/nw_20090512_4977.php), (15.05.2009).

sajber ratovanja, mala je verovatnoća međudržavnih ili unutrašnjih državnih ratnih sukoba koji će se odigrati isključivo u sajber prostoru [2], ali to ne znači da takvih sukoba neće biti u budućnosti. Skoro svi savremeni sukobi u nekom obliku uključuju aktivnosti u sajber prostoru. Njih će biti sve više s obzirom na trend brzog rasta upotrebe informacione tehnologije, automatizacije i daljinskog upravljanja nad sistemima u svim segmentima, pa i u vojsci. Sajber ratovanje se idealno uklapa u koncepte mrežnocentričnog i asimetričnog ratovanja, a posebno na stanja odnosa koja se nalaze između rata i mira. Ta okolnost uslovljava prihvatanje postojanja i drugih stanja političkih odnosa, poput stanja „drugačijeg od rata“ [8, str. 36–37] koje prihvata istovremeno postojanje i stanja rata i stanja mira u toku nekog sukoba. Takođe, može se očekivati da nastanu i novi oblici sukoba koji će se razlikovati od tradicionalnih sukoba u kojima se sukobljava jedna ili više država na jednoj i jedna ili više država na drugoj strani. Pored ovakvih linearnih sukoba mogu se očekivati i novi oblici kompleksnih, distribuiranih oblika sukoba u kojima je moguć rat „svih“ protiv „jednog“ ili „jednog“ protiv „svih“ u kojima učesnici nisu nužno državni subjekti, već to mogu biti svi, od pojedinaca do mreže grupa pojedinaca. Predlozi za uspostavljanje novih oblika stanja u odnosima među državama predstavljaju pokušaj da se omogući primena postojećeg pravnog sistema prava oružanih sukoba u sajber prostoru, običajnog prava, međunarodnog krivičnog prava i drugih oblika prava, kako po pitanju njihovog sadržaja, tako i po pitanju istovremenosti primene na konkretan sajber incident ili napad.

## Zaključak

Specifičnosti sajber prostora i informacionih tehnologija čine da se se državni i individualni akteri nalaze u istim ravnama delovanja, a činjenica da se ista sredstva, tehnike i metode često primenjuju za kriminalne, terorističke, obaveštajne, ratne i mirnodopske aktivnosti otežava razliku između ovih aktivnosti. Posledica toga je da u oblasti sajber bezbednosti trenutno vlada nedostatak opšteprihvaćenog referentnog sistema vrednosti, čak i u pogledu osnovnih pojmova i konceptata, na nacionalnim i međunarodnom nivou. To može imati ozbiljne posledice ako se ima na umu činjenica da su vodeće sile sveta u svojim vojnim doktrinama za sajber ratovanje predvidele mogućnost vojnog odgovora fizičkom silom na sajber napad u zavisnosti od posledica koje taj napad izazove. Tu okolnost dodatno komplikuje činjenica da pasivna odbrana od sajber napada nikako ne može biti dovoljna za odbranu, jer nema moć sprečavanja napada, već isključivo minimiziranja njihovog efekta i učestalosti, zbog čega sve moderne državne doktrine stavljaju težište na aktivnu, preventivnu odbranu i odvraćanje. To u praksi skoro u potpunosti eliminiše razliku između odbrane, napada i obaveštajnih aktivnosti.

Priroda sajber sukoba je jedinstvena i u mnogim aspektima do njegove pojave nije viđena. Ona na najefektniji način omogućava nelinearna, višedimenzionalna, asimetrična i mrežnocentrična dejstva na protivnika. Ta dejstva su distribuirana i preduzimaju se sredstvima, tehnikama i metodama čija je osnovna namena mirnodopska i samim tim su dostupna svima. U praksi to znači da konflikti u sajber prostoru nisu ograničeni na sukobe između država, već da sajber dejstva mogu preduzimati pojedinci i grupe protiv država i obratno. Primena identičnih sredstava i tehnika za preduzimanje kriminalnih, vojnih i obaveštajnih aktivnosti ima za posledicu preklapanje ovih aktivnosti i značajno usložava način na koji države i međunarodna zajednica reaguju na ova dejstva. To bitno povećava opasnost od izbijanja i širenja konflikata. Sami sajber napadi postaju tehnološki sve efektniji i izazivaju ozbiljnije posledice, koje se po efektima izjednačavaju sa posledicama napada fizičkom silom. Do pre samo nekoliko godina sajber napade uglavnom su pokretali pojedinci (takozvani hakeri) ili manje grupe. Nakon toga je usledio period njihove upotrebe od strane organizovanih kriminalnih organizacija, koji je bitno doprineo povećanju njihove efikasnosti i ozbiljnosti njihovih pretnji. Sada, kada su sajber napade kao vojno sredstvo za napad počele da primenjuju mnoge vojske i bezbednosni aparati moćnih država sveta, može se očekivati znatno povećanje intenziteta njihovih efekata. Vojskama sveta postaju dostupna velika novčana sredstva, naučni, tehnološki i ljudski kapaciteti. Sve to ima za posledicu očekivano povećanje intenziteta pretnji sajber ratovanja u budućnosti. Opasnosti koje ono donosi prvenstveno se zasnivaju na narastajućoj zavisnosti društvenih i tehnoloških sistema od informaciono-komunikacionih tehnologija i obelodanjenih namera svetskih država da ostvare vojnu dominaciju u sajber prostoru. Vojna primena sajber prostora nije ograničena prirodom sajber oružja, već uticajem koje informaciono-komunikacione tehnologije i sajber prostor ostvaruju na aktivnosti protivnika u svim oblastima života. Stoga sajber ratovanje može imati razne forme primene, sa različitim posledicama, u području računarske logike, informacija, fizičkog dejstva na metu, u ekonomskoj, kognitivnoj, političkoj ili društvenoj sferi.

Osnovni problem u vezi sa međunarodnim pravnim regulisanjem sajber ratovanja ogleda se u njegovoj specifičnoj prirodi, nejasnoj razlici između kriminala, terorizma, obaveštajnih aktivnosti i ratovanja i činjenici da ono nije selektivno u odnosu na vojne i civilne ciljeve, kao i da nestaje razlika između boraca i civila koji pokreću sajber napade. Posledica nedostatka specifičnih propisa ratovanja za ovo područje jeste da nema ni prekršilaca tih pravila. Ipak, situacija u međunarodnim odnosima u kojoj se primenjuju nove vrste ratovanja nije nova. Činjenica da za oblast sajber ratovanja nisu izgrađena međunarodna pravila oružanih sukoba ne znači da je dozvoljena njegova neograničena i neselektivna primena. Da bi države (i međunarodna zajednica) na odgovarajući način uspele da iz-

grade vlastite nacionalne doktrine za sajber ratovanje i odrede pravce za delovanje u budućnosti, neophodno je da se kao odgovorni članovi međunarodne zajednice ponašaju u skladu sa postojećim međunarodnim pravom. Uslov za to u oblasti sajber bezbednosti jeste da nacionalna zakonodavstva i vojne doktrine u potpunosti razumeju suštinu i prirodu sajber ratovanja. Tek u tom slučaju moguće je pristupiti sveobuhvatnoj izgradnji nacionalne strategije i vojne doktrine za sajber ratovanje i dati nacionalni doprinos međunarodnim nastojanjima da se stvori specifična regulacija sajber ratovanja.

### Literatura

[1] Pejanović, M., *Razvoj informacionih sistema u Internet okruženju korišćenjem softverskih komponenti sa posebnim osvrtom na primenu u vojnoj organizaciji*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 1, pp. 121-148, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2011.

[2] Sommer, P., Brown, I., *Reducing Systems Cybersecurity Risk*, OECD, 14 January 2011, <http://www.oecd.org/dataoecd/3/42/46894657.pdf>, [citirano: 12. mart 2011].

[2] Rho, J., *Blackbeards of the Twenty-first Century: Holding Cybercriminals Liable Under the Alien Tort Statue*, Chicago, 2007, Chicago Journal of International Law, Vol. 7, Number 2, Winter 2007 (8 Chi J Intl L 695), str. 695–718.

[4] Rausher, K., Yaschenko, V., *Russia-U.S. Bilateral on Cybersecurity: Critical Terminology Foundations*, EastWest Institute, Институт проблем информационной безопасности, 26 April 2011, <http://www.ewi.info/russia-us-bilateral-cybersecurity-critical-terminology-foundations>, [citirano: 28. april 2011].

[5] Randall, K., *Universal Jurisdiction Under International Law and Foreign Affairs*, Texas Law Review, No. 4, 1988, T. 66, str. 785–841.

[6] Dictionary of Military and Associated Terms, US Department of Defense, [www.dtic.mil](http://www.dtic.mil), 8 November 2010, [www.dtic.mil/doctrine/dod\\_dictionary/](http://www.dtic.mil/doctrine/dod_dictionary/) [citirano: 15. maj 2011].

[7] Wilson, C., *CRS Report for Congress, Information operations, Electronic Warfare, and Cyberwar: Capabilities and Related Policy Issues*, Order Code RL31787, [www.fas.org](http://www.fas.org), 20 March 2007,

<http://www.fas.org/sgp/crs/natsec/RL31787.pdf>, [citirano: 13 jun 2009].

[8] Rauscher, K., Korotkov, A., *Working Towards Rules for Governing Cyber Conflict, Russia-U.S. Bilateral on Critical Infrastructure Protection*, East-West Institute, January 2011, <http://www.ewi.info/working-towards-rules-governing-cyber-conflict>, [citirano: 28. januar 2011].

[9] International Strategy For Cyberspace, The White House, May 2011, [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss\\_viewer/international\\_strategy\\_for\\_cyberspace.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/international_strategy_for_cyberspace.pdf), [citirano: 20. maj 2011].

[10] Clinton, H., *Remarks on Internet Freedom*, U.S. Department of State, <http://www.state.gov/secretary/rm/2010/01/135519.htm>, 21 January 2010, [citirano: 2. februar 2011].

- [11] *Strategy for Operating in Cyberspace*, US Department of Defense, July 2011, <http://www.defense.gov/news/d20110714cyber.pdf>, [citirano: 14. jul 2011].
- [12] Nye, J., *Soft Power: The Means To Success In World Politics*. New York : PublicAffairs, 2004, ISBN 1586482254.
- [13] *Военная доктрина Российской Федерации*, Президент России, [www.kremlin.ru](http://www.kremlin.ru), 5 февраля 2010, [http://news.kremlin.ru/ref\\_notes/461](http://news.kremlin.ru/ref_notes/461), [citirano: 4 mart 2011].
- [14] *Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, № Пр-1895*, Совет Безопасности Российской Федерации, [www.scrf.gov.ru](http://www.scrf.gov.ru), 9 сентября 2000, <http://www.scrf.gov.ru/documents/5.html>, [citirano: 1 jun 2011].
- [15] *Developments in the Field of Information and telecommunications in the Context of International Security, report of the Secretary-General, Addendum, General Assembly, A/56/164/Add. 1*, 3 October 2001, <http://www.un.org/documents/ga/docs/56/a56164a1.pdf> [citirano: 19. mart 2011].
- [16] Komov, S., Korotkov, S., Dylevski, I., *Military aspects of ensuring international information security in the context of elaborating universally acknowledged principles of international law, ICTs and International Security*, 2007, [www.unidir.org/pdf/articles/pdf-art2645.pdf](http://www.unidir.org/pdf/articles/pdf-art2645.pdf), [citirano: 13 maj 2011].
- [17] Korotkov, S., Ministry of Defence, Russian Federation, *Legal Aspects of Informational Operations*, [www.unidir.org](http://www.unidir.org), 24-25 April 2008, [http://www.unidir.org/audio/2008/Information\\_Security/en.htm](http://www.unidir.org/audio/2008/Information_Security/en.htm), [citirano: 1. mart 2011].
- [18] *H.R.1389 - Global Online Freedom Act of 2011, 1389.IH, 112th Congress (2011-2012)*, The Library of Congress, Thomas, 6 April 2011, <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/z?c112:H.R.1389>, [Citirano: 12. april 2011].
- [19] Kellz, S., Cook, S., *Freedom on the Net 2011, A global Assessment of Internet and digital media*, [freedomhouse.org](http://freedomhouse.org), 18 April 2011, <http://www.freedomhouse.org/images/File/FotN/FOTN2011.pdf>, [citirano: 20. april 2011].
- [20] *Developments in the Field of Information and Telecommunications in the Context of International Security, General Assembly, UN document A/RES/53/70*, 4 January 1999. <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N99/760/03/PDF/N9976003.pdf?OpenElement>, [citirano: 16. mart 2011].
- [21] *Developments in the field in the information nd telecommunications in the context of international security, United Nations General Assembly*, 6 November 2008, <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N08/520/01/PDF/N0852001.pdf?OpenElement>, [citirano: 8. mart 2011].
- [22] Faillere, N., O Murchy, L., Chien, E., *W32.Stuxnet Dossier*, [symantec.com](http://www.symantec.com). february 2011, [http://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security\\_response/whitepapers/w32\\_stuxnet\\_dossier.pdf](http://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security_response/whitepapers/w32_stuxnet_dossier.pdf), [citirano: 28. mart 2011].
- [23] Clarke, R., *Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It*. New York : Ecco, Harper Collins, 2010, ISBN 0061962236.
- [24] Libicki, M., *Cyberdeterrence and Cyberwar*, Arlington : Rand Publishing, 2009, ISBN 9780833047342.

- [25] Kamal, A., *The Law of Cyber-Space*, United Nations Institute for Training and Research, Geneva, ISBN 9291820388, 2005,  
<http://www.un.int/kamal/thelawofcyberspace/fulltext.htm>, [citirano: 12. april 2010].
- [26] Rauscher, K., *Protecting communications infrastructure*, Issue 2, s.l. : Wiley InterScience, Summer 2004, Bell Labs Technical Journal – Special Issue: Homeland Security, T. Volume 9, str. 1-4.
- [27] *International Strategy For Cyberspace*, The White House, May 2011, [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss\\_viewer/internationalstrategy\\_cyberspace.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/internationalstrategy_cyberspace.pdf), [citirano: 20 maj 2011],
- [28] Mladenović, D., Jovanović, D., Drakulić, M., *Tehnološki, vojni i društveni preduslovi primene sajber ratovanja*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 60, No. 1, pp. 70-98, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2012.

## DEFINING CYBER WARFARE

FIELD: Computer Sciences, Information Technologies, Information Systems (Social and Professional Issues of Computer Sciences)

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

### Summary

*Cyber conflicts represent a new kind of warfare that is technologically developing very rapidly. Such development results in more frequent and more intensive cyber attacks undertaken by states against adversary targets, with a wide range of diverse operations, from information operations to physical destruction of targets. Nevertheless, cyber warfare is waged through the application of the same means, techniques and methods as those used in cyber criminal, terrorism and intelligence activities. Moreover, it has a very specific nature that enables states to covertly initiate attacks against their adversaries.*

*The starting point in defining doctrines, procedures and standards in the area of cyber warfare is determining its true nature. In this paper, a contribution to this effort was made through the analysis of the existing state doctrines and international practice in the area of cyber warfare towards the determination of its nationally acceptable definition.*

### Introduction

*Interests of national, academic and international institutions in cyber security and especially cyber warfare are growing exponentially. The threats of cyber attacks grow proportionally with the influence that information communication technologies exert on the world. These threats come from individuals, groups or states and are manifested on both national and international level. The NATO military alliance, Organization for Collective Security and Cooperation and the states of Shanghai Cooperation Organization are extremely interested in the area of cyber warfare. Although there have not*

*been any wars happening in cyber space alone, cyber warfare has become an important part of combined military operations, and has been successfully manifested in network centric, asymmetric, traditional warfare but also in new forms of conflicts that play out simultaneously both in the state of war and peace. Cyber warfare requires new forms of legal regulation necessary for defining new national strategies, doctrines, capacities and international relations. The basis for this is a definition of fundamental concepts and the development of appropriate taxonomy. Only this provides preconditions for a scientific analysis of applicability of the existing Law of Armed Conflict to cyber warfare and the basis for its upgrade and creation of a national doctrine, procedures, methods and cyber war techniques.*

#### Determining the nature of cyber conflicts

*The true nature of cyber warfare has yet to be understood. The basic cause for this is that the same means, techniques and methods are used for all other forms of endangering cyber security such as warfare, criminal, terrorism and intelligence activities. However, it is exactly these techniques and means that make it different from all the existing forms of conflict. The basic characteristic of cyber warfare reflects in the fact who the actors of the cyber attack are and whether they have international legal subjectivity. The main issue of cyber warfare is not the question how the attack happened, but who the attacker is and why the attack happened. In order for the international law to be applicable to it, it is important to determine the consequences of the attack as well. An overwhelming digitalization and media domination expand the area of cyber warfare operations. These circumstances require a new military view of conflicts that may be distributed, separated from the state of war, in the form of independent military operations.*

#### What is cyber space?

*Cyber warfare happens partially or completely inside cyber space or through it. A unique definition of cyber space does not exist and the understanding of its nature changes. In the broadest sense, it is an artificially created medium in which information is created, sent, received, kept, processed or destroyed. Cyber space should not be understood as a domain, but as a specific activity. Its physical basis spreads over all geographic areas, which grants the right to states to exercise their own sovereignty over its parts or over its entirety. Cyber space is not just the Internet, but is made up of all computer networks, as well as everything that connects and controls them. The technology of cyber space develops rapidly, unlike the international law and this fact makes the regulation of cyber warfare harder.*

#### What is cyber warfare?

*As with cyber space, a common view on the nature of cyber warfare does not exist. Nevertheless, it has its own characteristics that are becoming more prominent. In order for a cyber conflict to be defined as warfare, it must obtain the nature of an armed aggression of one inter-*

*national law subject towards another one. Its distributed nature differs from all known forms of warfare. Its direct form of exercise of force is non-kinetic, but its indirect effects may be physical destruction of assets and death of people. In accordance with their national interests and development of cyber infrastructures, the USA and Russia stand in favour of opposed views on the nature of cyber warfare.*

*In the US doctrine, cyber warfare is separated from the area of information operations and is increasingly manifested in its technological form. Cyber operations are accepted as a key factor in providing the network centric framework of the army. Being highly dependent on information infrastructures in both civilian and military areas, the USA primarily recognize the cyber warfare threats that endanger their critical information systems. Thus the attack in cyber space is considered to be an equivalent to a traditional attack and subject to response by any military means. Using their dominant position in the media arena, they advocate the prevention of information censorship in the cyber space of adversary states with autocratic regimes, pointing out to the right of freedom of speech. By proclaiming the cyber space the fifth domain of warfare, the USA have initiated a strong national campaign for the development of cyber warfare capacities supported by diplomatic efforts, academic community and private corporation projects. Having understood that in cyber warfare passive defense is not effective, the USA is developing a deterrence doctrine with proactive operations.*

*A different view is supported by a group of states gathered within the Shanghai Cooperation Organization whose most active advocate is Russia. Understanding the danger coming from technologically shaped cyber attacks, this initiative points out to the danger from information operations in cyber space whose goal is a collective manipulation of population behaviour for the purpose of destabilizing the social and state apparatus and the provocation of unrest and uprising. These activities are considered to be a form of aggression since they represent de facto act of interfering with internal affairs and sovereignty of states. This view is accompanied by an active initiative of Russia within UN to ban such information operations in cyber space, with the support of a large number of world countries, including Serbia.*

*By defending their own views, states undertake concealed cyber operations against their adversaries. There is a high level of inter-dependence and simultaneous application of defensive, offensive and intelligence operations in cyber space. The efficiency of a defense strategy is best seen in the ability of a system to absorb cyber attacks and continue to function after the attack. Weaker international actors can easily achieve asymmetrical advantage over a stronger opponent through the application of offensive cyber operations in the technological or information media domain.*

*On the basis of the previous practice and the manifested characteristics of cyber warfare, it may be concluded that it represents the offensive and defensive application of cyber weapons and information, initiated by state actors with the goal of destroying or disabling (by damaging, degrading, prevention of functioning, change or generating) of the adversary goal*



by direct operations against information and information systems and indirect operations against systems, assets, services, processes, society and individuals who depend on that information and these information systems, as well as for the purpose of defense of one's own capacities from such adversarial operations. Cyber warfare happens partly or completely through the use of cyber space, the activities in cyber space or through it. Since the meaning of the notion of cyber space changes in accordance with technological development, the evolution of the concept of cyber warfare is also expected. Cyber warfare is neither exclusively waged against information and information systems, nor it completely takes place inside cyber space; it has a wider area of operations targeting a complete cyber infrastructure consisting of people, processes and systems that make up cyber space. Cyber warfare achieves a direct impact as well as an indirect one which is even more important in terms of warfare, representing consequences of direct actions on the elements of cyber infrastructures. In respect of the duration of actions upon a target, cyber warfare may have immediate or postponed effects. Concerning the application of cyber warfare, many combinations of operations are possible, out of which only cyber attacks on cyber and traditional targets constitute cyber warfare. Traditional attacks on cyber or traditional targets do not represent cyber warfare.

#### Conclusion

Cyber warfare is a narrower part of cyber security which also includes criminal and intelligence activities. Although different in subject, intent and actors, their means, methods, techniques, goals and nature are intertwined and connected, which makes cyber warfare suitable for abuse by all actors in the international scene. This is why there is a necessity for a joint view of states, academic institutions, interest groups, private capital and individuals for creating a generally accepted taxonomy in the area of cyber warfare and for building international legal regulations. The characteristics of cyber warfare are known and may provide a significant contribution to its defining. It represents the use of force between the subjects of international law by the use of information, logic and information systems, within and throughout cyber space for the purpose of attack or defense. A further direction of the national doctrine development depends on the adopted views. A complex nature of cyber warfare requires new and original solutions such as defining the state between war and peace and practicing offensive operations for the purpose of national defense. Cyber warfare has the power to equalize the positions of all international subjects regardless of their size and wealth.

Key words: cyber warfare, cyber war, cyber space, cybernetic conflict, information warfare.

Datum prijema članka: 05. 09. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 02. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 11. 02. 2012.

## ISKUSTVA STRANIH ARMIIJA U PRIMENI RFID TEHNOLOGIJE U LOGISTICI

Jovanović V. *Velibor*, Centralna logistička baza,  
Vojska Srbije, 5. logistički bataljon, Beograd,

Jovanović M. *Danko*, Vojske Srbije, Generalštab,  
Uprava za logistiku (J-4), Beograd,

DOI: 10.2298/vojtehg1202118J

OBLAST: informacioni sistem

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

### Sažetak:

*RFID tehnologija je našla široku primenu, kako u civilnim tako i vojnim sistemima sa vrlo različitim namenama, a u narednom periodu predviđa se ogroman rast njene primene. Logistika kao podrška osnovnoj delatnosti, kako Vojski tako i poslovnim sistemima, mora pružiti uslove za stalnu optimizaciju sistema. RFID tehnologija to omogućava. To je način prikupljanja, obrade, automatske identifikacije i arhiviranja podataka. Najvažniji faktori informacionog sistema logistike zadovoljeni su korišćenjem ove tehnologije. Osnovna odlika logističkog kontrolinga da se podaci uvek prikupljaju na izvoru takođe je prisutna. Upravljanje lancima snabdevanja skoro je nezamislivo bez savremenih informacionih sistema. Ova tehnologija omogućava automatsku obradu podataka, čime mogu da se stvore uslovi i olakša podrška odlučivanju. Vojna primena RFID tehnologije podrazumeva praćenje stanja kodifikovanih stvari u meri u kojoj to žele nadležni naredbodavci, kao i dokumentovanje promena u poslovnom procesu, težišno logističke funkcije snabdevanja. U radu je analitički obrađen način funkcionisanja ove tehnologije u stranim armijama sa osvrtom na moguće uvođenje ove tehnologije i u praksu Vojske Srbije.*

*Ključne reči: logistika u vojsci, strane armije, automatska identifikacija, RFID tehnologija.*

## Uvod

**T**ehnološke promene u svetu zahtevaju inovacije i unapređenje poslovne strategije svih preduzeća i kompanija. Prednost imaju ona preduzeća i kompanije čije je poslovanje, pored ostalog, zasnovano na pravovremenim, pouzdanim i potpunim informacijama. U uslovima globalizacije svetskog tržišta logistika dobija globalne razmere, gde ciljno tržište predstavlja svetsko tržište koje je potrebno blagovremeno uslužiti.

Zadaci vojne logistike u toku osiguravanja svih potrebnih resursa (ljudskih, materijalnih, infrastrukturnih i finansijskih) u funkciji podrške ciljeva, plano-

va i operacija zahtevaju tačne i pravovremene informacije o stanju svih raspoloživih resursa u sistemu odbrane. S obzirom na dinamiku promena i neprekidnost procesa u savremenim armijama, kao jedino rešenje u procesu donošenja odluka u skladu sa osnovnim principima pravovremenosti i efikasnosti u izvršenju zadataka nameće se upotreba fleksibilnih informacionih sistema.

Stalne i brze promene u bezbedonosnoj sferi dovele su do evolucije poznatih, kao i do pojave novih bezbednosnih izazova i pretnji bezbednosti država kao međunarodnih subjekata, gde se fokus pomerio sa vojnih na nevojne pretnje, zbog čega je došlo do redefinisavanja uloge, namena i značaja kako oružanih snaga širom sveta. U skladu sa ovim promenama u bezbednosnoj sferi i profilisanjem uloge vojske, i logistika je takođe morala da se prilagođava novim zahtevima i potrebama oružanih snaga. Važnu ulogu u realizaciji zadataka u okviru misija vojske ima primena informacionih tehnologija i informatičke podrške u celini. Tehnologije automatskog označavanja i identifikacije proizvoda i drugih segmenata u procesu rada, postale su sastavni deo savremenih poslovnih informacionih sistema velikog broja kompanija, i određenog broja stranih armija.

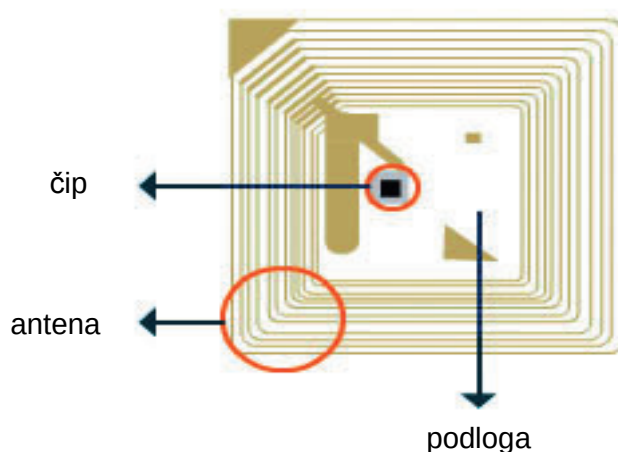
U radu je prikazana primena tehnologije automatske identifikacije pod nazivom RFID, za potrebe logistike vojnih kapaciteta stranih armija. Naime, Radio Frequency Identification (RFID) predstavlja sistem za automatsko prikupljanje podataka (Automated Data Collection – ADC) koji omogućava poslovnim procesima da bežičnim putem prihvate i prenose podatke koristeći radio-talase. RFID tehnologija omogućava jedinstvenu oznaku individualnim proizvodima ili resursima i nudi vidljivost u realnom vremenu u procesu isporuke i skladištenja. Pomoću RFID tehnologije objekte je moguće pratiti uz minimalnu ljudsku intervenciju, što potencijalno može uticati na redukciju vremena skladištenja u lancima isporuke, smanjenje operativnih troškova i vidljivost u celom lancu isporuke u realnom vremenu.

Posebna pažnja u radu posvećena je razlozima implementacije i benefita dobijenim primenom RFID tehnologije u američkoj vojsci, detaljnije su izneta i iskustva australijske i izraelske vojske, a spomenuti su razlozi uvođenja ove tehnologije i u vojne kapacitete pojedinih evropskih zemalja.

## RFID tehnologija – elementi, karakteristike i primena

RFID tehnologija zasniva se na sistemu čije tri glavne komponente predstavljaju: RFID tag, čitač i RFID računarski sistem. Osnovni element sistema predstavlja RFID *tag* (engl. *tag* – etiketa, oznaka; privezak) koji se može pojaviti u obliku nalepnice (čija veličina varira od veličine minijaturne poštanske markice do velike razglednice) ili nekog drugog predmeta koji se ugrađuje u proizvod ili pričvršćuje uz njega (veličina im takođe varira, a najmanji mogu biti veličine zrna pirinča).

Tag se sastoji od silikonskog mikročipa (u čiju se memoriju zapisuju podaci) i antene (koja prima i odašilje radio-talase) kao što je prikazano na slici 1 [1].



Slika 1 – RFID tag i njegovi elementi  
Figure 1 – RFID tag and its elements

Aktivni tagovi – takođe imaju sopstveni izvor napajanja (bateriju), koji služi da obezbedi struju integrisanom kolu (čipu) na tagu, koje generiše odlazni signal. Osnovne komponente aktivnog taga su mikročip, antena, izvor napajanja i elektronika. Mikročip sadrži mikroprocesor kojim se upravlja radom aktivnog taga. Antena može biti u obliku RF modula koji može da emituje signal od taga i da primi povratni signal čitača. Izvor napajanja je baterija, dok elektronika može da sadrži mikroprocesore, senzore i ulazno/izlazne portove, pomoću kojih se vrši obrada ostalih signala i zadataka. Pri komunikaciji sa čitačem, aktivni tagovi uvek prvi ostvaruju kontakt, a čitač zatim emituje povratni signal. Pošto prisustvo čitača nije neophodno da bi se podaci emitovali, aktivni tagovi mogu da šalju podatke nezavisno od prisustva.

Tag predstavlja tehnološku novost (za razliku od čitača i računarskog sistema koji su i ranije bili u upotrebi sa drugim tehnologijama – npr. BAR COD, OCR, i sl.), što ga čini najvažnijim elementom RFID sistema. Tagovi se, u zavisnosti od mogućnosti zapisivanja podataka, mogu podeliti u tri vrste:

- Read Only (R) – omogućavaju samo čitanje podataka sa taga koji u procesu proizvodnje dobija svoj jedinstveni serijski broj. Jednom uneta informacija ne može se menjati;

- Write Once Read Many (WORM) – korisnik sam programira memoriju transpondera prema svojim potrebama. Podatak se može zapisati samo prvi put, nakon čega on ostaje upisan za stalno i može se neograničeno iščitavati;

– Read/Write (RW) – korisnik može mnogo puta upisati informaciju na tag i isto tako ih čitati. RW tagovi su zasad još uvek znatno skuplji od R tagova.

Najčešća podela tagova je vezana za izvore napajanja jer upravo ta odlika najviše utiče na njihovu mogućnost upotrebe na različitim proizvodima i u različitim uslovima. Tri osnovne vrste tagova u odnosu na vrstu izvora napajanja su:

- pasivni tagovi – nemaju sopstveno napajanje već koriste energiju koju emituje čitač da bi poslali podatke kojima raspolažu,
- poluaktivni tagovi – imaju svoj izvor napajanja (bateriju) i elektronicu za izvođenje specijalizovanih zadataka,
- aktivni tagovi – takođe imaju sopstveni izvor napajanja (bateriju), koji služi da obezbedi struju integrisanom kolu (čipu) na tagu, koje generiše odlazni signal.

Uređaj koji je u RFID sistemu zadužen za komunikaciju sa tagom naziva se RFID čitač/pisač (reader ili interrogator). Nakon prikupljanja podataka sa jednog ili više tagova on ih šalje računaru, tako da predstavlja vezu između taga i informacionog sistema. Čitači sadrže antenu za čitanje, koja je drugačijeg oblika i funkcija nego tagovi, i priključak na sistem za obradu podataka ili računar. Takođe, čitači mogu služiti i za zapisivanje podataka na tagove. Takva vrsta čitača najčešće se koristi na kraju pokretne trake u fabrici ili u okviru distributivnog centra gde se zapisuju inicijalni ili dodatni podaci o proizvodu.

Čitač/pisač sačinjavaju sledeće komponente:

- odašiljač (transmitter) – služi da emituje energiju preko antene do taga koji je u zoni očitavanja,
- prijemnik – prima analogne signale od taga, koje dalje prosleđuje mikroprocesoru, gde se transformišu u digitalni oblik,
- mikroprocesor – odgovoran je za implementaciju protokola za komunikaciju čitača sa kompatibilnim tagovima,
- memorija – koristi se za čuvanje podataka kao što su konfiguracioni parametri čitača i lista očitavanja tagova, što sprečava gubitak svih podataka, ako dođe do prekida konekcije sa kontrolerom ili softverskim sistemom,
- ulazno/izlazni kanali za eksterne senzore, indikatore i aktuatora,
- kontroler – omogućava kontrolu i upravljanje čitačem/pisačem, kao i indikatorima i aktuatorima, vezanim za njega,
- komunikacioni interfejs – omogućava interakciju čitača/pisača sa eksternim komponentama preko kontrolera, i
- napajanje.

Prema vrsti interfejsa koju čitač koristi za komunikaciju razlikujemo serijske i mrežne, a u zavisnosti od mobilnosti prepoznamo stacionarne i mobilne.

Neophodan deo svakog RFID sistema je i RFID računar ili, tačnije, računarski sistem, koji se sastoji od kompjuterskog hardvera i od softvera za procesuiranje podataka. Računarski sistem označava sveobuhvatan termin za

hardverske i softverske komponente koje predstavljaju dodatni deo RFID sistema (sem tagova, čitača i antene). Čine ga sledeće glavne komponente:

- komponenta za kontrolu prikupljanja podataka,
- srednji sloj,
- interfejs ka informacionom sistemu organizacije,
- informacioni sistem organizacije.

RFID sistemi mogu se javiti u raznim varijantama i od strane velikog broja različitih proizvođača. Postoji niz karakteristika koje se mogu upotrebiti za izdvajanje razlika jednog RFID sistema u odnosu na neki drugi. Neke od karakteristika koje je moguće upotrebiti za diferencijaciju RFID sistema jesu: princip funkcionisanja RFID sistema, količina podataka koju je moguće upisati na tag, mogućnost zapisivanja podataka na tag, obrada podataka na tagu, izvor napajanja na tagu, operativna frekvencija sistema i način prenosa podataka između tagova.

Primena RFID tehnologije može se zamisliti u bilo kojoj oblasti ljudskog bitisanja. U najširem smislu, oblast primene RFID sistema može biti svaka oblast koja zahteva tačnu i brzu identifikaciju, bez kontakta i sa određenih rastojanja, i sa prenosom obuhvaćenih podataka. Kontrola pristupa, transport, lanac snabdevanja i proizvodnja su oblasti gde se ova tehnologija najčešće može sresti. Postoji i niz primera upotrebe RFID tehnologije u vođenju osnovnih sredstava, naplati parkinga, naplati putarine, praćenju poštanskih paketa, praćenju aerodromskog prtljaga, obeležavanju životinja ili npr. zaštiti predmeta od krađe. Kontrola ulaza i radnog vremena je još jedna tipična aplikacija, i sigurnosna kontrola pristupa određenim lokacijama. Kontroverzna primena RFID tehnologije odnosi se na univerzalni biočip koji bi mogao da zameni sva neophodna dokumenta koja ljudi danas koriste (ličnu kartu, pasoš, vozačku dozvolu, zdravstvenu knjižicu, kreditne kartice, itd.).

## Iskustva odabranih vojnih kapaciteta u primeni RFID tehnologije

### *Primena RFID tehnologije u vojsci SAD*

#### Istorijat RFID u vojsci SAD

Mnoge kompanije u svim granama industrije mogu učiti od Ministarstva odbrane SAD (DoD – Department of Defense), koje koristi RFID tehnologiju u svom kompleksnom lancu snabdevanja. Naime, lanac snabdevanja DoD je najkompleksniji iz više razloga. Nabavlja sve što se može zamisliti, od municije, aviona, preko lekova, čarapa, šatora, do hrane i još mnogo toga. Pored toga, mnoge navedene stavke je neophodno prevesti brodom širom sveta, uključujući i mesta koja ne poseduju modernu infrastrukturu. Imajući u

vidu veličinu i opseg lanca snabdevanja DoD, ne čudi ako se zna da je bilo i da i dalje postoji određeni nivo neefikasnosti, gubitaka i bezbednosnih propusta. Međutim, DoD je načinio veliki napredak u iskorenjivanju tih problema otkad je prvi počeo da upotrebljava aktivne RFID tagove, sredinom devedesetih godina prošlog veka, za praćenje kontejnera. Danas radio-frekventna mreža transportne vidljivosti, sistem za praćenje tereta baziran na aktivnoj RFID tehnologiji, ima logističke čvorove u više od 40 zemalja i 4 000 lokacija, i prati u proseku dnevno oko 35 000 pošiljaka širom sveta [2].

Međutim, istorijat primene RFID tehnologije u vojsci SAD se neminovno mora povezati sa uočavanjem značaja logistike, ubrzanim razvojem informacionih tehnologija, te potrebom da se smanji rasipanje materijala i rezervnih delova, unapredi pouzdanost snabdevanja i optimizuje upravljanje zalihama.

Naime, od 1993. godine vojska SAD koristi aktivne RFID tagove da bi postigla vidljivost sredstava i za opremu na upotrebi i na zalihama. Upotreba RFID tagova je odgovor na lekcije naučene iz operacija „Pustinjski štit“ i „Pustinjska oluja“ 1990. i 1991. godine. Od tada rast u korišćenju tagova jasno govori da je RFID tehnologija postala veoma važan deo ukupne imovine današnjeg plana totalne vidljivosti sredstava. U početku, korišćenje taga bilo je ograničeno na mesta kao što su Makedonija i Haiti.

U novembru i decembru 1995. godine američke snage razmeštene u Bosni, kao deo NATO snaga, imale su oko 35% svojih označenih stavki. Do proleća 1999. godine oko 70% svih predmeta koji su preseljeni za potrebe snaga angažovanih na Kosovu i Metohiji bile su označene. Godine 2001. oko 85% opreme koju je isporučila Logistička agencija za odbranu za potrebe operacije „Trajna sloboda“ u Avganistanu bilo je obeleženo RFID tagovima. U 2002. godini komandant američke centralne komande (CENTCOM) zahtevao je da se 100% predmeta koji se kreću kroz, u ili iz područja odgovornosti te komande označi da bi se obezbedila vidljivost sredstava u logističkim čorovima, a šira primena RFID tehnologije u DoD vezuje se za 2004. godinu [3].

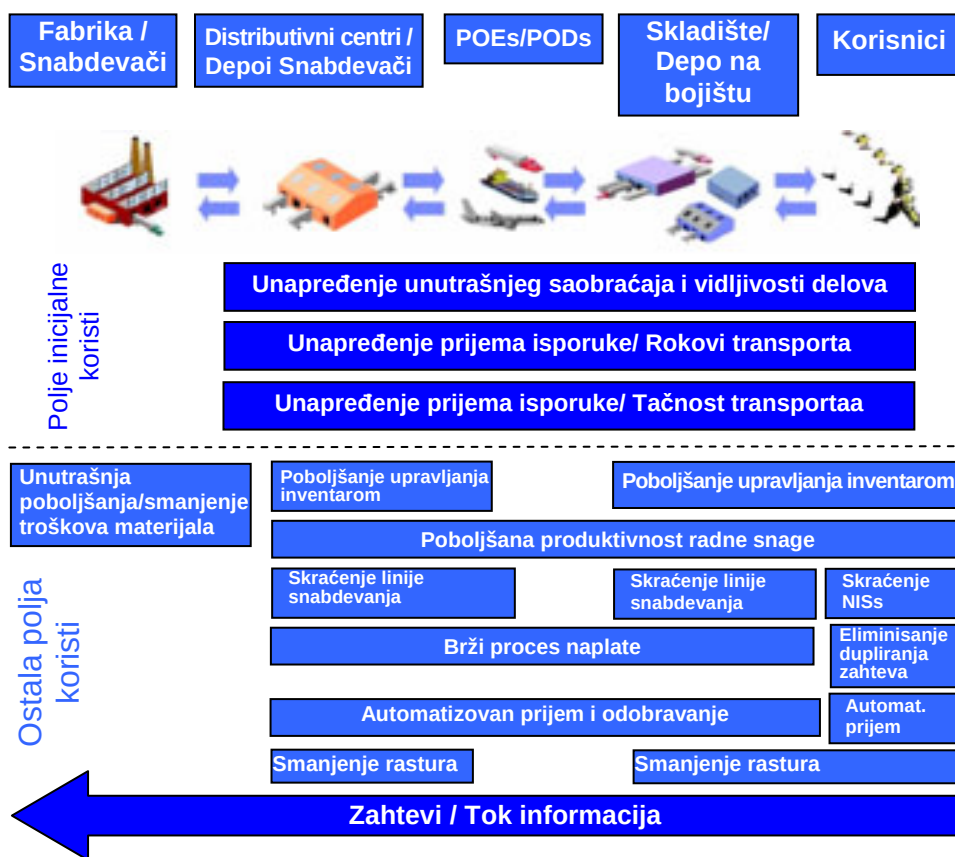
RFID tehnologija je, po mišljenju DoD, bila neophodna da bi se sredstva u najkraćem roku dostavila do vojnika, te da bi se poboljšalo nadziranje samih sredstava u toku lanca snabdevanja. Za stvaranje automatizovanog i sofisticiranog lanca snabdevanja DoD se morala oslanjati na komercijalne dobavljače, jer bez podrške baze dostavljača na početku postavljanja pasivnih RFID oznaka, potpuno integrisan, pregledan i automatizovan lanac snabdevanja ne bi mogao biti održiv.

U periodu razmatranja uvođenja pasivne RFID tehnologije DoD je uveliko bio korisnik aktivne RFID tehnologije. Preko deset godina DoD je koristio aktivnu RFID tehnologiju u najrazvijenijoj logističkoj mreži na svetu. DoD tada pokreće standardizaciju upotrebe aktivne RFID i pokreće upotrebu pasivne RFID tehnologije. Tridesetog jula 2004. godine, tadašnji vršilac dužnosti podsekretara odbrane za nabavku, tehnologiju i logi-

stiku objavio je regulativu koja zahteva implementaciju RFID unutar DoD, nakon čega DoD preuzima glavnu ulogu u primeni RFID, kao jedan od prvih koji je počeo upotrebu pasivne RFID i kao organizacija koja se trudi da podstakne razvoj ove tehnologije, kao i njenih standarda.

### Ključni domeni korišćenja RFID tehnologije u vojsci SAD

RFID tehnologija predstavlja deo tehnologije za automatsku identifikaciju (Automatic Identification Technology – AIT) koja uključuje i BAR COD tehnologiju, optičke memorijske kartice, kontaktne memorijske tastere i sisteme za satelitsko praćenje. RFID tehnologija pruža brojne prednosti duž celokupnog lanca snabdevanja DoD, kao što je prikazano u slici 2 [4].



Slika 2 – Visok nivo ilustracije prednosti RFID tehnologije duž lanca snabdevanja DoD

Figure 2 – A high level of the illustration of the benefits of RFID technology along the DoD supply chain



Slika 3 prikazuje lanac snabdevanja koji koristi RFID tehnologiju i pruža vizuelnu prezentaciju načina na koji DoD uz upotrebu RFID fizički prenosi sredstva od proizvođača/dobavljača do vojnika na ratištu [4].



Slika 3 – Prikaz lanca snabdevanja koji koristi RFID tehnologiju  
Figure 3 – Display of a supply chain using RFID technology

Koristi koje se povezuju sa RFID tehnologijom su brojne, kako za DoD, tako i za snabdevače. Inkorporacija pasivne RFID tehnologije u pojedine procese biznisa omogućuje automatizovano prihvatanje podataka, što rezultira efikasnim praćenjem materijala. RFID tehnologija će ubrzati realizovanje koristi od poslova DoD u upravljanju zalihama, preglednosti, operativnim poboljšanjima i praćenju proizvoda. Usmeravanjem lanca snabdevanja i poboljšanjima funkcija poslovanja bolje usluge će se pružati krajnjim korisnicima DoD stacioniranim širom sveta. Unutar svake oblasti postoje nezanemarljive kolektivne koristi za DoD kao celinu kao i za snabdevače. Koristi za snabdevače su:

- unapređeno planiranje,
- brži odgovor na zahteve,
- usmereni procesi biznisa,
- unapređena efikasnost u opozivu defektne robe,
- uvećana sposobnost da proizvodi ostanu uskladišteni na policama DoD,
- brža isplata isporučene robe.

Koristi za DOD su:

- unapređeno upravljanje zalihama,
- poboljšana produktivnost,
- eliminacija dupliranja porudžbina,
- zamena manualnih procedura,
- automatizovan prijem,
- unapređen inventar, menadžment i preglednost isporuka,
- unapređeni procesi poslovanja unutar DoD,
- poboljšanje praćenja sredstava.

Od 2005. godine snabdevačima DoD je bilo naloženo da postavljaju pasivne RFID tagove na pošiljke određenih klasa snabdevanja za isporuku samo na dva predviđena distributivna centra (Defense Distribution Center San Joaquin, CA (DDJC) i Defense Distribution Center Susquehanna, PA (DDSP), dok se isporuka danas realizuje na ukupno 17 distributivnih depoa i na tri vazduhoplovne luke. Roba koja se transportuje mora biti obeležena RFID tagovima i to pojedinačne kutije, kutije pakovane unutar jedinice za paletiranje i jedinice paletiranih pošiljki (uz propisnu sigurnosnu sertifikaciju). Obeležavanju RFID tagovima podležu sledeće klase proizvoda:

- potklasa klase I – pakovane operativne porcije,
- klasa II – odeća, individualna oprema, oprema za kamp, alati, administrativni materijal i potrepštine za domaćinstvo,
- klasa III – pakovani petrolej, maziva, ulja, hemikalije i aditivi,
- klasa IV – građevinski materijal,
- klasa VI – sredstva za ličnu upotrebu,
- potklasa klase VIII – medicinski materijal,
- klasa IX – rezervni delovi, alati i elementi za održavanje i opravke celokupne opreme, osim medicinske.

Sledeća sredstva su izuzeci što se tiče obeležavanja RFID tagovima;

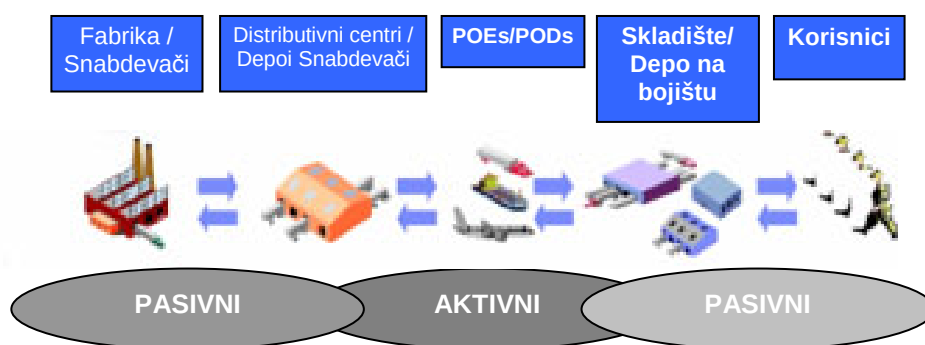
- masivna i rasuta roba,
- predmeti koji se isporučuju po ugovoru koji uključuje klauzulu FAR52.213-1, koja se odnosi na proceduru brze isplate.

Kutije i palete označavaju se u tački nastanka sa pasivnim RFID tagovima po ugovorima koji sadrže prikladnu DFARS klauzulu. Sva pakovanja sa spoljnih strana moraju imati RFID oznaku, bez obzira da li je u pitanju paleta ili pojedinačna kutija. RFID oznaka, kao i podaci na njoj, moraju biti po standardima objavljenim od strane DoD. RFID DFARS klauzula zahteva da svi učesnici koji su ugovorom obavezni da postavljaju oznake na robu, moraju poslati obaveštenje o isporuci pošiljke ASN (Advance Shipment Notice) u elektronskom obliku i na uobičajenom EDI

dokumentu putem aplikacije bespapirnog ugovaranja WAWF (Wide Area Work Flow) dizajniranog da eliminiše papir u procesu ugovaranja u DoD. ASN nije nov proces/transakcija, nego manje-više postojeća transakcija koja se šalje WAWF sa dodatnim informacijama od RFID. Uputstvo za korišćenje WAWF sistema može se pronaći na njihovom zvaničnom sajtu – <http://wawftraining.eb.mil>

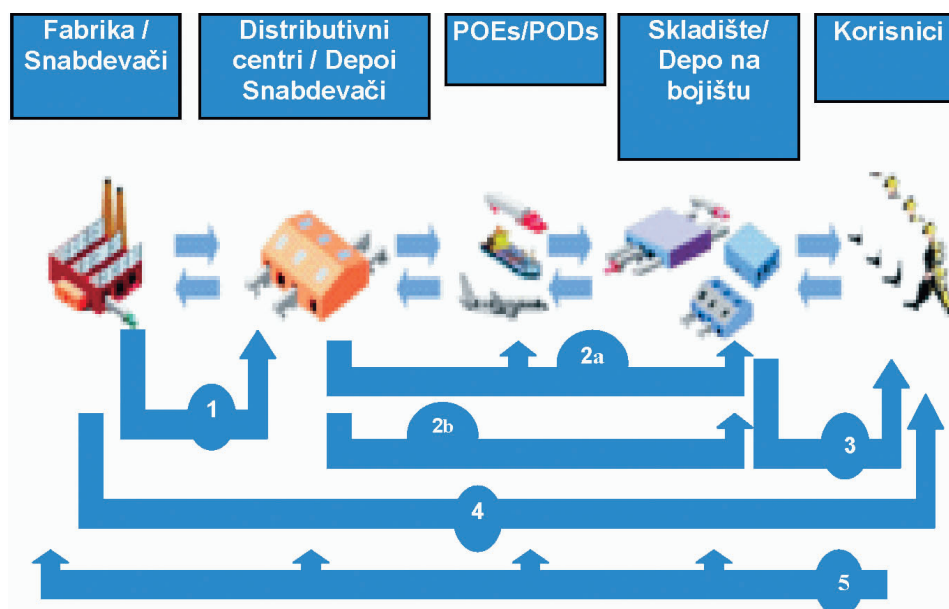
Odnos aktivne i pasivne RFID tehnologije je takav da međusobno dopunjuju jedna drugu. Konsolidovane isporuke koje se kreću van kontinentalnog dela SAD pomoću odbrambenog sistema transporta, prate se uz pomoć aktivne RFID tehnologije. Nekonsolidovane isporuke koje se kreću kako u kontinentalnom delu SAD tako i van njega nose na sebi BAR COD etiketu vojne isporuke (Military Shipping Labels – MSL). Implementacija pasivne dopunila je trenutne uspehe aktivne RFID tehnologije za isporuke van kontinentalnog dela SAD.

Uvezivanje pasivnog taga sa aktivnim ubrzalo je vreme punjenja i pražnjenja kontejnera i unapredilo preciznost i preglednost „unutar kutije, palete i kontejnera“. Ovo povezivanje pasivnog i aktivnog sistema stvoreno je građenjem strukture pasivnih oznaka, gde su objedinjeni podaci jedinstvene identifikacije pojedinačnih pakovanja, podaci na tagovima kutija i paleta, koji su podređeni aktivnim tagovima koji se nalaze na kontejnerima ili paletama. Ovakav odnos između aktivne i pasivne RFID tehnologije unaprediće preciznost, blagovremeno izveštavanje i automatsko snimanje višeslojnih podataka neophodnih u dinamičkom okruženju DoD.



Slika 4 – Prikaz pasivno-aktivno-pasivne veze kroz lanac snabdevanja  
Figure 4 – A passive-active-passive connection through a supply chain

Na slici 5 prikazano na koje sve načine je moguć transvers sredstava u različitim segmentima lanca snabdevanja DoD [4].

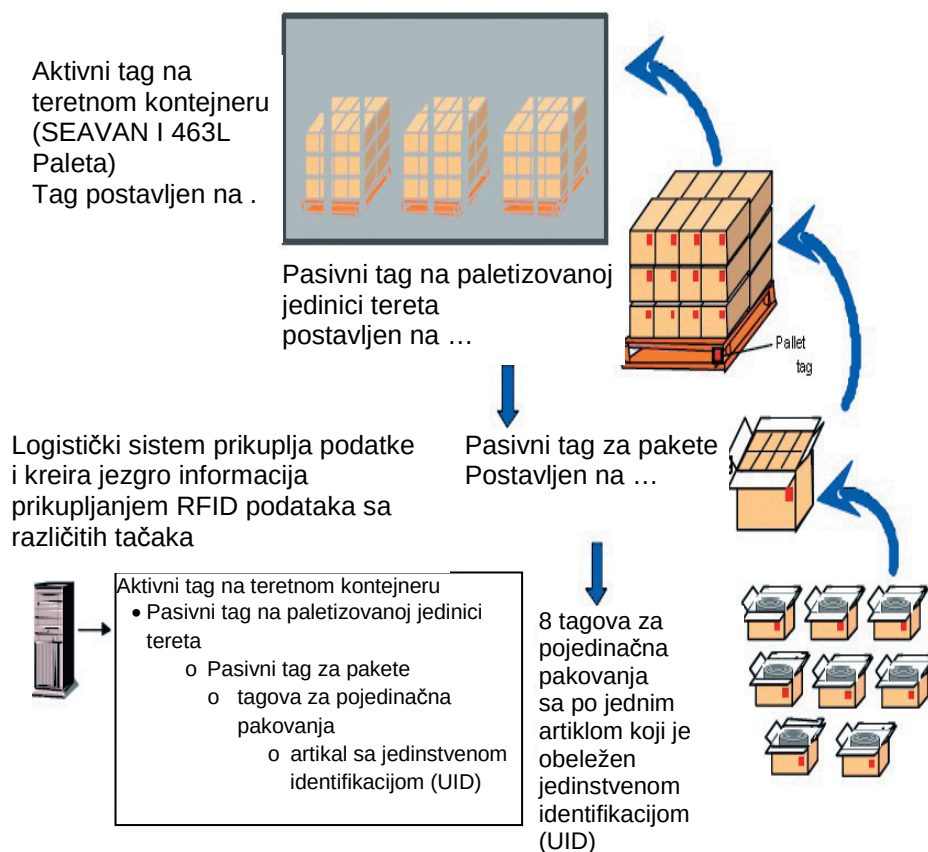


Slika 5 – Primer kako se sredstva mogu kretati u različitim segmentima ovog lanca.

Figure 5 – An example of resource transfers in different segments of the chain

Ubacivanje u upotrebu pasivnih RFID tagova daje na značaju tekućoj inicijativi jedinstvene identifikacije (UID – unique identification). Navedena inicijativa zalaže se da univerzalno globalno jedinstven identifikator bude trajno postavljen na robu. AIT medij koji se koristi kao nosilac ove inicijative jedinstvene identifikacije je BAR COD 2d data matrix. DoD će biti potrebno da RFID tagovi budu prikačeni na spoljašnju stranu pakovanja robe koja je obeležena sa UID. To osigurava da će roba identifikovana preko UID biti vidljiva duž lanca snabdevanja. Da bi identifikovali robu obeleženu UID koristeći RFID tag na jedinačnom pakovanju, kontejnerima za transport i paletama mora biti povezana sa informacijama o UID logističkog sistema. Koristeći RFID oznake kao sredstvo prikupljanja i povezivanja podataka sa informacijama UID će pomoći da se održi precizna identifikacija sredstava i preglednost u toku transporta i poboljšati kvalitet podataka rukovođenje robom, olakšati brigu o sredstvima duž lanca snabdevanja. Kombinacija 2d barkoda i RFID tehnologije ubačena u AIT opremu učvrstiće vezu između RFID i UID.

Na slici 6 prikazana je struktura aktivnog RFID, pasivnog RFID i UID [4]



Slika 6 – Prikaz strukture aktivnog RFID, pasivnog RFID i UID  
Figure 6 – Outline of the structure of an active RFID and a passive RFID and UID

Usled ovakve strukturne veze predviđeno je da pasivna RFID tehnologija bude korišćena za verifikaciju sadržaja, praćenje kretanja i virtualno predstavljanje sadržaja 463L palete ili SEAVAN kontejnera. Od momenta kada je paleta pravilno konfigurisana, aktivni RFID tag se postavlja na paletu ili kontejner da bi se pratila pošiljka i njen transport. Na konačnoj destinaciji, kada se roba istovar, pasivni RFID tag će još jednom verifikovati sadržaj i ispratiti kretanje unutar ciljne tačke. Dodatno, ovi podaci će se iskoristiti sa stvaranje transakcije baze podataka i finalizovati transport sredstava bez potrebe za manuelnom intervencijom.

Dakle, mogućnosti RFID se vrlo brzo prihvataju kao veoma bitan faktor AIT tehnologije. Aktivni RFID je već uspeo da unapredi praćenje, pronalaženje i lociranje na zahtev, robe u prekookeanskim tovarima. Kombinacija pasivne sa postojećom aktivnom tehnologijom doprineće ve-

ćoj efikasnosti i tačnosti podataka u lancu snabdevanja DoD. Forsiranje RFID do krajnje granice poboljšaće mogućnost da se vojniku obezbedi prava roba na pravom mestu u pravo vreme i u ispravnom stanju.

Veličina i kompleksnost logističke misije DoD nadmašuje čak i najveće komercijalne logističke mreže. Logistika DoD je ogroman posao i uzima dobar deo od godišnjeg budžeta za odbranu. Podaci za 2003. i 2004. godinu govore da je vojna logistika koštala 131 milijardu, delom zahvaljujući i tadašnjim operacijama. Godišnji protok materijala prevazilazi cifru od 9 miliona elemenata i vrednost oko 27,3 milijarde dolara. Infrastruktura logističkog sistema odbrane prostire se na oko 73 miliona kvadratnih stopa skladišnog prostora i stotine informacionih sistema, sistema za upravljanje i finansijskih sistema. Ovakav sistem rezultira prosečnim vremenu isporuke do klijenta od 16 dana.

Primarni cilj pasivnog RFID je da obezbedi unapređenje DoD logističkim sistemima da bi oni omogućili kompletnu preglednost sredstava vojnicima u polju. Komandanti operacija zahtevali su preglednost duž lanca snabdevanja sredstava pod njihovom odgovornošću. RFID će omogućiti transportnom sistemu odbrane, kao i lancu snabdevanja, da izađu u susret ovakvim zahtevima. Količina sredstava koja je bila isporučena u toku 2004. godine vojnicima na ratištu bila je zapanjujuća – više od 1,67 miliona avionskih i preko 338.000 kopnenih pošiljki.

DoD logistička struktura sastavljena je od mnogobrojnih tačaka i segmenata. Ona postavlja ogroman teret na vojnika, kako oni moraju vršiti operacije bez kompletnosti informacija i ograničenom preglednošću kritičnih sredstava. Ovakva struktura takođe stvara nepotreban teret za logističare, operacije prijema sredstava, aktivnosti transporta na terenu i vojne logističare na liniji fronta.

### *Pravci daljeg razvoja RFID tehnologije u vojsci SAD*

Oružane snage postižu uštede u radu i zalihama praćenjem delova za upotrebu u održavanju i remontu nuklearnih podmornica, helikoptera i borbenih aviona. Praćenje delova takođe smanjuje vreme obrta u centrima za popravku, obezbeđivanje povratka brodova i aviona sa terena po rasporedu. Transformacija ne dolazi preko noći, naročito kada je reč o transformaciji najsloženijih lanca snabdevanja na svetu. DOD-ov budžet je oko 877,6 miliona dolara za automatsku identifikaciju tehnologija od fiskalne godine 2010. do 2015, i dalje nastavlja da proširuje upotrebu aktivnih tagova UID.

Krajnje stanje lanca snabdevanja DoD trebalo bi da predstavlja potpuno integrisanu prilagodljivu celinu koja upravlja najmodernijim tehnologijama i naprednim menadžmentom sistema informisanja, a sve da bi automatizovala rutinske funkcije i postigla egzaktnost u preglednosti tranzita, skladištenja i popravke sredstava sa što manje intervencija ljudskog faktora. Takođe, ta celina bi trebalo da pruži neprestano efektivno informisanje radi zaključnih odluka lo-

gistike pri izlaženju u susret logističkim potrebama vojnih operacija u jednostavnim sredinama. Ukratko, taj jedinstven, besprekoran organizovani sistem povezan sa izvorom sredstava, trebalo bi da bude sposoban da odgovori ogromnim zahtevima najvećom brzinom koristeći se najefikasnijim metodama.

DoD SAD smatra da je RFID osposobljujuća tehnologija koja će omogućiti vojnim logističarima da stvore jedinstveno integrisano informisanje o sredstvima. Na kraju DoD će rukovoditi jedinstvenom, nezavisnom brzo reagujućom mrežom preglednosti, dostupnom širom korporacije, kako ljudima tako i sistemima upravljanja duž lanca snabdevanja. Kao prvo, vizija DoD u pogledu RFID je da ga osposobi za precizno dobavljanje podataka u podršci poslovnih poduhvata u integrisanom lancu snabdevanja kao bitnom delu sveobuhvatne automatske identifikacione tehnologije (AIT). DoD će primenjivati ove tehnologije gde god to bude bilo potrebno u lancu snabdevanja, a sa ciljem da se unapredi pomoć vojnicima na ratištu [5].

## Primena RFID u australijskoj vojsci

Australijske odbrambene snage (Australian Defense Force – ADF) 2003. godine angažovale su preduzeće „Savi Tehnology” za izgradnju mreže na bazi RFID tehnologije. Cilj je da se poboljša vidljivost i brojivost u realnom vremenu sredstava koja se koriste u internacionalnim zonama operacija. Savi SmartChain Consignment Management Solution (CMS), predstavlja rešenje bazirano na familiji RFID produkata i omogućuje australijskim odbrambenim snagama poboljšanje sistema vidljivosti u tranzitu (ITV) koje će dati i efektivnije i efikasnije praćenje pokreta sredstava kroz lanac snabdevanja. Takođe, omogućiće da australijska vojska postane interoperabilna sa drugim ITV mrežama koje su već postavili američko ministarstvo odbrane, NATO i članice NATO-a. Trenutno, RF-ITV mreža američkog ministarstva odbrane je svetski najveći aktivni RFID cargo praćeni sistem, koji se širi preko više od 1500 lokacija i 45 zemalja.

Naime, motivacija australijske vojske za unapređenje praćenja datira od kraja devedesetih godina, kada je postalo jasno da se australijske odbrambene snage bore sa praćenjem pošiljaka unutar i van Australije. Tokom operacija u Istočnom Timoru 1999. godine vojnici nisu uspjeli da pronađu delove i potrošni materijal koji im je poslat. Ministarstvo odbrane 2004. godine nije moglo da završi svoj godišnji izveštaj zbog 800 miliona dolara neslaganja inventara, uključujući 200 miliona dolara u opštim zalihama. Navodi se da je neslaganje nastalo zbog nedostatka vidljivosti pre nego zbog krađa ili drugih razloga. Ugovor sa preduzećem Savi potpisan je u avgustu 2003. godine, a RFID projekat je završen u aprilu 2007. godine. Mreža pokriva 31 mesto u Australiji i jedno u Iraku [6].

Očekivanja od ove tehnologije su povećana vidljivost i značajno smanjenje prekomernih troškova snabdevanja, što bi logistiku činilo efek-

tivnijom i efikasnijom. Australijska vojska imala je slabu vidljivost stotina miliona delova pre uvođenja ove tehnologije. Inicijativa vojske Australije da uvede RFID rešenja omogućava interoperativnost sa USA i Velikom Britanijom u koalicionim operacijama u Iraku, a buduće prednosti Savi rešenja biće interoperativnost sa postojećim RFID sistemima u komercijalnim kontrolnim tačkama kao što su morske luke sa kojima Ministarstvo odbrane organizuje premeštaj njihovih zaliha. Savi rešenja bazirana na RFID sigurnosnim tagovima i senzorima uvećaće sigurnost kontejnera prilikom terorističkih napada na njihove lance snabdevanja [7].

Tagovi su povezani sa pojedinačnim pošiljkama kada napuštaju skladišta i idu ka bojnopolju, bez obzira na način prevoza koji se koristi. To se obično odvija na nivou paleta, na većim pakovanjima, ali i na nivou značajnijih pojedinačnih stavki, kao što su rezervni delovi aviona, koji mogu biti individualno označeni. Na slici 54. prikazan je Savi aktivni RFID tag – ST-654. Fiksni RFID čitači raspoređeni u portalu čitaju tagove kada teret ulazi ili napušta skladišta i načine distribucije duž lanca snabdevanja. Mobilni čitači se koriste u vazдушnim terminalima i nekim drugim čvorovima u lancu. Sve veće australijske vojne lokacije sada su opremljene RFID čitačima. Prilikom izgradnje mreže u Iraku, koja je obavljena u dve faze za deset nedelja, nije bilo specifičnih problema.

Poboljšanje vidljivosti stavki u lancu snabdevanja dovodi do preciznije slike situacije, a to opet znači da se zalihama može preciznije upravljati, dok poboljšanje tačnosti omogućava komandantu na terenu da ima više poverenja u lanac snabdevanja, koji može da sačuva živote.

## Primena RFID u izraelskoj vojsci

Izraelske odbrambene snage (Israeli Defense Force – IDF) 2005. godine su odlučile da pokrenu implementaciju RFID tehnologije. Tim povodom, Savi Tehnologija je u saradnji sa svojim izraelskim partnerom ETCOM RFID pokrenula tri pilot projekta bazirana na Savi EchoPoint aktivnom RFID hardveru (tagovi, čitači i signalne stanice) i podržana Savi SmartChain Site Manager, Smart CHain Enterprise Platform i SmartChain Consignment Management Solution (CMS) za upravljanje zalihama i snabdevanje sredstvima. Izraelske odbrambene snage su želele da unaprede efektivnost u praćenju vojnih zaliha za potrebe održavanja, skladištenje i unutrašnji saobraćaj, vidljivost između lokacija i da spreče nestajanje opreme. Projekti uključuju praćenje i upravljanje paletama, kamionima za isporuku, delovima tenkova i kontejnerima sa naoružanjem [8].

Kao opravdanje za uvođenje RFID tehnologije u IDF navodi se cilj konstantnog unapređenja efikasnosti logističkih operacija i podrške, ozbiljna namera u usvajanju RFID zasnovanog rešenja lanca snabdevanja. Takođe, ova tehnologija omogućuje unapređenje vidljivosti i sigurno-



sti kritičnih elemenata snabdevanja i podršku logističkim odbrambenim snagama i smanjenje troškova.

Implementacija RFID rešenja za izraelske odbrambene snage vršena je kroz tri pilot projekta, tj. tri različita scenarija lanca snabdevanja [9]:

1. Prvo RFID rešenje vezano je za nadzor unutrašnjeg transporta od glavnog logističkog centra do lokalnih distributivnih centara i posle do logističke jedinice na terenu. Kavezi, palete i kamioni koji isporučuju zalihe opremljeni su aktivnim, baterijski napojivim RFID tagovima za identifikaciju i monitoring.

2. Drugo RFID rešenje IDF koristi za prećenje kretanja delova tenkova ( motori, menjači i transmisija) između skladišta i lokacije na terenu, u tolikoj meri da se beleži istorija održavanja između radioničkih stanica.

3. Treće rešenje odnosi se na kontejnere sa naoružanjem koji su uskladišteni u skladištima i njihovo inventarisanje, praćenje njihovog ulaska i izlaska iz pogona i osiguranje sa aktivnim RFID uređajima pružice odbranu od neautorizovanog otvaranja ili njihovo uklanjanje.

Probe za navedene pilot projekte koje su pokrenule izraelske odbrambene snage (IDF) bile su uspešne. Uvođenje tehnologija vršilo se postepeno u raznim jedinicama, a u prvoj fazi sprovedeno je u oblasti goriva. Kontrolisani su rezervoari u vojnim jedinicama, integrišući RFID oznake i dodatne senzore, koji omogućuju prijem podataka o vrsti i tačnom iznosu goriva u njima, radi „smanjenja oticanja goriva“ u IDF. Tehnologija je na kraju uvedena u centralna skladišta, tako da se uz pomoć oznaka prati oprema poslata u različite jedinice i ima uvid u tačnu lokaciju isporuke u realnom vremenu [10].

Izraelska armija je druga van SAD koja prihvata RFID tehnologiju za upravljanje zalihama. RFID tehnologija omogućila je armiji da upravlja skladištima, implementira odlazno praćenje zaliha goriva i prati opremu koja se prenosi od skladišta do bojišta. Cilj postavljanja navedene tehnologije je i smanjenje logističkih troškova i osiguranje da oprema „ne ispari“. Stepenasto predstavljanje RFID tagova će inicijalno biti traženo za sprečavanje rastura goriva od strane vojnika, a sledeći nivo će se primeniti na praćenju goriva u skladištima. Izraelska vojska je još jednom pokazala kao jedna od tehnološki najnaprednijih organizacija u svojoj zemlji [11].

## Primena RFID u armijama evropskih zemalja

Pored američke, australijske i izraelske vojske i pojedine armije evropskih zemalja, kao što su Danska, Španija, Švedska i Poljska prepoznale su prednosti upotrebe RFID tehnologije u svojim logističkim sistemima [13,14]. Interesantno je izdvojiti čitav spektar problema koji su inicirali implementaciju rešenja na bazi RFID tehnologije u lance snabdevanja radi neutralisanja slabosti sistema. Neki od navedenih problema su:

- neefikasnost, gubici i bezbednosni propusti,
- umanjena preglednost transvera sredstava,

- neefikasna konfiguracija sredstava,
- neefikasna upotreba sredstava transporta,
- nepravilno pakovanje i označavanje isporuka,
- neslaganje inventara i
- problemi u praćenju pošiljaka i pronalaženje delova i potrošnog materijala upućenog jedinicama.

Opravdanost primene ove napredne tehnologije automatske identifikacije može se iskazati kroz brojne koristi koje su obezbeđene adekvatnom i primerenom primenom u okviru lanaca snabdevanja, kako američke vojske kao pionira u implementaciji, tako i drugih svetskih armija, koje su pratile razvoj tehnologije i u skladu s tim je uvodile u svoj sistem logistike i neutralisale slabosti koje su se ranije javljale. Benefiti dobijeni implementacijom rešenja na bazi RFID tehnologije u stranim armijama su:

- unapređeno upravljanje zalihama,
- značajno podizanje popunjenosti zaliha,
- eliminacija dupliranja porudžbina,
- zamena manuelnih procedura,
- poboljšanje praćenja sredstava,
- neutralisanje nepravilnog pakovanja i označavanja isporuka,
- interoperabilnost sa koalicionim partnerima,
- smanjenje troškova,
- smanjena mogućnost otuđenja opreme,
- veća efikasnost i efektivnost u lancu snabdevanja,
- vidljivost dolazećih i odlazećih transporta u realnom vremenu,
- operativna efikasnost i
- uvećano samopouzdanje boraca.

U tabeli 1 dat je prikaz zemalja koje primenjuju RFID rešenja u svojim vojnim kapacitetima, prema godinama implementacije [12].

Tabela 1

Table 1

Prikaz implementacije RFID tehnologije po godinama  
Description of the implementation of RFID technology by year

| Redni broj | Država     | Godina implementacije |
|------------|------------|-----------------------|
| 1          | SAD        | 1993.                 |
| 2          | Australija | 2003.                 |
| 3          | Izrael     | 2005.                 |
| 4          | Danska     | 2005.                 |
| 5          | Španija    | 2006.                 |
| 6          | Švedska    | 2007.                 |
| 7          | Poljska    | 2008.                 |

Može se primetiti da su rešenja na bazi RFID tehnologije uvođena sukcesivno, u skladu sa potrebama i mogućnostima pojedinih vojnih kapaciteta, kao i da je svaka sledeća implementacija potvrđivala i uvećavala koristi i prednosti prethodno primenjenih rešenja.

## Zaključak

Upotreba RFID tehnologije u pojedinim stranim armijama je na zadovoljavajućem nivou. Uz pomoć ove tehnologije može se zamisliti kontrola nad lancem snabdevanja od proizvođača do pojedinaca na bojištu, kao i sposobnost da se sredstva dostave pravovremeno i na odgovarajuće mesto, uprkos neprestanoj izmeni uslova na bojištima. Logistički oficir će biti u stanju da postavi i prebacuje logističke strukture i da obezbedi dobru preglednost situacije u skladu sa potrebama komandanata.

Na osnovu iskustava iz primene RFID tehnologije u drugim vojnim kapacitetima i imajući u vidu značaj za primene navedene tehnologije sa aspekta povećanja ekonomičnosti, efikasnosti i efektivnosti, realno je razmišljati u smeru razmatranja mogućnosti implementacije određenih proverenih rešenja na bazi ove tehnologije i u našoj nacionalnoj armiji. Kao primer može poslužiti iskustvo i pilot projekti izraelske vojske, uz saradnju i konsultacije sa sistem-integratorima sa teritorije naše zemlje.

Prava vrednost RFID tehnologije ne može se vezati za trenutne mogućnosti, već u otkrivanju onoga što će moći da uradi u skorijoj budućnosti. Implementacija RFID tehnologije na najbolji mogući način može obezbediti dostupnost informacija i tačnost informisanja o pojedinim resursima, radi donošenja pravilnih i pravovremenih odluka u Vojsci Srbije, a takođe, očekuje se da će primena RFID olakšati popis sredstava, poboljšati produktivnost, eliminisati dupliranje porudžbina, optimizovati angažovanje radne snage i neutralisati manjkove.

## Literatura

- [1] Van Eeghem, M., Basic of EPC, student's Handbook v 1.0, 16/01/2008
- [2] <http://www.rfidjournal.com/article/view/4777/1>
- [3] Jeffrey, D. Fee "Improving RFID technology". Army Logistician. Find-Articles.com.[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0PAI/is237/ai\\_n1378309/](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0PAI/is237/ai_n1378309/)
- [4] *Final Regulatory Flexibility Analysis of Passive Radio Frequency Identification (RFID)*, Version 1.0, 8/2005.
- [5] <http://www.rfidjournal.com/article/view/5317>
- [6] <http://www.army-technology.com/features/feature1616/>
- [7] <http://www.thefreelibrary.com/australian+defence+force+select+savy+technology+to+build+rfid-based...-a0135434171>

- [8] <http://www.usingrfid.com/news/read.asp?lc=f9465ex520zy>.
- [9] <http://www.wirelessdesignasia.com/article-461-avicompletesrfidbasedpilotprojectstotracksecureidfsupplies-asia.html>
- [10] <http://www.ivc-online.com/ivcWeeklyItem.asp?articleID=4128>
- [11] <http://www.industrialcontroldesignline.com/181502976;jsessionid=LMDPJMWRRLBN41QE1GHOSKHWATMY32JVN?printableArticle=true>
- [12] Jovanović, V., *Prednosti RFID tehnologije u logistici i njena primena u vojsci – magistarski rad*, Ekonomski fakultet u Beogradu, Beograd 2010.
- [13] Andrejić, M., Radosavljević, V., Arsić, S., *Logističko obrazovanje i obučavanje nelogističkog osoblja*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 1, pp. 5-26, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2011.
- [14] Andrejić, M., Milenkov, M., Sokolović, V., *Logistički informacioni sistemi*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 1, pp. 33-61, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2010.

## EXPERIENCE OF FOREIGN ARMIES IN THE APPLICATION OF RFID TECHNOLOGY IN LOGISTICS

FIELD: Information Systems

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

### Summary:

*RFID technology has found a wide application in both civilian and military systems with very different purposes; moreover, a tremendous growth of its application is predicted in the future. As a support to core activities, both in the Army and business systems, logistics must provide the conditions for a continuous system optimization, which can be achieved by RFID technology. It provides data collecting, processing, automated identification and storage. The most important factors of logistics information systems are satisfied with this technology. The main feature of the logistics of controlling - that data is always to be collected at a source - is also present. Managing supply chains is almost inconceivable without modern information systems. This technology enables automated data processing thus creating conditions which facilitate decision making. Military applications of RFID technology include monitoring codified items to the extent required by competent commanders, as well as documenting changes in business processes within provided logistic functions of supply. This work gives an analytical approach to the methods of RFID technology application in foreign armies with regard to its possible introduction into the practice of the Serbian Army.*

### Introduction

*This work presents the application of the automatic identification technology called RFID for the needs of logistics of military capacities in foreign armies. Namely, Radio Frequency Identification (RFID) is a system for automated data collection (ADC) which enables business*

*processes to accept and wirelessly transmit data using radio waves. RFID technology allows a unique code to individual products or resources, and provides real-time visibility within delivery and storage processes. RFID technology enables tracking items with minimal human intervention, which could result in reducing storage time in the supply chain as well as in reducing operational costs while increasing visibility throughout the supply chain in real time.*

RFID technology – elements, characteristics and applications

*RFID technology is based on a system with three main components: RFID tag, reader, and RFID computer system.*

*Some of the features that can be used to differentiate RFID systems are: principle of operation of RFID systems, amount of data that can be entered onto a tag, possibility to write data onto a tag, tag data processing, power supply to a tag, system operating frequency and data transfer between tags.*

*RFID technology can be applied in any area of human existence. In the broadest sense, the application field of RFID systems can be any field which requires accurate and rapid identification without contact within certain distances and with the transfer of collected data. Access control, transportation, supply chain and manufacturing are areas where this technology can be often encountered.*

The experience of the selected military capacities in the application of RFID technology

*Some foreign armies recognized the advantages of RFID technology in supply chain management and its implementation enabled them to succeed in neutralizing problems and weaknesses and to benefit from it.*

*There is a whole range of problems having initiated the implementation of RFID-based solutions in supply chains aiming at neutralizing system weaknesses, which can be grouped as follows:*

- Inefficiency, losses and security flaws,*
- Reduced visibility to a transfer of resources,*
- Inefficient configuration of resources,*
- Inefficient use of transport,*
- Improper packaging and labeling,*
- Inventory discrepancy*
- Problems in shipment tracking and tracing parts and supplies sent to units.*

*The application of this advanced technology of automatic identification can be justified through a number of benefits provided by its adequate and appropriate application in the supply chains of foreign armies that followed the RFID development and introduced it accordingly into their logistics systems, previously neutralizing spotted weaknesses. The benefits obtained by implementing solutions based on RFID technology are:*

- Improved inventory management,*
- Significant increasing of stock coverage*

- Elimination of double orders,
- Replacement of manual procedures,
- Improvement of resource tracking,
- Neutralization of improper packaging and labeling,
- interoperability with coalition partners,
- Cost reduction,
- Reduced possibility of equipment theft
- Greater efficiency and effectiveness in the supply chain,
- Visibility of incoming and outgoing transport in real time,
- Operational efficiency and
- Higher self-confidence for soldiers.

*RFID-based solutions have successively been introduced depending on the needs and possibilities of particular armies. The US Army was the first to introduce RFID in 1993 with Australia to follow in 2003, Israel and Denmark in 2005, Spain in 2006, Sweden in 2007 and Poland in 2008.*

#### Conclusion

*The use of RFID technology in some foreign armies is at a high level. This technology can be used to facilitate control over the supply chain from manufacturers to individuals on the battlefield, and to deliver resources to a proper place in time, despite constant changes of conditions on the battlefield. Logistics officers will be able to set and manage organisational structures and provide a good overview of the situation in accordance with the needs of commanders.*

*Based on experiences from the application of RFID technology in other armies and the importance of applying these technologies in terms of increasing economy, efficiency and effectiveness, it is realistic to think in the direction of evaluating the potential implementation of certain proven solutions based on this technology into our National Army.*

*Key words: logistics in the military, foreign army, automatic identification, RFID technology.*

Datum prijema članka: 12. 12. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 23. 01. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 25. 01. 2012.

# USLOVI KORIŠĆENJA PLOVNIH DIZALICA ZA DIZANJE POTONULIH OBJEKATA NA UNUTRAŠNjim PLOVNIM PUTEVIMA

Radojević M. *Slobodan*,  
Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202139R

OBLAST: mašinstvo, transportni uređaji  
VRSTA ČLANKA: pregledni članak

## Sažetak:

*U radu se prikazuju uslovi korišćenja plovni dizalice za dizanje potonulih plovni i drugih objekata na unutrašnjim plovni putevima. Prikazani su osnovni načini podizanja plovni dizalicama i osnovni tehnički podaci sa proračunskim pojedinostima za predložen postupak dizanja. Ukazano je na značaj dizanja potonulih objekata i njihovog uklanjanja iz unutrašnjih plovni puteva u Republici Srbiji.*

*Ključne reči: unutrašnji plovni put, dizanje potonulih plovni objekata, plutajuće dizalice, stabilnost broda.*

## Uvod

Zbog opšteg privrednog značaja i ekonomske isplativosti, razvoj unutrašnjih plovni puteva i vodnog saobraćaja postao je trend u Evropi, a samim tim i u Republici Srbiji kroz koju protiču tri međunarodne plovne reke. U narednih 20 godina rečni saobraćaj kod nas povećaće se čak četiri puta, odnosno na plovni putevima Srbije trebalo bi da se realizuje 30 odsto ukupnog saobraćaja. Poslednjih godina porasle su obaveze i pritisci međunarodnih institucija za standardizaciju uslova plovidbe na unutrašnjim plovni putevima kroz našu zemlju [1].

Potonuli objekti, kao što su brodovi (slika 1), delovi porušenih mostova i drugi, predstavljaju grupu smetnji koje ugrožavaju plovidbu i predstavljaju potencijalnu opasnost za prirodnu sredinu [2]. Potopljeni objekti utiču na smanjenje širine i dubine plovni puta, usled čega može doći do prekida plovidbe. Oni veoma ozbiljno ugrožavaju sigurnost plovidbe, zbog čega se njihovom uklanjanju treba pristupiti ozbiljno i temeljno. Na delu Dunava, od mađarske granice (plovni km 1433) do bugarske granice (plovni km 845), u dužini od 588 kilometara potopljeno je preko 500 plovila, ne računajući 130 potopljenih brodova Crnomorske flote i nemačke rečne ratne flotile iz-

među Kuskaka i Prahova. Zbog potopljenih plovila, između Kuskaka i Prahova, plovni put je u dužini od šest kilometara sužen na svega 50 metara i znatno otežava saobraćaj brodova. U poslednjih nekoliko godina bilo je mnogo najava za početak dizanja potopljenih nemačkih plovila iz Drugog svetskog rata. Prema projektu Evropske agencije za rekonstrukciju, u okviru Master plana razvoja plovnih puteva Srbije do 2025. godine, za dizanje 12 potopljenih plovila potrebno je 12 miliona evra.



*Slika 1 – Olupine Nemačke rečne ratne flotilla između Kuskaka i Prahova*  
*Figure 1 – Wreck of a German river war fleet between Kuskak and Prahovo*

Dizanje, odnosno uklanjanje potonulih objekata, predstavlja složen postupak koji obuhvata precizno lociranje i obeležavanje, zahvatanje, podizanje i uklanjanje potonulog objekta iz plovnog puta.

Potonuli objekti, koji nisu vidljivi na površini vode, otkrivaju se pomoću ehosondera, magnetometara, elastičnih ili krutih ramova, čaklji, graduisanih letvi i sličnog pribora uz angažovanje ronjoca, uz primenu savremenih informacionih dostignuća za ažuriranje stanja plovnog puta [3].

Za podizanje potonulih objekata koriste se plovne dizalice, pontoni za podizanje, kompresori i čamci, a od opreme: lanci, čelična užad, kuke različitih veličina itd. U pojedinim slučajevima mogu se koristiti vodeni ejektori za oslobađanje potonulih objekata od nanosa. U svim težim slučajevima angažuju se ronjoci. U zavisnosti od konkretnih okolnosti (karakteristike potonulog objekta, opremljenosti ekipe...), dizanje se vrši pomoću dizalica ili pontona, zatim izvlačenjem na obalu pomoću vitala i slično.

Karakter pomoračkih radova pri dizanju potonulih brodova pre svega zavisi od načina na koji se oni dižu. Postoje dva osnovna načina dizanja potonulih brodova: uspostavljanjem plovnosti (uzgona) potonulog broda i



dizanje broda dejstvom spoljnih sila. Prvi način dizanja odnosi se na dizanje broda ispumpavanjem potopljenih odseka i njihovo produvavanje komprimovanim vazduhom.

Drugi način dizanja postiže se dejstvom spoljnih sila na potonuli brod. Tu se podrazumeva upotreba različitih plovni sredstava, na primer cilindara, splavova ili plovni dizalica, dizalica-kosnika, teških koloturnika sa vitlima, vijaka za dizanje brodova itd. Potonuli brodovi se najčešće dižu pomoću plovni dizalica. Ponekad više plovni dizalica učestvuje istovremeno na dizanju jednog potonulog broda. Dizanje potonulih brodova na klasičan način pomoću cilindara ili pontona se sve manje primenjuje, jer dugo traje, zahteva dužu pripremu i zavisi od stanja vode (talasa i vodostaja) i od vremenskih prilika.

Rad prikazuje uslove korišćenja plovni dizalica na unutrašnjim plovim putevima sa proračunskim pojedinostima za stabilitet. U prvom delu rada obrađene su opšte karakteristike plovni dizalica, dok se u drugom delu rada razmatraju kriterijumi stabiliteta za različita stanja dizanja potonulih objekata. Rad pruža teorijske i praktične osnove uslova za korišćenje plovni dizalica za dizanje potonulih objekata koje mogu iskoristiti odgovorne organizacije i rečne jedinice koje će se ovim poslovima baviti.

## Plovne dizalice

Plovna dizalica je vrsta plovnog objekta za podizanje i premeštanje tereta. Plovne dizalice su plovni objekti sa vlastitim pogonom ili bez njega, sa ugrađenom dizalicom i neograničenim radijusom kretanja. Služe za dizanje potonulih plovni objekata i pri građenju u i na vodi. Plovne dizalice mogu biti raznih konstrukcija i obično su sa nepokretnim stubom i pokretnim krakom. Najčešće konstrukcije plovni dizalica su električnog pogona sa sopstvenom centralom na pontonu koja daje i energiju za kretanje pontona i pumpe koje uravnotežuju ponton u zavisnosti od veličine tereta [4]. Opremaju se različitim tipovima zahvatnih organa kao što su grajfer – grabilica, kuka, „klešta“, a mogu biti opremljene uređajima za gašenje požara, spasavanje plovila od potonuća usled prodora vode i za obavljanje sličnih zadataka. Nosivost dizalice određuje se pomoću jednačine:

$$W > G_0 + G_1 + G_2 \quad (1)$$

gde su:  $W$  – potrebni deplasman dizalice,  $G_0$  – bruto težina dizalice,  $G_1$  – bruto težina objekta koji se podiže sa dna i  $G_2$  – sila odvajanja potonulog objekta od rečnog nanosa.

Sve plovne dizalice imaju svoje dozvoljeno radno opterećenje (engl. Safe Working Load – SWL) koje se ne sme prekoračiti, a predstavlja krajnju nosivost dizalice. Savremene plovne dizalice često se primenjuju u lukama gde se koriste za krcanje teških generalnih i rasutih tereta [5].

Plovne dizalice mogu biti okretne sa strelom ili mosne dizalice. Okretne dizalice sastoje se od pontona na kojem je smešteno postolje dizalice sa strelom. Strela je promenljivog dohvata i može se okretati za  $360^\circ$  oko vertikalne ose. Maksimalna težina tereta koji se podiže zavisi od nagiba strele, najveća je kada je strela u vertikalnom položaju i opada kada se spušta.

Naša najsavremenija dizalica na unutrašnjim plovnim putevima je samohodna plovna dizalica 500/50 kN i u fazi opremanja (slika 2). Nalazi se u sastavu plovne jedinice Rečne flotile, a građena je u brodogradilištu "Beograd" u Beogradu. Projektovana je kao dvopropelerni jednopalubni brod sa pontonskom formom trupa i okretnom dizalicom. Namenjena je za vertikalni transport tereta do 500 kN, prevoz gabaritnog tereta do 100 tona, čišćenje tankova drugih brodova, gašenje požara na plovnim objektima, spasavanje plovila od potonuća usled prodora vode, prekrćavanje tereta na sidrištu sa plovila na plovilo ili sa plovila na obalu, i obratno.



Slika 2 – Plovna dizalica LDI-500 u opremanju  
Figure 2 – Assembling of an LDI-500 floating crane

Za izvršavanje navedenih i drugih zadataka, na ovoj dizalici postoje savremeno opremljene radionice. Dizalica može da diže teret od 50 t sa dubine vode od 50 m i da ga diže na visinu 32 m na udaljenosti od 20 m od sebe i da vrši okret sa teretom za  $360^\circ$  ili da podiže teret od 20 t koji je od nje udaljen 29 m. Ima  $180 \text{ m}^2$  slobodne površine na palubi za smeštaj tereta. U trupu su, pored krmenog i pramčanog pika, smešteni prostori pogonskih motora, generatora i stambeni prostor. Maksimalni gaz dizalice je 2,3 m.

Mosne dizalice su isključivo namenjene za dizanje tereta do 500 tona. Sastoje se od dva plovna tela iznad kojih su u obliku poprečnih mostova namešteni nosači sa vretenima za dizanje.

## *Uslovi stabiliteta i nepotopivosti plovne dizalice*

Kao i svaki drugi plovni objekt, i plovna dizalica mora biti u stanju da se suprotstavi naginjanju pontona zbog delovanja spoljnih sila, tj. mora imati dovoljan stabilitet. Kako sile koje deluju na dizalicu mogu biti statičke i dinamičke prirode [6], razlikuje se statički i dinamički stabilitet. Statičke sile su: opterećenje dizalice pri podizanju tereta i sila stalnog vetra, a pod dinamičkim opterećenjem podrazumeva se naglo udarno opterećenje, koje se može desiti kad pukne uža pri podizanju tereta, i sila naglog udara vetra. Da bi se zadovoljili uslovi stabiliteta, potrebno je dimenzije pontona odabrati tako da pri statičkom opterećenju dizalice, u normalnom slučaju pogona, uglovi nagiba pontona ne prelaze unapred zadatu vrednost (obično  $5^\circ$ ). Proračunom stabiliteta treba pre osnivanja dizalice predvideti i stabilitet dizalice u slučaju havarije, na primer pri pojavi dinamičkog opterećenja u vanrednim slučajevima. U najnepovoljnijem slučaju kombinovanog opterećenja od korisnog tereta i vetra kad dizalica ne diže teret, paluba pontona ne sme uranjati u vodu, odnosno dno pontona ne sme izranjati iz vode. Zbog malih uglova nagiba pontona dovoljno je u slučaju statičkog opterećenja, koristiti formule za početni stabilitet. U slučaju dinamičkog opterećenja, koristi se dijagram poluga statičkog stabiliteta i dijagram redukovano momenta vetra, pa se uglovi nagiba dobijaju izjednačenjem odgovarajućih površina ispod tih krivih [7]. Ugao nagiba dizalice pri podizanju tereta treba ograničiti jer od njega zavisi dohvat dizalice. Dohvat se može znatnije promeniti i pri malim uglovima nagiba zbog velike visine vešanja kuke za podizanje tereta. Karakteristika opterećenja kopnenih dizalica je određena momentom opterećenja koji je jednak proizvodu težine tereta i dohvata kraka dizalice. Za plovne dizalice važna je i visina vešanja tereta. Što je veća visina, manji je početni stabilitet pontona, a uglovi nagiba su veći pri podizanju istog tereta. Ako su dimenzije pontona ograničene, ne može se primeniti normalna gradnja. Ako je gaz pontona ograničen, a dužina i širina nisu (plovna dizalica koja radi na rekama ili blizu obale u prirodnim lukama), dizalica će imati horizontalno dno da potpuno iskoristi gaz. Pri kosom dnu već pri malim nagibima dno izlazi iz vode, što znatno smanjuje stabilitet. Radi jednostavne konstrukcije i spuštanja težišta sistema upotrebljavaju se fiksni protivtegovi, a njihova se manja efikasnost može nadoknaditi većom širinom pontona, što znatno povećava stabilitet.

Ako je uz gaz ograničena i širina pontona (dizalice koje rade u kanalima), treba za poboljšanje stabiliteta upotrebiti pokretne protivtegove. Ako se protivtegovi postave na šine okretnog gornjeg uređaja podiže se težište sistema, što uzrokuje smanjenje stabiliteta. Stabilitet se može kompenzovati povećavanjem površine vodene linije. Kako je širina ograničena, to je moguće postići samo povećanjem dužine pontona, što je nepraktično jer je

teško manevrisati takvom dizalicom. Zbog toga je bolje postaviti pokretan protivteg niže, tj. na ponton, i zadovoljiti se samo delimičnim uravnoteženjem tereta. U tom slučaju su protivtegovi ujedno i balast za uravnoteženje pontona u uzdužnom smeru. Ako je širina pontona toliko ograničena da se ne može primeniti dizalica sa fiksnim protivtegom, a gaz nije ograničen, može se koristan teret potpuno uravnotežiti protivtegom. Ovakvo rešenje neznatno utiče na povećanje istisnine, te nije neophodno povećavati glavne dimenzije pontona jer se pogodnim oblikovanjem njegove podvodne forme (koso dno koje se podiže prema krmi) može težište istisnine pomeriti prema pramcu. To znači da se u uzdužnom smeru dizalica može uravnotežiti i bez balasta. Mali gaz na krmi pontona ne smeta, jer dizalica radi bez nagiba, ali treba obratiti pažnju na mogućnost prevrtanja dizalice u slučaju prekida užeta za podizanje tereta.

Premeštanje težišta istisnine prema pramcu, zbog smanjenja balasta, pomoću prigodnog oblikovanja vodne linije, nije pogodno jer se tako pri maksimalnoj zadanoj širini pontona smanjuje metacentarska visina, a to za plovne dizalice nije dozvoljeno.

Proračun nepotopivosti treba predvideti da se u slučaju prodora vode, zbog opterećenja spoljne oplata pontona, spreči prevrtanje ili potonuće plovne dizalice. Nepotopivost plovne dizalice se, kao i kod brodova, postiže pogodnim rasporedom uzdužnih i poprečnih nepropusnih pregrada unutar pontona i određenom veličinom nadvođa. Pri proračunu nepotopivosti pretpostavlja se da se, kad je kuka neopterećena, mogu naplaviti dva susedna odseka – prostora, sa teretom na kuki samo jedan odsek, a da paluba pontona ne uroni pod vodu [7].

Plovna dizalica za vreme plovidbe, premeštanja unutar područja rada i u svim stanjima bez tereta na kuki, mora zadovoljavati sve zahteve za stabilitet pontona uz površinu izloženu vetru izračunatu metodom proračuna delovanja na visoke strukture kompleksnog oblika.

### *Uslovi korišćenja teretnih uređaja plovnih dizalica*

Spoljna opterećenja koja deluju na teretne uređaje plovne dizalice, za vreme njihovog korišćenja dele se na osnovna, dopunska i posebna.

Osnovna opterećenja – stalna opterećenja su vlastita težina nosive konstrukcije, mehanizama, komunikacijskih postolja, stalnih protivtegova, kojima veličina i položaj u odnosu na posmatrani deo konstrukcije ostaju nepromenjeni za vreme korišćenja.

U proračunima se može zanemariti vlastita težina privesa (masa kuke, grabilice, itd.), ako njihova težina ne prelazi 5% težine dizanog tereta.

U dopunska opterećenja ubrajaju se: opterećenja usled vetra, leda, opterećenje usled kretanja vode i sile inercije usled kretanja vode.

Posebna opterećenja su: ispitna opterećenja; opterećenja konstrukcije zavisno od primenjenog načina montaže teretnog uređaja i tehnologije montažnih radnji; udar odbijanja talasa; otkidanje tereta.

Položaj grane zakretne dizalice za proračun uzima se kao da je normalan na središnju uzdužnu liniju pontona.

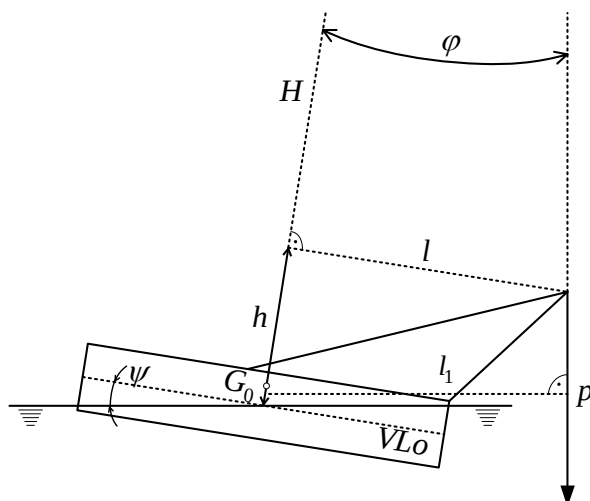
Kod dizalica koje se ne mogu zakretati, kod kojih se rad grane odvija u uzdužnoj ravni, mora se uzeti u obzir mogućnost nesimetričnog opterećenja na kukama, ako ta mogućnost postoji zbog konstrukcije dizalice.

Položaj težišta tereta na kuki za proračun mora se uzeti da je u tački hvatišta kuke na granu dizalice.

Za slučaj havarije – pada (otkidanja) tereta sa kuke, stabilitet se mora proveriti za najnepovoljnije stanje krcanja sa teretom na kuki, uzevši u obzir i mogući nesimetrični razmeštaj tereta na palubi [8].

### *Uticaj visećeg tereta na stabilitet plovne dizalice*

Kada teret visi na podizaču, tj. teretnom uređaju plovne dizalice, smanjiće se stabilitet, a plovna dizalica će se nagnuti u uzdužnom smeru za ugao  $\psi$  i u poprečnom za ugao  $\varphi$  (slika 3). Prema tome, za teret poznate mase  $p$  koji visi na teretnom uređaju plovne dizalice treba proračunati smanjenje početne metacentarske visine, zatim ugao uzdužnog nagiba  $\psi$ , ukupnu promenu trima  $u$ , i ugao poprečnog nagiba  $\varphi$  [9].



Slika 3 – Viseći teret na podizaču plovne dizalice  
Figure 3 – Cargo hanging on the lifting appliance of a floating crane

Naročito je važno poznavanje uticaja visećeg tereta kod plovni dizalica. Pomeranje težišta sistema broda, odnosno nova  $\overline{M_0G_1}$  posmatra se kao pri dodavanju tereta  $p$  na određenu visinu. Ta visina je visina osovine gornjeg koloturnika samarice nad težištem sistema broda  $h$ .

Smanjenje stabiliteta, tj. početne metacentarske visine računa se:

$$\overline{G_0G_1} = \frac{p \cdot h}{D + p} \quad (2)$$

Nova početna metacentarska visina računa se prema jednačini:

$$\overline{M_0G_1} = \overline{M_0G_0} - \overline{G_0G_1} \quad (3)$$

Za proračunavanje ugla uzdužnog nagiba, koji prouzrokuje viseći teret, uzećemo za primer teret koji visi na podizaču plovne dizalice (slika 3). Kada se plovna dizalica pri dizanju tereta  $p$  nagne u uzdužnom smeru za ugao  $\psi$ , tada je poluga momenta nagnjanja (nagiba) jednaka  $l_1$  i ona se određuje prema:

$$l_1 = (h + H) \cdot \sin \psi \quad (4)$$

U jednačini  $h$  je visina vešanja tereta na vrhu krova dizalice od težišta sistema  $G_0$ ,  $H$  – udaljenost na pravcu delovanja uzgona za vodenu liniju VLo (vodena linija pre nagiba broda), i to od tačke preseka te prave sa pravcem delovanja tereta  $p$  do visine  $h$ .

Jednačina stabiliteta u ovom slučaju glasi:

$$p \cdot l_1 = (D + p) \cdot \overline{M_0G_0} \cdot \sin \psi \quad (5)$$

$$p \cdot (h + H) \cdot \sin \psi = (D + p) \cdot \overline{M_0G_0} \cdot \sin \psi \quad (6)$$

$$p \cdot (h + H) = (D + p) \cdot \overline{M_0G_0} \quad (7)$$

Ako je  $l$  horizontalna udaljenost napadne tačke sile  $p$  od središta vodene linije, pri ravnom položaju dizalice biće:

$$H = l \cdot \operatorname{ctg} \psi = \frac{l}{\operatorname{tg} \psi} \quad (8)$$

$$p \cdot \left( h + \frac{l}{\operatorname{tg} \psi} \right) = (D + p) \cdot \overline{M_0G_0} \quad (9)$$

$$p \cdot h + p \cdot \frac{l}{\operatorname{tg} \psi} = (D + p) \cdot \overline{M_0G_0} \quad (10)$$

Ako jednačinu (10) pomnožimo sa  $\operatorname{tg} \psi$  dobija se:

$$p \cdot h \cdot \operatorname{tg} \psi + p \cdot l = (D + p) \cdot \overline{M_0G_0} \cdot \operatorname{tg} \psi \quad (11)$$

$$p \cdot l = (D + p) \cdot \overline{M_0 G_0} \cdot \operatorname{tg} \psi - p \cdot h \cdot \operatorname{tg} \psi \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{p \cdot l}{(D + p) \cdot \overline{M_0 G_0} - p \cdot h} \quad (13)$$

Ugao poprečnog nagiba broda računa se analogijom prema gornjoj formuli:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p \cdot b}{(D + p) \cdot \overline{M_0 G_0} - p \cdot h} \quad (14)$$

gde je  $b$  udaljenost težišta visećeg tereta od simetralne ravni broda.

Ukupna promena trima ( $u$ ) računa se:

$$\frac{u}{L} = \operatorname{tg} \psi \quad (15)$$

$$u = \frac{p \cdot l \cdot L}{(D + p) \cdot \overline{M_0 G_0} - p \cdot h} \quad (16)$$

Prilikom korišćenja plovinih dizalica za dizanje potonulih objekata na unutrašnjim plovim putevima potrebno je poznavati težinu tereta i izvršiti proračune smanjenja početne metacentarske visine, zatim ugao uzdužnog nagiba  $\psi$ , ugao poprečnog nagiba  $\varphi$  i ukupnu promenu trima  $u$ .

Prethodni proračuni su važni, jer se dizanje tereta na unutrašnjim plovim putevima prevashodno vrši u uslovima malih dubina, sa stalno prisutnom opasnošću od „nasedanja“ (nasukanja) plovne dizalice i oštećenja podvodnog dela, koje može prouzrokovati i prodor vode (naplavlivanje) odseka plovne dizalice.

### *Dopunski kriterijumi stabiliteta plovne dizalice*

Za vreme podizanja tereta plovnom dizalicom moraju se zadovoljiti sledeći dodatni kriterijumi stabiliteta [10]:

$$\theta_C < 15^\circ \quad (17)$$

$$GZ_C \leq GZ_{\max} \quad (18)$$

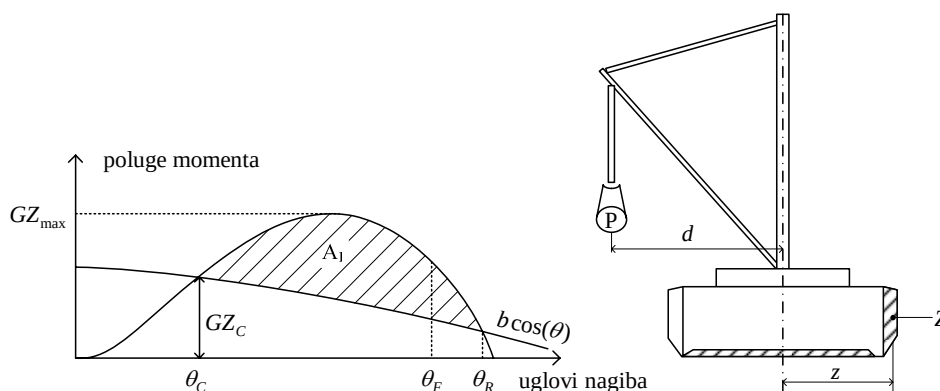
$$A_1 \geq 0,4A_{\text{tot}} \quad (19)$$

U prethodnim izrazima  $\theta_C$  je ravnotežni ugao nagiba, odgovara prvom preseku (presečnoj tački) krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba. Na slici 4 prikazani su  $GZ_C$  i  $GZ_{\max}$ . Površina  $A_1$  sadržana je između krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba, mereno od ugla nagiba  $\theta_C$

do najmanjeg od sledećih uglova nagiba: ugla gubitka stabiliteta  $\theta_R$ , koji odgovara drugom preseku (presečnoj tački) krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba i ugla naplavlivanja  $\theta_F$ , pri kojem uranjaju nezaštićeni otvori. Površina  $A_{tot}$  je ukupna površina ispod krive poluga stabiliteta. U navedenim kriterijumima, poluga nagiba usled podizanja tereta dobija se pomoću sledećeg izraza:

$$l_q = P \cdot d - Z \cdot z / D \quad (20)$$

gde je:  $P$  – masa podizanog tereta,  $d$  – poprečna udaljenost, podizanog tereta od uzdužne simetralne ravni,  $Z$  – masa, balasta korištenog za izravnavanje pontona, ako se isti koristi,  $z$  – poprečna udaljenost, težišta  $Z$  balasta od uzdužne simetralne ravni (slika 4),  $D$  – deplasman – istisnina, razmatranog stanja krcanja.



Slika 4 – Stabilitet pri dizanju tereta  
Figure 4 – Cargo lifting stability

Provera stabiliteta sprovodi se za najnepovoljniji slučaj podizanja tereta u najnepovoljnijem stanju krcanja s najvećim dozvoljenim opterećenjem na kuki, uz maksimalni moment usled tog opterećenja, pri čemu se početna metacentarska visina  $MG_0$  mora korigovati zbog uticaja slobodnih površina tečnosti u tankovima [11].

Kriterijum stabiliteta u slučaju iznenadnog pada tereta prilikom podizanja razmatra slučaj pretpostavljenog pada tereta usled prekida podiznog užeta.

U tom se slučaju mora zadovoljiti sledeći dodatni kriterijum stabiliteta:

$$A_2 / A_1 \geq 1 \quad (21)$$

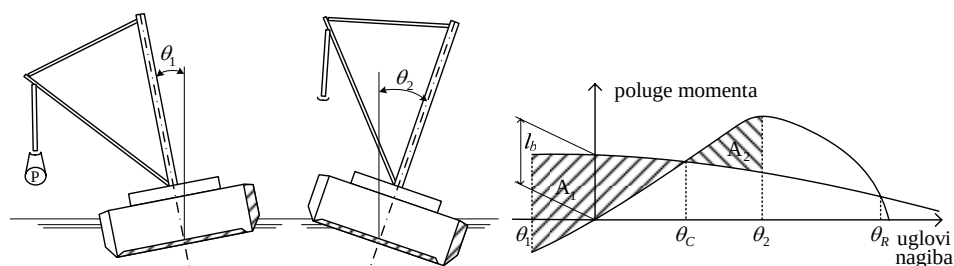
$$\theta_R - \theta_2 \geq 20^\circ \quad (22)$$



Površina  $A_1$  sadržana je između krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba, mereno od ugla nagiba  $\theta_1$  do ugla nagiba  $\theta_C$ . Površina  $A_2$  sadržana je između krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba, mereno od ugla nagiba  $\theta_C$  do ugla nagiba  $\theta_2$ . Ravnotežni ugao nagiba prilikom podizanja tereta je označen sa  $\theta_1$ . Ravnotežni ugao nagiba  $\theta_C$ , odgovara prvoj presečnoj tački krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba. Ugao naplavljivanja, se ne uzima veći od  $30^\circ$  (ugao pri kojem se teret na palubi počinje pomerati) je označen sa  $\theta_2$ . Ugao gubitka stabiliteta  $\theta_R$ , odgovara drugoj presečnoj tački krive poluga stabiliteta i krive poluga nagiba (slika 5).

U navedenim kriterijumima, poluga nagiba usled pada tereta dobija se pomoću sledećeg izraza:

$$l_b = Z \cdot \frac{z}{D} \cdot \cos \theta \quad (23)$$



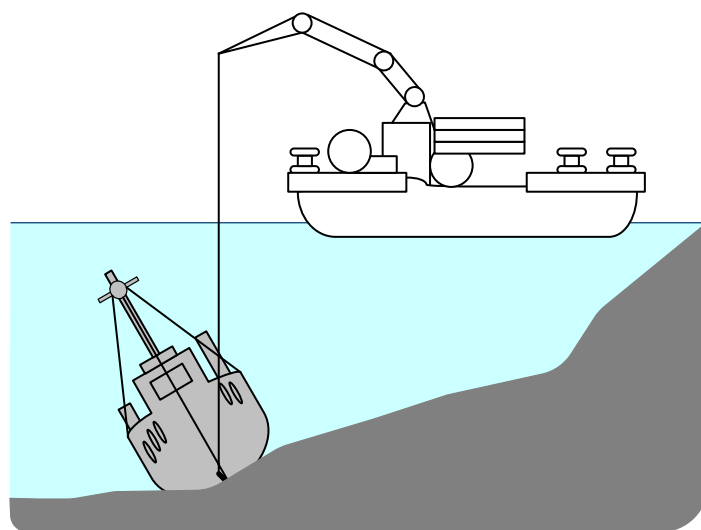
Slika 5 – Stabilitet pri padu tereta  
Figure 5 – Cargo loss stability

## Dizanje potonulih brodova

Zaštropljavanje manjeg broda (plovnog sredstva) pri dizanju jednom dizalicom ili kosnik dizalicom vrši se sa dva štopa, koji su nametnuti sa krme i pramca, broda koji se diže, podvlačenjem, ispiranjem krajeva broda ili prokopavanjem (ispiranjem) kanala – tunela. Upletke – petlje jednog štopa ronilac nameće na kuku dizalice, kojom se štop najpre nateže okomito. Posle toga se koloturnik razvlači, a očne upletke se nameću na palubu.

Kada obuhvati na isti način i drugi štop (krmeni), ronilac nameće na kuku upletke prvog štopa i podvezuje sva četiri kraja ispod kuke prihvatnim konopom. Posle toga dizalica pažljivo nateže štopove za dizanje za 20-25% težine broda koji se diže. Štopovi pri tome pomalo klize po bokovima prema sredini broda. Ronilac proverava sva četiri štopa, koji moraju biti dobro i ravnomerno nategnuti. U takvom položaju ronilci postaju

vljaju na štopove vezaljke, koje se učvršćuju na palubu, palubne otvore, bitve itd. (slika 6). Ako je paluba slaba na mestima gde štopovi pritiskaju, tada se drvene prečke (grede), koje se učvršćuju klinovima, mogu postaviti popreko palube.



Slika 6 – Dizanje potonulog broda plovnom dizalicom

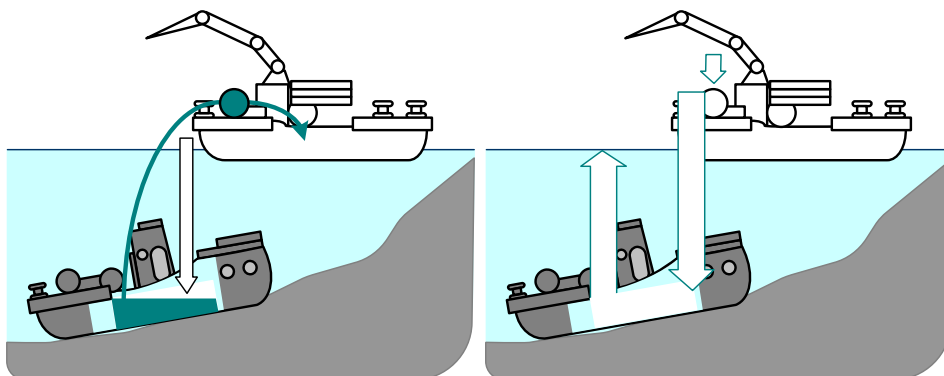
Figure 6 – Lifting a sunken ship with a floating crane

Ako po bokovima brod ima ljuljne kobilice ili grednu kobilicu, i ako je statva oštra ili je oplata suviše tanka, tada se umesto štopova upotrebljavaju metalni potpasi (pojasi), jer bi inače štopovi probili – isekli oplatu ili bi se sami pokidali na oštrim ivicama kobilice ili statve [12].

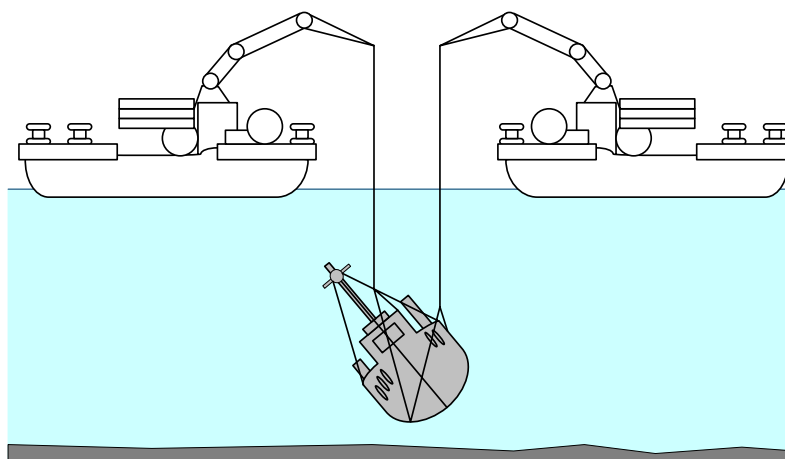
Dizanje potonulog broda kosnik-dizalicom se, načelno, ne razlikuje od dizanja dizalicom. Kosnik-dizalicom se, međutim, zbog malog zahvata po visini i širini kosnika, ne može podići brod odmah na površinu. Zbog toga, kada se brod podigne za onoliko koliko je moguće, ova dizalica ga prenosi na manju dubinu. Završno dizanje broda vrši se ispumpavanjem vode, produvavanjem komprimovanim vazduhom, dizalicom ili na neki drugi način, po mogućnosti na zaštićenom mestu (slika 7).

Ako je za dizanje broda malo jedna dizalica, mogu se upotrebiti dve ili više dizalica i kosnik dizalica [13]. U tom slučaju zahvatanje štopova za brod vrši se posebno za svaku dizalicu i kosnik (slika 8).

Kod jačih dizalica štopovi se zahvataju ispod trupa broda, a kod manjih dizalica i kosnika štopovi se mogu zahvatati i vezati za dovoljno čvrste delove brodske konstrukcije.



Slika 7 – Dizanje potonulog broda ispušćavanjem vode i produvavanjem komprimovanim vazduhom sa plovne dizalice  
 Figure 7 – Lifting a sunken ship by pumping water and blowing compressed air from a floating crane



Slika 8 – Dizanja potonulog broda sa dve plovne dizalice  
 Figure 8 – Two floating cranes lifting a sunken ship

Ovakav način dizanja je vrlo opasan, jer je vrlo teško regulisati ravnomerno opterećenje štopova prilikom dizanja, naročito ako se ono vrši sa dve i više dizalice. Neravnomerno opterećenje može dovesti do kidanja štopa na jednoj od dizalica, pri čemu ostale dobijaju opterećenja veća od dozvoljenih. Zbog toga se istovremeni rad sa nekoliko dizalica može dozvoliti samo u izuzetnim situacijama, ako su radovi van jakih rečnih struja i nema talasa. Pre početka dizanja potrebno je pažljivo ispitati ispravnost svih dizalica, dobro razmotriti mere koje treba preduzeti u slučaju iznenadnog pogoršanja vremenskih prilika za vreme dizanja, tačnu i

brzu vezu i signalizaciju između dizalica i komandnog mesta. Za vreme dizanja sa više dizalica upravljanje njihovim radom mora biti objedinjeno i vrši se sa jednog komandnog mesta.

Koncentracije naprezanja na bokovima plovne dizalice su nejednake. Naime, zbog delovanja rečne struje vode, oplata plovne dizalice može biti izložena nesimetričnim uzdužnim opterećenjima zbog različitog otpora pojedinih delova. Usled toga moguće je pomeranje pozicije i potrebno je stalno proveravati i sprečiti odgovarajućim sidrenjem i/ili vezom.

Ukoliko je na potonulim objektima (brodovima) usled havarije ili dugog ležanja na dnu reke došlo do prekida konstrukcije potrebno je dizati ih u delovima. To dodatno usložava operaciju dizanja, jer treba dobro proceniti težinu i mesta za zahvatanje štopova.

Za podvodne tehničke radove u lukama i na rekama koriste se plovne dizalice čija je nosivost 10–20 tona [14] (slika 9).



Slika 9 – Plovne dizalice brodarskih organizacija i preduzeća  
Figure 9 – Floating cranes of shipping organizations and companies

Skele za dizanje tereta, nosivosti 10-15 tona, ponekad može izraditi sama jedinica za svoje potrebe. Pri dizanju manjih potonulih objekata uspešno se mogu primeniti i plovni pontoni na kojima su ukrcani bageri dizalice [15].

Plovne dizalice opremaju se sofisticiranom opremom za merenje inercijalnih opterećenja u različitim uslovima rada, kao i opremom za merenje nagiba. Takođe, opremaju se uređajima za merenje brzine vetra i drugih hidrometeoroloških podataka koji se prate u realnom vremenu, automatskom obradom podataka.

Dovođenje plovne dizalice na zahtevanu poziciju izvodi se teglenjem pomoću remorkera, kao i upotrebom sistema za sidrenje.

Plovna dizalica se za vreme rada premešta pomoću pritezni i sidrenih vitala. Obično je sa dva užeta privezana uz obalu a sa dva za sidra. Pritezanjem i popuštanjem pojedinih užeta može se plovna dizalica pomerati na ograničenom području.

Pozicioniranje plovni dizalica vrši se primenom savremenih satelitskih navigacijskih sistema [16], [17]. Postoje i sistemi za automatsko pozicioniranje plovne dizalice. Sistem upravljanja sidrenim vitlima koji omogućavaju dovođenje plovila bez vlastitog pogona na poziciju određenu putem satelitskih navigacijskih sistema.

## Zaključak

Za dizanje potonulih objekata na unutrašnjim plovim putevima uspešno se mogu koristiti plovne dizalice brodarskih organizacija i preduzeća i vojske naše zemlje. Zbog velikog broja potonulih plovila i drugih objekata koji se nalaze na plovim putevima Srbije potrebno je u narednom periodu izvršiti njihovo podizanje i uklanjanje. Na taj način će se unaprediti sigurnost plovidbe plovim putevima Srbije. Predloženi postupak i uslovi dizanja domaćim plovim dizalicama znatno bi se smanjili ukupni troškovi. Prema projektu Evropske agencije za rekonstrukciju, u okviru Master plana razvoja plovni puteva Srbije do 2025. godine, potrebno je dizanje i uklanjanje određenog broja potonulih objekata. Korišćenjem naših plovni dizalica i ulaganjem u završno opremanje plovne dizalice LDI-50 Rečne flotile, uspostavila bi se „služba plovni dizalica“ koja bi mogla uspešno da završi dizanje svih potonulih objekata na našim plovim putevima u narednim godinama. Pored toga, i u budućnosti bi iskustvo stečeno u ovim radovima bilo od neprocenjive vrednosti u operacijama spasavanja na plovim putevima. Ulaganjem u završno opremanje plovne dizalice Rečne flotile, Republika Srbija bi dobila savremeno opremljenu plovnu jedinicu i obučene posade za vanredne situacije i operacije spasavanja na plovim putevima Srbije. Rečna flotila bi za ovaj posao mogla upotrebiti i druge brodove, tj. plovne jedinice, sredstva za pretraživanje, traganje i spasavanje i ronioce.

Prilikom korišćenja plovni dizalica za dizanje potonulih objekata potrebno je da se izvrše potrebni proračuni stabiliteta i utvrde uslovi za svaku situaciju, tj. operaciju podizanja. Naime, potrebno je poznavati težinu tereta i izvršiti proračune smanjenja početne metacentarske visine, zatim ugao uzdužnog nagiba  $\psi$ , ukupnu promenu trima  $u$ , i ugao poprečnog nagiba  $\phi$ . Proračuni su veoma važni, jer će se radovi dizanja prevashodno vršiti u uslovima malih dubina, sa stalno prisutnom opasnošću od nasukanja plovne dizalice i oštećenja podvodnog dela, koje može prouzrokovati i prodor vode (naplavlivanje) odseka plovne dizalice. Tačni proračuni su od presudne važnosti za uspeh operacije i sigurnost posada i opreme.

## Literatura

- [1] Coroban, C., *Some considerations on the EU Danube Strategy and the Black Sea Region*, Eastern Journal of European Studies, 2/2011, pp. 97-110.
- [2] Girin, M., *European experience in response to potentially polluting shipwrecks*, Marine Technology Society Journal, Vol. 38 (21-55), 2004.
- [3] Jovičić, A., Đorđević, Z., Aleksić, M. U., Mitrović, S. T., *Functional model of C4ISR System for Coastal Surveillance, Crime Prevention and Rescue Support*, Collection of Papers of the Faculty of Maritime Studies, 21/2005, pp. 359–366.
- [4] Radojević, S. M., *Upravljanje brodom*, Vojna akademija, Beograd, 2009.
- [5] Краморенко, А. В., *Перспективы развития технических средств судоподъема*, Военная мысль, Vol. 11 (35-45), 2008.
- [6] Zhang, Q., Zhang, J. J., He, J., Li, Y. F., Qin, X. R., *A Method of Dynamic Modeling of a Large Floating Crane and its External Excitations*, Advanced Materials Research, Vol. 139 (2440-2445), 2010.
- [7] *Pomorska enciklopedija 6*, Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb 1983.
- [8] Rules for the Classification and the Certification of Cranes onboard Ships and Offshore Units, Bureau Veritas, 2007.
- [9] Mégel, J., Kliava, J., *Metacenter and ship stability*, American Journal of Physics, 78/2010, pp 738.
- [10] *Non-Propelled Units*, in: Rules for the Classification of Steel Ships, PART E – Service Notations, Bureau Veritas, 2000.
- [11] Radojević, S. M., *Krcanje i prevoz tereta*, Medija centar Odbrana, Beograd, 2011.
- [12] Pomorački radovi službe za spašavanje, DSNO, Mornarička uprava, Beograd, 1972.
- [13] Grundt, E., Lavroff, S., Nechajew, K., *Schiffsbergung*, BoD, 2010.
- [14] Авотин, П. Г. *Речной судоподъем*, Издательство Наркомречфлота СССР, Москва, 1942.
- [15] Huang, E. T., *Static stability assessment of an ELCAS(M) based barge crane*, Naval Facilities Engineering Command, Port Hueneme, 2009.
- [16] Radojević, S. M., *Razvoj globalnih satelitskih navigacionih sistema*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 3, pp. 111–126, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2009.
- [17] Radojević, S. M., *Tačnost i modernizacija globalnog pozicionog sistema*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 4, pp. 108–131, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2009.

### CONDITIONS OF USING FLOATING CRANES FOR LIFTING SUNKEN OBJECTS ON INLAND WATERWAYS

FIELD: Mechanical Engineering, Transportation Devices

ARTICLE TYPE: Review Paper

#### Summary:

*This paper presents the conditions for using floating cranes for lifting sunken vessels and other objects on inland waterways. Basic technical data are given together with technical details for the usage of floa-*

*ting cranes for lifting sunken objects. The paper points to the importance of lifting sunken objects and their removal from inland waterways in the Republic of Serbia.*

#### Introduction

*On inland waterways of the Republic of Serbia, there are many sunken objects. Sunken objects, i.e. ships, affect the reduction of width and depth of waterways, which can result in interrupted navigation. They seriously endanger safety of navigation, which in turn demands a very serious and thorough process of their removal. Sunken ships are usually lifted by floating cranes. The paper presents conditions needed for floating cranes usage on inland waterways, with the stability calculation.*

#### Floating cranes

*The first part of the paper gives an overview of the general characteristics of floating cranes, while the second part refers to the criteria of stability. When using a floating crane for lifting sunken objects on inland waterways, it is necessary to consider cargo weight, as well as to calculate the reduction of the initial metacentric height, longitudinal inclination angle, angle of heeling and overall change in draught. Preliminary calculations are important, since lifting of sunken objects on inland waterways is usually carried out in shallow waters, with a constantly present threat of grounding floating cranes and damaging underwater parts of cranes.*

#### Lifting of sunken ships

*The paper provides a theoretical and practical basis for requirements needed for lifting sunken objects by floating cranes, which could be useful and beneficial for responsible organizations and river units that will deal with these issues.*

#### Conclusion

*Floating cranes of Serbian companies, shipping organizations and Serbian armed forces can be successfully used for sunken ships lifting on inland waterways. A large number of sunken ships on Serbian rivers and canals actualize the issue of their lifting and removal from inland waterways in order to increase navigation safety. This research gives a necessary theoretical and practical framework for completing the described task effectively.*

*Key words: inland waterway, lifting sunken objects, floating crane, ship stability*

Datum prijema članka: 22. 08. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 29. 09. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 05. 10. 2011.

## IMPORTANCE OF LUBRICANT ANALYSIS

Perić R. *Sreten*, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Belgrade

DOI: 10.2298/vojtehg1202156P

FIELD: Mechanical Engineering, Engines and Motor Vehicles

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

### Summary:

*Monitoring the performance of lubricants in practical application has multiple significance for both the consumer and the lubricant manufacturer. The primary significance for the consumer is extended life and timely change of lubricants, which keeps the costs of maintenance down. The lubricant manufacturer gains by creating a partner relationship with the consumer, as well as creating the possibility of gathering information about the performance of his product which will serve as the foundation for its further improvement and development.*

*If we wish to maintain technical systems so that they have minimum halts and costs caused by halt removal or system failures, we must monitor data indicating equipment condition throughout the system operation. It is especially difficult to obtain data on equipment condition for parts which cannot be observed due to their position. In such cases, the oil analysis enables a continuous equipment condition monitoring and timely response in order to prevent undesirable prolonged halts.*

Key words: *monitoring, maintenance, Oil Analysis.*

## Introduction

The basic role of lubricants i.e. lubrication is to reduce friction and hence prevent the wear of material surfaces the relation of which is conditioned by relative mutual movements. However, it is essential that the lubricant also has other functional properties that will ensure its efficient application. These are, above all, good oxidation and thermal stability, corrosion protection property, compatibility with different materials, low foaming, ability to release air, good detergent-dispersant properties, good deemulsification, and the like.

The use of lubricants inevitably leads to the impairment of its performances. These negative changes are most usually caused by thermal load and/or influence of different kinds of pollution, to which lubricants are exposed during service.



Thermal loads may be generated as a result of high mechanical loads or prolonged exposure to increased temperatures. Different kinds of pollution are also a frequent cause of lubricant degradation. Gaseous combustion products, air, water, glycol, fuel, various process media, wear products, and other pollutants, may be the cause of a serious impairment of the condition of the lubricant, but also of the device itself.

That is why it is necessary to monitor changes in lubricant performances, based on which one may determine a timely change of lubricant, thus prolonging its service life and preventing any major failures or damage to the system.

Knowing analytical properties of lubricants is the basis for making a decision in development, production and application of lubricants. The lubricant classifications and the approved system specify many performance characteristics and analytical tests. The analytical tests are classical and instrumental. Instrumental techniques have the advantages such as a small quantity of samples and rapid analyses, but they need a special operator.

Different technical systems require appropriate lubricants to be used at an appropriate position, at appropriate time and in appropriate quantity. Rationalization of lubricant consumption represents a significant task achievable by on-time oil replacement. This allows for a maximum period of use and, in the same time, appreciable quantity of lubrication. In regard with the primary role of lubricants to reduce the negative effects of tribological processes related to friction, wear and increase of temperature in the tribomechanical systems, all types of maintenance include lubrication as a very important part of the whole procedure.

Being the contact element of the tribomechanical system, lubricant is a carrier of information about the state of the whole system, from the aspect of tribological and other ageing processes. Due to that, an analysis of oils, based on a properly defined program, represents a very effective method for monitoring the state of technical systems, which ensures early warning signals of potential problems that could lead to failure and break down of technical systems.

Using the Oil Analysis programs for engine oils has several benefits: reduction of unscheduled vehicle downtime, improvement of vehicle reliability, help in organizing effectiveness of maintenance schedules, extension of engine life, optimization of oil change intervals and reduction of cost of vehicle maintenance.

## Lubricant service life and analysis

If we wish to maintain technical systems so that they have minimum halts and costs caused by halt removal or system failures, we must monitor data indicating equipment condition throughout the system operation.

It is especially difficult to obtain data on equipment condition for parts which cannot be observed due to their position. In such cases, the oil analysis enables a continuous equipment condition monitoring and a timely response in order to prevent undesirable prolonged halts.

Numerous test methods are available for monitoring the change of lubricant performances, both conventional laboratory techniques and modern instrumental methods. Determining a lubricant wear degree may be conducted through modeling or experimentally. The wear evaluation, most frequently, is not unequivocal, which is why, in practice, various methods are used combined. For this purpose, new simpler methods are being developed, because it is important to obtain data as soon as possible on the application spot itself, which is very often in the field conditions. A common drawback of these methods is that they have not been standardized yet.

The wear mechanism of a tribological lubrication system consists of the wear of contact surfaces and lubricant consumption. If there is wear of contact surfaces, wear particles are present. Regardless of the availability of numerous methods for diagnosing the physico-chemical changes of lubricants, in order to create a true picture of the condition of lubricants from the user system, it is of importance to satisfy the precondition of the possibility to obtain a representative sample. That is why it is extremely important to obtain the sample in a proper way.

Every sample has to be accompanied by documentation containing all relevant data, such as user name, lubricant name, sample label, date of sampling, date of sample delivery, type of device, lubricant quantity in the system, oil change date, refill data, number of operating hours, operating temperature, reasons for sample supply, and possibly other pieces of information that may be of use for an easier understanding of the actual problem in question and the final interpretation of the obtained analysis results.

These data, along with the obtained analysis results, are the basis for the final lubricant condition interpretation, and hence also the evaluation of its further usability, possible maintenance intervention in order to resolve the problem, if any, and – in case of complaints – their justifiability determination.

Degradation of lubricant properties i.e. wear degree during application or evaluation of the remaining service life is tested by various methods. Determining a lubricant wear degree may be conducted through modelling or experimentally. Wear evaluation most frequently is not unequivocal, which is why, in practice, various methods are used in combinations. For this purpose, new simpler methods are being developed, because it is important to obtain data as soon as possible on the application spot itself, which is very often in the field. A common drawback of these methods is that they have not been standardized yet.

The wear mechanism of a tribological lubrication system consists of the wear of contact surfaces and lubricant consumption. If there is wear of con-

tact surfaces, wear particles are present. Grease wear (rheological grease wear) or wear of other lubricants is an irreversible change of their properties.

There are many different types of oil analysis tests that are used to evaluate lubricants. The tests must cover three areas: technical system condition, contamination condition, and lubricant condition.

From the technical system condition aspect, the specific focus would be to look for the presence and trending of any wear metals. The second focus would be the lubricant condition. From that aspect, the focus would be to look at the evidence of viscosity change, increase in oxidation, and signs of additive depletion. The third focus would be the contaminant condition. The emphasis should be placed on particle counts, water content, and contaminant metals. Theoretically, oil analyses are divided into three classes. In reality, all three condition-monitoring classes are interrelated and must be considered as a whole. For example, an increase in viscosity could be an indicator that a lubricant is oxidizing. But oxidation could be an incorrect conclusion, if there is no indication of an increasing oxidation trend either by acid number (AN) values or the Fourier Transform-Infrared (FTIR) analysis.

By monitoring its condition, actions can be implemented to refresh or replace the lubricant before serious technical system damage begins. If damage is noticed in the course of operation, due to contaminant, or lubricant problems, the technical system condition can be monitored and the machine may be shut down immediately to minimize damage.

There are two types of alarming methodologies that are employed in the oil analysis: absolute and statistical alarms. The effective oil analysis relies on the combination of both types of alarms. The warning limit is the absolute alarm. Statistical trending, taking into account the variability based on the sampling, contamination, etc. will develop the standard deviations. Departure from this normal variability signals that genuine problems are occurring. This is the earliest possible time to take action and resolve problems. Failing this, as the trend approaches its warning limit, an action such as changing or cleaning the oil, or an inspection of the unit is required.

The test used could be iron content, viscosity or other parameters. The normal result variability range takes into account minor variations caused by analytical accuracy, sample homogeneity, etc. As the trend approaches the warning limit, some action must be taken, either cleaning the oil or inspecting the equipment. Establishing statistical alarms, which provide the earliest possible warning without false alarms, is a difficult task. The factors such as adding or changing oil, filter changes, sampling technique can distort the results.

The following tests are the most frequently used ones in condition monitoring:

- Spectrometric Analysis,
- Analytical Ferrography,
- Rotrode Filter Spectroscopy (RFS),

- Infrared Analysis (FTIR),
- Viscosity,
- Total acid number (TAN),
- Total Base Number (TBN)
- Water and Particle Count.

## Impact of lubricants on the environment during application

Waste oils fall into the category of hazardous technological waste, which means that their management prevents possible environmental pollution generated by their improper disposal i.e. possible leakage. Out of total global oil processing, 1% is used for lubricant production.

All types of lubricants are considered as harmful contaminants to the environment. Waste lubricants are classified as dangerous, toxic and cancerogenic waste materials and soil, water and air contaminants. Toxicity and cancerogenicity are, primarily, based on the products of oxidation and thermal degradation of lubricants. Oxidation processes of lubricants are continuous, not only during exploitation, but also during storage. These processes produce acid products, resins and asphaltenes. Under the influence of high temperatures and along with the catalytic effect of hot metal surfaces of pistons and cylinders (motor oil), harmful products containing polycyclic aromatics (PCA) of various cancerogenic potential are generated.

In some waste oils the presence of polychlorinated biphenyls (PCB) has been identified with high toxicity and cancerogenic impact which destroys the immune system. Besides, waste oils contain nitrogen and sulfur oxides, as products of fuel oxidation with which they are in contact.

Uncontrolled spilling of waste oils is a serious threat to the environment because it destroys natural balance. Oil concentration in water of merely 1-2 mg per litre already makes the water unfit for drinking and health hazardous. Another aspect of the danger appears when waste oils of first and second category are incinerated. Since waste oils contain additives based on compounds of sulphur, nitrogen, phosphorus and heavy metals, both ash and the incineration gases are most hazardous for human health.

When it comes to occupational diseases associated with handling lubricants, the most frequent ones are dermatitis and respiratory diseases. Dermatitis or skin disease appears in the following three forms: irritation, chronic dermatosis and allergy. It is a reaction of skin as an organism barrier in contact with the lubricant. Respiratory diseases (asthma, bronchitis) are the result of the activity of either oil mist or aerosol, generated in the plants due to increased temperatures, high speeds, and the like. Between the lubricant (mist, aerosol) and respiratory system cells, a chemical reaction occurs.

This is the reason for an increased development of environmentally adapted lubricants, EAL. Such lubricants reduce the costs of management, water protection, maintenance, interphase cleaning, water reconditioning after splitting, etc. EALs are also usually non-toxic, while they also possess better skin compatibility. The properties of environmentally adapted lubricants are:

- fast biodegradability,
- low water pollution degree,
- poor water solubility,
- unharfulness or low toxicity,
- heavy metals-free additives,
- non-incineration/high flash point, water fluids,
- low volatility – high flash point,
- application of natural feeds – ester oils, rapeseed, soya oil, animal oils.

Environmentally adapted lubricants are applied on spots where they are entirely lost into the environment, the so-called total-loss lubrication. These are mobile hydraulic systems, lubricants for railroad switches, saws, concrete mould oils, etc. They are also applied in industry, hydraulics and industrial gear oils. In formulations of EAL lubricants, the following additives should be avoided: compounds based on lead, chlorine, barium and zinc (such as ZDDP). Instead of them, phosphatic acid esters and alkylene carbamates are applied as well as compounds based on “green” bismuth, and other non-harmful compounds. As base oils, one may use synthetic esters, polyglycols, and some other synthetic base components.

Most desirable is the application of natural oils which may provide good properties for a lubricant as both additives and base oils. During application, we have observed important changes in the activity of synthetic and natural components with regard to formulations with mineral oil. That is why tests have been increased, evaluating primarily the oxidation and temperature stability and the compatibility of the additive and the base oil component. Further evaluated is their polarity, surface activity, chemical reactivity, the ability to create a lubricating film, wear protection, load carrying capacity, heat transfer, dependence of viscosity on temperature, etc.

## The tribomechanical systems

The central component of the tribomechanical system is the lubricant, the most significant function of which is the lowering of friction and wear appearing in the contact of two surfaces in relative motion. As subsystems, tribomechanical systems are integrated everywhere into technical systems. Apart from more significant applications in internal combustion engines, transmission, and hydraulic systems, there is also a number of further applications. Due to the poor execution of a tribomechanical system or its inadequate application, if it is not fit for the given system, commercial losses may occur, mea-

sured in billions of Euros annually. This is why the significance of tribosystems is not only technical, but also economic and environmental. The concept of the future successful development endeavours to associate economy and ecology into a complex and non-contradictory system.

By recognizing the function of the tribomechanical system and through a rich development of materials, equipment and methods, it seemed that all the problems associated with lubrication had been resolved. However, lubrication engineering still remains active. The goal is to develop tribomechanical systems that will be less environmentally harmful while having high technical performances. Development of technical products is dependent on a number of both general and specific requests.

General requests are: (environmental) compatibility, high technical performances, application efficiency of lubricants, structure and materials, and lubricant price i.e. economical character. Specific requirements are: reduced need for fluids/lubricants – compensation by materials, application of natural or chemically modified natural stocks, production of lubricants at reduced cost, use of databases or numerical methods, saving of energy and natural resources.

The lubricant economical character does not entail only its purchase price, but is also a result of evaluating a series of properties. These are compatibility (multifunctional lubricants), ageing and temperature stability, oil change interval, possibility of recycling, management costs, maintenance measures, investments into machinery, and also estimation of operating and storage expenses, emission control measures, health protection and occupational safety measures, simpler procedure for obtaining approvals for application, and reduction of costs for managing oil spills and their cleanup.

Real systems are complex tribomechanical systems. Conditions of the elements of tribomechanical systems are very complex and determined largely by adequate characteristics of lubricants. The complexity of conditions is determined by:

- the temperature of elements in contact and the temperature of lubricant,
- outer load (specific pressure in the contact zone),
- dynamic character of making contact and power and motion transmission.

A vehicle as a technical means is a set of complex tribomechanical systems composed of a range of subsystems that are also complex tribomechanical systems. They are composed of elements participating in power transmission, (moment of force from the engine, over transmissions (power transmitter, differential and other systems), to executive organs of a vehicle.

If the engine assemblies are considered from the aspect of tribomechanical systems (e.g. assemblies piston-piston ring-cylinder, cam-valve lifter, bearing-journal bearing) defined by tribological processes, it can be shown that the determination of the content of wear products, content of

contaminants, state of lubricants and lubrication conditions have a significant influence on the implementation of maintenance of these systems.

We should emphasize the importance of monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies, which provides that in the early stages of the functioning of the system we can identify potential causes and phenomena that lead to damage and failure. Prognostication and detection of potential and/or current damage and failures in the system, as well as checking the functionality of oil and determination of usage life are the main factors of the implementation of oil monitoring.

## Diagnosis of tribomechanical vehicle assemblies

Vehicles are very complex technical system which endure intense and different exploitation conditions. New vehicles are equipped as moving laboratories which do not lack data (in number and kind). Vehicles have gained OBD systems (On Board Diagnostics) because of ecological reasons. When some other information is added, there are conditions for forming FSS (Flexible Service Systems) [1].

Diagnostics of tribomechanical systems can provide validation, working capacity and the functionality of systems, and it can point out the place, form and cause of failures. It is possible to diagnose the system through the detection of symptoms in order to determine the value of the characteristic parameters and their comparison with the limit values. Diagnostics of tribomechanical systems in motor vehicles is a part of the overall process of managing maintenance. It provides an opportunity for the user to predict the damage and/or failure, and thus prevent delay in the work and extend usage life of motor vehicles.

The essence of diagnosis is based on the prognostication (recognition) of damage and/or failure through characteristic diagnostic parameters. This allows prevention of the occurrence of delays, and increases reliability, economy, and usage life. Confirming the basic causes of failures and their elimination, control of certain phenomena, is defining proactive maintenance as a new method that reduces maintenance costs and prolongs the life of assets.

As a part of the common proactive strategy of the hydraulic systems maintenance, the concept of on-line monitoring has been introduced recently in practice. It is a combination of measurement procedures by which a sample of fluid to be analysed is taken directly from the system and the results of the measurements are shown continuously.

Modern trends of diagnosis in recent years go to the affirmation of oil monitoring, which has resulted in growth of interest of producers and users of oil. The reasons lie primarily in increasing the reliability, effectiveness, economy, and recently increasingly present protection of the environment.

By analyzing a great number of failures of complex tribomechanical systems, we can conclude that there have been certain changes both in systems that failed and in lubricants. Namely, a failure of a tribomechanical system can appear due to changes in lubricant characteristics, or changes in lubricant characteristics can appear due to a failure of other elements of a tribomechanical system.

In most cases, a change in the functionality of a complex tribomechanical system is a change of lubricant characteristics, so a change of lubricant tribological characteristics can be accepted as a parameter for the evaluation of the tribomechanical system condition.

Lubricant characteristics can be divided in two groups:

**a) physico-chemical characteristics:**

- viscosity (dynamic-absolute-viscosity; kinematic viscosity),
- density,
- flash point,
- cloud point,
- pour point,
- volatility,
- emulsibility,
- deemulsibility,
- foaming,
- air release,
- chemical composition,
- total acid number (TAN),
- oxidation stability,
- thermal stability,
- corrodibility,
- corrosion protection capability,
- water content.

**b) physico-chemical characteristics:**

- frictional force,
- frictional coefficient,
- wear intensity,
- contact temperature,
- intensity of increasing of wear products.

## Engine oils

The primary role of engine oil is lubrication of moving engine parts and reducing friction and wear of metal surfaces, which provides good engine performance and its long life. In order to provide a defined quality of engine oils during production and for final products to meet the product specifications, we need to know the physico-chemical characteristics of engine oils.



Certain physico-chemical characteristics significant for the quality of engine oils are achieved by adding additives to base oils. The most frequent additives are for:

- Improving viscosity index-improvers
- Reducing pour point-depressants
- Maintaining engine cleanness-detergents and dispersants
- Preventing oxidation-antioxidants
- Preventing corrosion-corrosion inhibitors

The most important engine oils characteristic is the viscosity defined as a measure of inner friction which works as a resistance to the change of molecule positions in fluid flows when they are under the impact of shear force, or in other words, it is the resistance of fluid particles to shear. When fluids flow, there are friction forces between their particles and also between fluid particles and the adjoining surface, caused by the resistance of fluid to particle shear and also of surface roughness. The viscosity is a changeable category and it depends on the change of temperature and pressure. A higher temperature reduces the viscosity and makes a fluid thinner.

The viscosity index is an empirical number which shows how the viscosity of some oils changes by increasing or reducing the temperature. A high viscosity index shows relatively small tendency of viscosity to change upon influence of certain temperature, as opposed to a low viscosity index which shows a greater viscosity change with temperature. The calculation is based on viscosity values determined by the ASTM D 445 method at 40 and 100°C.

Viscosity index improvers impact the oil behaviour as far as flow characteristics are concerned. The sensitivity of viscosity index improvers to mechanical stresses increases with the increase of polymer additives molecular weight. High shear stress causes the irreversible molecular degradation of polymers and reduces their molecular weight. This reducing of an average molecular weight results in reducing the viscosity and viscosity index [2].

Colloidal systems are created by the dissolution of polymeric viscosity index improvers in mineral oil. They have different physical properties depending on the nature and length of molecules and also on the type of a solvent. These properties are defined by their shape, conformation of dissolved molecules and their variation in temperature.

Additives for the viscosity index improvement influence the following characteristics of multigrade engine oils [3]:

- at low temperatures they maintain the oil sufficiently liquid, which means when starting the engine with low internal friction, just the minimal engine power is used and it provides a safe engine starting,
- at high temperatures they give the oil higher viscosity which provides a necessary oil film thickness and small oil consumption.

Multigrade engine oils, among numerous additives, always contain viscosity index improvers as well. These additives are special types of polymers,

which in small concentration significantly improve engine oils rheological properties, especially viscosity and viscosity index. However, during engine oils utilization, degradation of viscosity index improvers, i.e. break down of polymeric molecules, occurs. It results in the reduction of their molecular weight that leads to viscosity loss and oil film thickness decrease, which causes undesirable phenomena of friction and wear. The shear stability of the viscosity index improvers, i.e. the polymer resistance to mechanical degradation under shear stress, is determined by measuring the viscosity loss after repeated oil passing through the injector nozzle. The engine oil specifications define the minimal oil viscosity grade after the shear.

By introducing the new ACEA and API specifications, the requirements for the shear stability of engine oils have been changed and now they are accepted by engine and vehicle manufacturers. In order to achieve a better correlation with engine oil application results, it is defined that the shear stability should be determined by a standardized apparatus extending current testing of 30 to 90 cycles of oil passing through the nozzle.

## Engine oil investigation during exploitation

The physico-chemical characteristics of oil in accordance with standard methods are examined, shown in table 1. The analysis was done on the fresh (new) oils and oils used in motor assemblies of vehicles. Testing of used samples was carried out in accordance with common criteria defined by the quality of used oil.

Allowable values of deviation limits of individual characteristics of the oil are conditioned by the type of oil, working conditions and internal recommendations of the manufacturer of lubricants and users. Limited value characteristics of oils that condition the change of oil charging from engine are given in Table 2. They represent the criteria for the change of oil charge. A deviation of only one source changes the characteristics of oil charge, no matter what characteristic is about.

Table 1  
Implemented tests and methods for examining the physico-chemical characteristics of oil [4]

Tabela 1  
Primenjeni testovi i metode za ispitivanje fizičko-hemijskih karakteristika [4]

| Characteristic                          | Method              |
|-----------------------------------------|---------------------|
| Density, gr/cm <sup>3</sup>             | JUS B.H8.015        |
| Kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s | JUS B.H8.022        |
| Viscosity Index                         | JUS B.H8.024        |
| Flash Point (°C)                        | ISO 2592, ASTM D 92 |
| Pour Point (°C)                         | ISO 3016            |
| Foaming, ml/ml: 24°C; 94°C; 24°C        | ASTM D892           |
| Water Content, mas. %                   | ASTM D 95           |
| Total Base Number (TBN), mgKOH/g        | ASTM D 2896         |
| Insoluble substances in pentane, %      | ASTM D 893          |
| Insoluble substances in benzene, %      | ASTM D 4055         |
| Fe Content, %                           | ASS                 |

Table 2  
Allowed values deviation of physico-chemical characteristics of new and used oil [4]

Tabela 2  
Dozvoljene vrednosti odstupanja fizičko-hemijskih karakteristika novog i korišćenog ulja [4]

| Physico-chemical characteristics oil and products wear | Maximum allowed variation |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                        | Motor oil                 |
| Viscosity at 40°C and 100°C, mm <sup>2</sup> /s        | 20%                       |
| Viscosity Index, %                                     | ± 5%                      |
| Total Base Number (TBN), mg KOH/gr                     | The fall to 50%           |
| Flash Point, °C                                        | 20 %                      |
| Water Content, %                                       | 0.2%                      |
| Indissoluble substances in pentane, %                  | 3.5                       |
| Indissoluble substances in benzene, %                  | 2.5                       |
| Products wear – Content Fe, ppm(°g/gr)                 | 100 ppm                   |
| Products wear – Content Cu, ppm(°g/gr)                 | 50 ppm                    |

The origin of several elements in the used engine oil (Table 3) may be from additives (Zn, Ca, Ba and Mg), the wear products (Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag and Sn) and contaminants originating from fuel, air and liquid cooling (Na, B, Si and Ca).

Table 3  
The origin of certain wear elements in the engine oil [4]

Tabela 3  
Poreklo pojedinih elemenata u motornom ulju [4]

| Elements | Wear Metal Source                                                                                                                   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fe       | cylinder liners, piston ring, journal bearing, valve lifter, camshaft, crankshaft                                                   |
| Al       | piston, Al-Sn bearings, turbocharger                                                                                                |
| Ag       | silvered parts, bearings, journals                                                                                                  |
| Cr       | hard chrome plated parts, pistons, cylinders, valve lifter, exhaust valve, connecting rods                                          |
| Cu       | Cu-Pb bearings, bushings, oil coolers, camshaft, valve train (valves with system for opening and closing), fuel injector, regulator |
| Pb       | Cu-Pb bearings, gasoline, additives                                                                                                 |
| Sn       | bronzed parts, bearings, pistons                                                                                                    |
| B        | antifreeze                                                                                                                          |
| Na       | antifreeze                                                                                                                          |
| Ca       | from atmosphere                                                                                                                     |
| Si       | particles from atmosphere                                                                                                           |
| Zn,Mg,Mo | from additives                                                                                                                      |

The research was carried out in a vehicle with an embedded Mercedes-Benz EURO 2 engine, type OM 906 HLA. This is a four-stroked engine with six cylinders arranged in line, turbo diesel, liquid refrigeration and with a combined lubrication, which meets Euro 2 emission standards related to exhaust gases. The technical data of the engine are given in table 4.

The results for the used oil samples are given in Table 5.

Technical data for Mercedes-Benz engine, type OM 906 HLA [4]

Table 4

Tehnički podaci motora Mercedes-Benz, tipa OM 906 HLA [4]

Tabela 4

| Engine Mercedes-Benz, type OM 906HLA            |                                     |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Engine type                                     | four-stroked, turbo diesel (EURO 2) |
| Number and spacing of cylinders                 | 6, linear                           |
| Engine capacity, litres                         | 8.5                                 |
| Compression ratio                               | 23 : 1                              |
| Nominal output, in $2100 \text{ min}^{-1}$ , KW | 180                                 |
| Maximum torque, in $1100 \text{ min}^{-1}$ , Nm | 1050                                |

Table 5

The results of testing samples of used oil from the examined vehicle engine [4]

Tabela 5

Rezultati ispitivanja korišćenih uzoraka ulja iz motora razmatranog m/v [4]

| Characteristic                                              | Mileage (in kilometers) |        |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|-------|-------|-------|
|                                                             | 0 sample                | 5000   | 10000 | 15000 | 20000 |
| Viscosity<br>$40^{\circ}\text{C}$ , $\text{mm}^2/\text{s}$  | 107.28                  | 101.12 | 97.75 | 97.42 | 96.17 |
| Viscosity<br>$100^{\circ}\text{C}$ , $\text{mm}^2/\text{s}$ | 14.45                   | 13.81  | 13.61 | 13.60 | 13.39 |
| Viscosity index                                             | 138.0                   | 138.0  | 140.0 | 140.0 | 139.0 |
| Flash point, $^{\circ}\text{C}$                             | 202                     | 200    | 192   | 188   | 186   |
| TBN,<br>mg KOH/g                                            | 8.50                    | 7.20   | 6.09  | 5.85  | 4.24  |
| Content water,<br>%                                         | 0                       | 0      | 0     | 0     | 0     |
| Insoluble<br>substances in<br>pentane, [%]                  | 0.07                    | 0.07   | 0.07  | 0.08  | 0.29  |
| Insoluble<br>substances in<br>benzene, %                    | 0.13                    | 0.15   | 0.14  | 0.17  | 0.35  |
| Content Fe,<br>ppm                                          | 5.8                     | 23.0   | 25.2  | 29.6  | 92.8  |

The engine used FENIX SUPERIOR engine oil, quality API SF-CD, gradation SAE 15W-40. The testing was performed in the conditions of urban driving. The task was to check the interval to replace engine oil after 20.000 km. It was found that the changes characteristic for engine oil were expected and within the allowable limits.

The research was conducted through a periodic sampling of the oil from the vehicle engine listed above. Apart from fresh oil („zero“ sample), samples were taken after 5.000 km, 10.000 km, 15.000 km and 20.000 km. After 20.000 km the oil was changed.

During the oil sampling, the choice of samples was made carefully according to the actual oil usage, which enabled each sample to be a representative one. Each sample was taken from the living zone, i.e. zone closer to the elements in contact. In that way we avoided the sampling of oil from the bottom of the motor housing (outlet for discharge), as is at the bottom of the largest concentration of contaminants. This is achieved simply by modifying the outlet for oil extending toward the active zone of oil within the housing with the appropriate length of tubule [4], [5], and [6].

Also, a special attention is paid to the preservation of samples from contamination, both in the phase of identifying the sample and in the phase of manipulation, which is fully met by applying the prescribed procedures. In accordance with the time provided, a very high level of purity of all elements in the chain of systems for sampling is achieved, as well as the separation of samples without undermining the integrity of data about the state of vehicle components from which sampling was done [7,8].

The viscosity index is an empirical number which shows how the viscosity of some oils changes by increasing or reducing the temperature. A high viscosity index shows a relatively small tendency of viscosity to change upon influence of certain temperature, as opposed to a low viscosity index which shows a greater viscosity change with temperature. During exploitation, it is desirable that the viscosity changes as little as possible with the change of temperature. If, during work, temperature modes are changeable and cause major changes of viscosity, that may cause disruptions in the functioning of the system, which is a manifestation of increased friction, wear and damage.

The change of the engine oil Viscosity Index is shown in the Fig. 1. The decrease in the Viscosity Index oil is evident, but it does not exceed the limit of 5 % (Table 2).

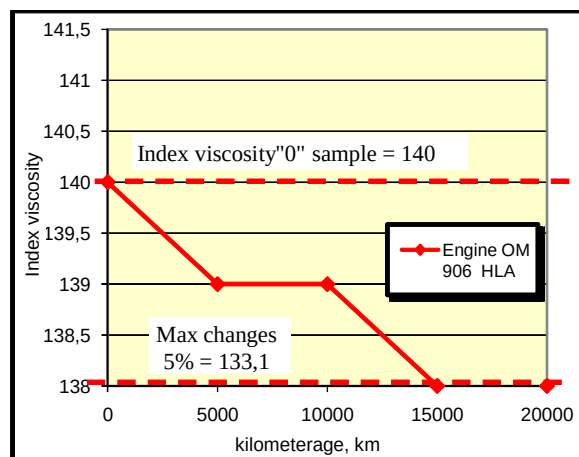


Figure 1 – The change of the viscosity index  
Slika 1 – Promena indeksa viskoznosti

The reasons for the increase of lubricant viscosity are as follows: oxidation of lubricants, cavitation due to lubricant foaming, dissolution of lubricants with water, pouring and charging of a system with lubricant of higher viscosity than recommended and lubricant contamination with solid particles and products of wear.

The reasons for the reduction of lubricant viscosity are: lubricant contamination of fuel (for motor oil), shearing additive for viscosity improvement, drop point of flash, grinding molecules, lubricant contamination without solubility with water, pouring and charging of a system with lubricant of lower viscosity than recommended, and the impact of liquid cooling. In addition, causes may be high temperature, load, uncontrolled long interval of usage, insufficient amount of oil in the oil system, inefficient cooling systems, etc.

As expected, kinematic viscosity usually decreases in time due to fuel penetration, or - in well-maintained engines, there occurs a slight increase as a result of the increase of oil insolubles, without fuel penetration.

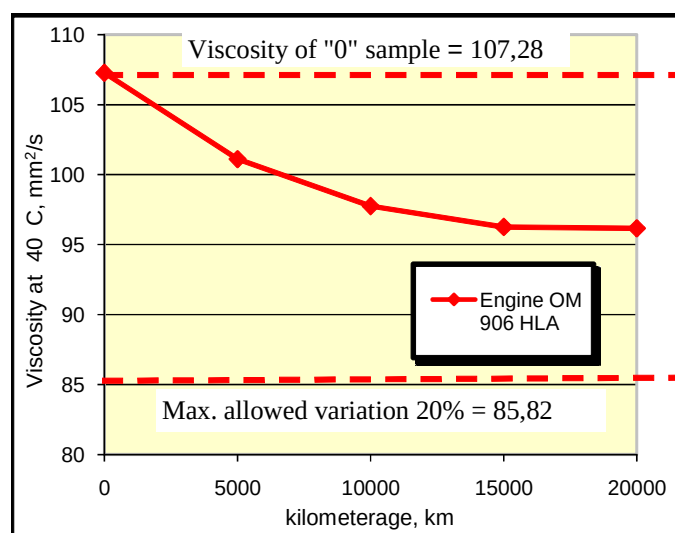


Figure 2 – The change of viscosity at 40°C  
Slika 2 – Promena viskoznosti na 40°C

Fig. 2 shows the changes of viscosity at 40°C of the engine oil during exploitation. There is a fall in the engine oil viscosity after the first 5.000 km and after this period, the viscosity remains approximately constant until the end of the interval for oil change. The fall in viscosity for the entire period of exploitation of oil is 10.3%. This is far below the allowed limit of 20 % (Table 2).

Fig. 3 shows the changes of engine oil viscosity at 100°C. The fall in the viscosity for the entire period of exploitation of oil is 7.3%, which is also below the allowed limit of 20% (Table 2).

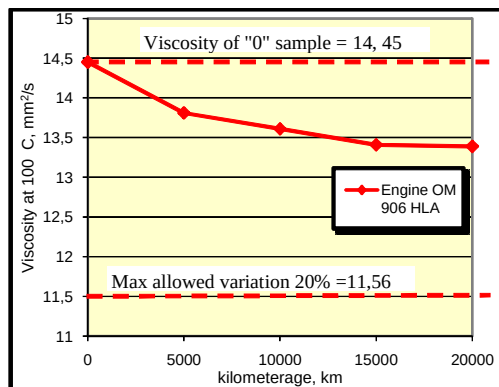


Figure 3 – The change of viscosity at 100°C  
Slika 3 – Promena viskoznosti na 100°C

The total base number (TBN) is a neutralization number intended for measuring all basic (alkaline) materials in the lube (acid-neutralizing components in the lubricant additive package). The TBN is generally accepted as an indicator of the ability of oil to neutralize harmful acidic byproducts of engine combustion. The TBN is highest when oil is new and decreases with its use. A low TBN normally indicates that the oil has reached the end of its useful life. The TBN is a measure of the lubricant alkaline reserve, and mostly applies to motor lubricants. If a lube contains no alkaline additives, there is little use to determine the TBN, as there will likely be none. Combustion acids, e.g. sulfuric acid, attack the TBN.

Fig. 4 shows the changes of the total base number (TBN). Up to 20.000 km, the TBN value exceeds the allowed limit. The fall of the TBN for the entire period of exploitation of oil is 19.61%, which is above the allowed limit of 50% (Table 2).

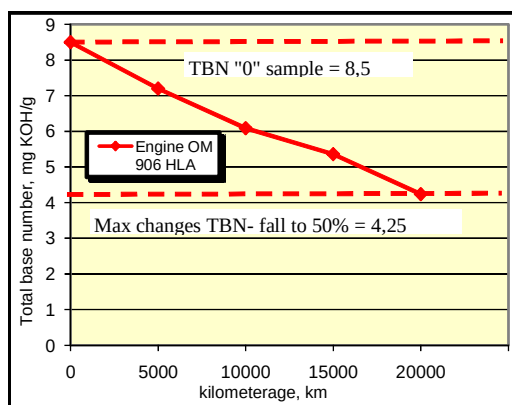


Figure 4 – The change of the TBN  
Slika 4 – Promena TBN

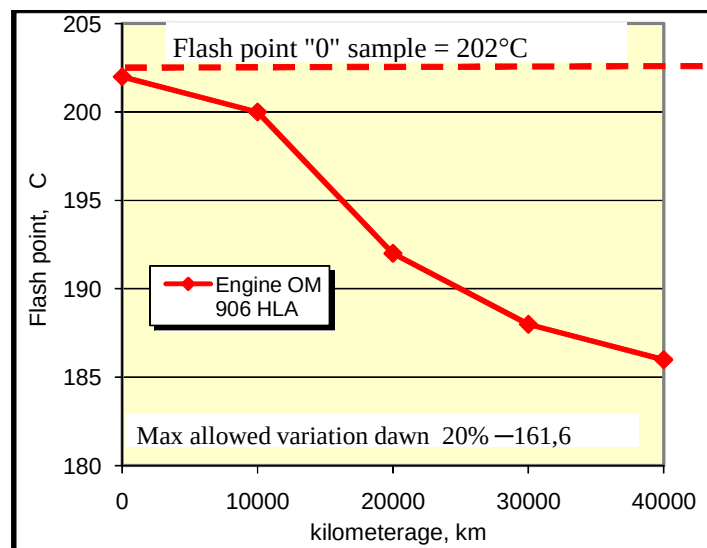


Figure 5 – The change of the Flash point  
Slika 5 – Promena tačke paljenja

The flash point represents data that shows which temperature leads to open fire ignition by the steam created by oil heating. In the engine oil analysis, the flash point determines the presence of fuel oil, which is a consequence of poor motor (bad work of injectors). The reduction of the flash point is due to the penetration of fuel.

Fig. 5 shows the change of the flash point for engine oil. The decrease in the flash point is noticeable, and by the end of exploitation testing, it does not exceed the allowed limits (20%, Table 2). The drop of the flash point is 8%. This indicates that there was no significant penetration of fuel in the engine lubrication system for the above mentioned vehicle.

Insoluble residues after treatment in pentane are oxidant products and mechanical impurities, while insoluble residues after treatment in benzene are insoluble materials such as coke, scale, dust, soot, particles originated from wear of the contact area of tribomechanical systems and other mechanical impurities.

A graphical display of the changes in the value of insoluble substances in pentane and benzene is given in Figs. 6 and 7. The content of insoluble substances in the oil is negligible compared to the allowed deviation values (maximum insoluble in pentane 0.29%, and it is allowed up to 3.5%, maximum insoluble in benzene 0.37%, and it is allowed up to 2.5%).



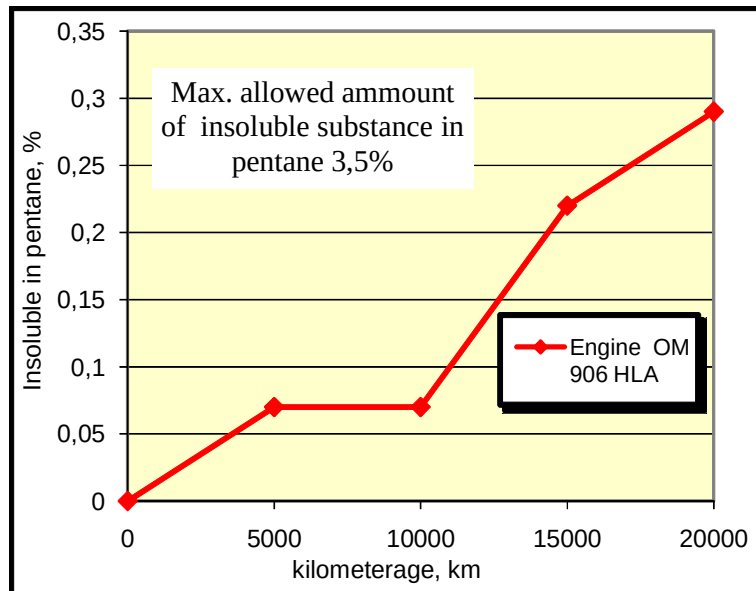


Figure 6 – The change of the amount of insoluble substances in pentane  
Slika 6 – Promena količine nerastvornih materija u pentanu

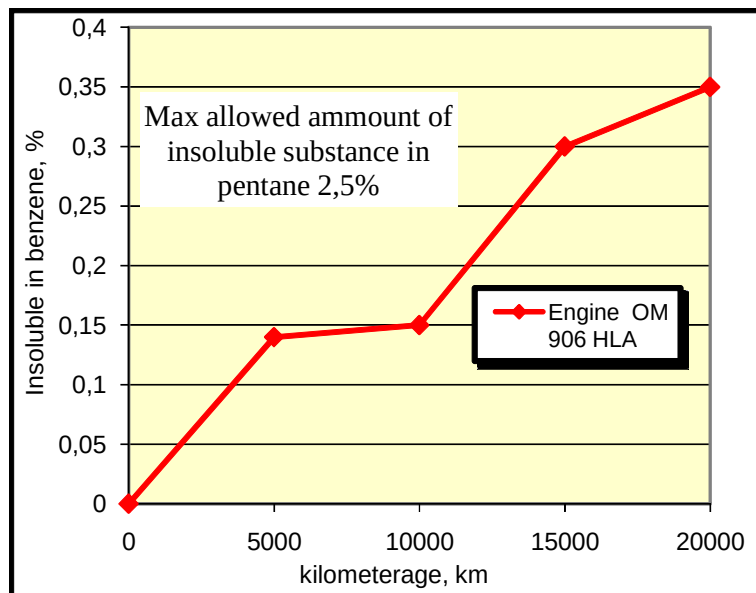


Figure 7 – The change of the amount of insoluble substances in benzene  
Slika 7 – Promena količine nerastvornih materija u benzenu

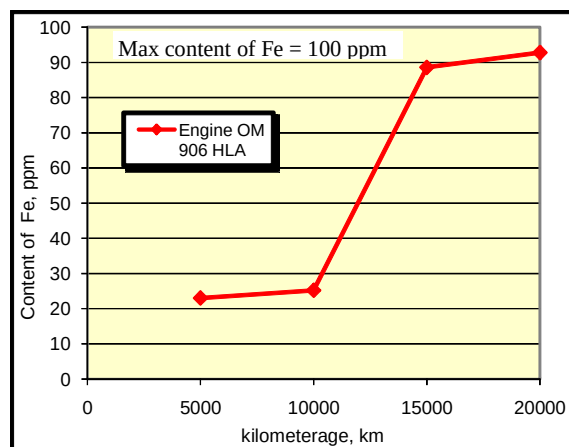


Figure 8 – The change of the Fe content in motor oil  
Slika 8 – Promena sadržaja Fe u motornom ulju

In order to view the degree of wear of the elements in the engine tri-bomechanical system, the atomic absorption spectrophotometry (AAS) is applied for oil sampled from the examined engines. This method is determined by the type and concentration of metal (Fe) in the oil charge.

Atomic absorption spectrophotometry is a very sensitive, simple, fast and reproductive method, used for the detection of most elements. It is based on the measurement of light absorption by atoms in the non-excited state. The reduction of missed light intensity increases proportionally with the increase of the number of atoms in the non-excited state.

Absorption is determined by measuring changes in intensity before and after the leakage of light through the atomic gas and it is proportional to the concentration of the measured element. If the concentrations of elements are small, light absorption is linearly dependent on the concentration. A metal such as iron (Fe) was selected for identification because it is a typical element contained in the examined engine. On the basis of changes in its concentration in the oil charge, its origin from the engine elements can be determined as well as the degree of wear.

To the end of the exploitation testing, the iron content (Fig. 8), as a product of wear in the oil charge, has a growing trend and in the last sampling, after 20.000 km, it has 92.8 ppm (92.8%) of the maximum allowed value.

## Conclusion

On the basis of all mentioned above, the following conclusions can be drawn:

– FENIX SUPERIOR engine oil, API SF-CD, gradation SAE 15W-40, is analyzed during the exploitation, and it achieves its primary function

and meets the prescribed replacement interval of 20.000 km for EURO 2 engines, which is found the characteristic analysis of physico-chemical properties of oil products and wear (Fe) during exploitation;

- the drop of viscosity is evident during the first 5.000 km, and after this period viscosity remains approximately constant until the end of the interval of changes of the oil charge. The maximum drop of viscosity during the exploitation of oil is significantly below the allowed limit of 20 %;

- after 20.000 km the TBN value exceeds the allowable limit for oil samples from engines;

- the content of insoluble substances in the oil is negligible in comparison to the limit value, because there is no significant presence of oxidation products and mechanical impurities, insoluble substances such as coke, scale, dust, soot, particles originated from wear of the contact area of the engine tribomechanical system and other mechanical impurities;

- small decrease of flash point values shows that there is no significant penetration of fuel into the system for lubrication;

- content of iron is below the allowable limits.

The need for more effective maintenance and possibility of continuous exploitation of equipment has developed numerous strategies and methods for machinery maintenance. The maintenance strategy by condition, requiring continuous equipment monitoring, has initiated the development and use of the oil analysis.

## References

[1] Pešić, R., Veinović, S., Pavlović, R., *Dijagnostika složenih tehničkih sistema na primeru motornih vozila*, Traktori i pogonske mašine, Vol. 6., No. 3, pp. 79–87, 2001.

[2] Mortier, R. M., Orszulik S. T., *Chemistry and Technology of Lubricants*, Blackie Academic & Professional, London, 1997.

[3] Maziva i podmazivanje, JUGOMA, Zagreb, 1986.

[4] Perić, S., *Doprinos razvoju metoda dijagnostike stanja sa aspekta fizičko hemijskih i triboloških karakteristika ulja kod motornih vozila*, doktorska disertacija, Beograd, 2009.

[5] Perić, S., Nedić, B., *Monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies*, Journal of the Balkan tribological association, Volume 16, pages 242-257, University of Sofia, Bulgaria, 2010.

[6] Perić, S., Nedić, B., Vuruna, M., *Monitoring Physical and Chemical characteristics Oil for Lubrication*, Journal Tribology in industry, Volume 31, No 3-4, December 2009, pp. 59-66, University of Kragujevac – Faculty of Mechanical Engineering,

[7] Perić, S., *Monitoring stanja kroz testove analize ulja*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 4, pp. 102-133, Beograd, 2010.

[8] Perić, S., *Savremene metode analize ulja u tehničkim sistemima*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 1, pp. 83–112, Beograd, 2010.

## ZNAČAJ ANALIZE MAZIVA

OBLAST: mašinstvo, motori i motorna vozila  
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

### Rezime

*Praćenje radnih svojstava maziva u primeni ima višestruki značaj i za korisnika i za proizvođača maziva. Za korisnika je to prvenstveno produžena i pravovremena zamena maziva, što čini troškove održavanja nižim. Za proizvođača maziva predstavlja stvaranje partnerskih odnosa sa potrošačem, ali i mogućnost prikupljanja informacija o ponašanju sopstvenih proizvoda kao osnove za dalje unapređenje i razvoj proizvoda.*

*Ako se tehnički sistemi žele održavati tako da imaju što manje zastoja i troškova koji slede zbog otklanjanja zastoja i zbog toga što sistem ne obavlja svoju funkciju, onda tokom celog rada sistema treba pratiti podatke koji govore o stanju ispravnosti opreme. Posebno je teško dobiti podatke o stanju opreme kod onih delova koji su nepristupačni za posmatranje. U tim slučajevima analiza ulja omogućuje kontinuirano praćenje stanja opreme i delovanje na vreme radi sprečavanja neželjenih dugotrajnih zastoja.*

### Uvod

Osnovna uloga maziva, odnosno podmazivanja, jeste da se smanji trenje i ujedno spreči habanje površina materijala koje se nalaze u međusobno relativnom kretanju. Ali, neophodno je da mazivo poseduje i ostala funkcionalna svojstva koja će osigurati njegovu efikasnu primenu. To je, pre svega, dobra oksidaciono-termička stabilnost, svojstvo zaštite od korozije, kompatibilnost s različitim materijalima, mala sklonost penjenju, sposobnost otpuštanja vazduha, dobra deterdžentno-disperzanatna svojstva, dobra deemulzivnost i sl.

Upotrebom maziva neizbežno dolazi do trajnog narušavanja njegovih radnih svojstava. Ove negativne promene najčešće su uzrokovane termičkim opterećenjem i/ili uticajem različitih vrsta zagađenja, kojim su maziva izložena prilikom eksploatacije. Termička opterećenja mogu nastati kao posledica velikih mehaničkih opterećenja ili dugotrajnog izlaganja povišenim temperaturama. Različite vrste zagađenja takođe predstavljaju čest uzrok degradacije maziva. Gasoviti produkti sagorevanja, vazduh, voda, glikol, gorivo, različiti procesni mediji, produkti habanja i ostali zagađivači mogu biti uzrok ozbiljnog narušavanja stanja maziva, ali i samog uređaja.

Stoga nužno treba pratiti promene radnih svojstava maziva, na osnovu kojih je moguće odrediti pravovremenu zamenu maziva, čime se produžava vek trajanja maziva i preventivno sprečavaju veći kvarovi ili oštećenja u sistemu.

Poznavanje analitičkih podataka maziva je podloga na osnovu koje se donose odluke u razvoju, proizvodnji i primeni maziva. Ispitivanja po kojima se određuju fizičko-hemijska svojstva maziva navedena su u specifikacijama, a realizuju se klasičnim metodama i raznim instrumen-

talnim tehnikama. Prednost instrumentalnih tehnika je u maloj količini uzorka, brzjoj analizi, ali zahteva posebno edukovano osoblje.

Različiti tehnički sistemi zahtevaju da se odgovarajuće mazivo primeni na pravom mestu, u pravo vreme i u pravoj količini. Racionalizacija potrošnje maziva predstavlja značajan zadatak, koji se uspešno može realizovati pravovremenom zamenom maziva. Time se obezbeđuje maksimalan period zamene uz istovremeno dovoljno kvalitetno podmazivanje. S obzirom na osnovnu ulogu maziva da redukuje negativne efekte triboloških procesa u pogledu trenja, habanja i rasta temperature u tribomehaničkim sistemima, svi vidovi održavanja uključuju podmazivanje kao veoma značajan deo ukupne procedure.

Mazivo je, kao kontaktni element tribomehaničkog sistema, nosilac informacija o stanju celog sistema s aspekta triboloških i drugih procesa starenja. Zbog toga analiza ulja na bazi pravilno definisanog programa predstavlja veoma efikasan metod monitoringa stanja tehničkih sistema koji obezbeđuje rane upozoravajuće znake potencijalnih problema, koji vode ka otkazu i zastoju tehničkih sistema.

Korišćenjem programa za analizu ulja u slučaju motornih ulja, osigurava se nekoliko prednosti: smanjenje neplaniranog vremena otkaza vozila, poboljšanje pouzdanosti vozila, što je od koristi prilikom organizovanja efikasnog plana održavanja, produženje radnog veka motora, optimiziranje intervala zamene ulja i smanjenje troškova održavanja vozila.

#### Životni vek i analiza maziva

Ako se tehnički sistemi žele održavati tako da imaju što manje zastoja i troškova koji slede zbog otklanjanja zastoja i zbog toga što sistem ne obavlja svoju funkciju, onda tokom celog rada sistema treba pratiti podatke koji govore o stanju ispravnosti opreme. Posebno je teško dobiti podatke o stanju opreme kod onih delova koji su nepristupačni za posmatranje. U tim slučajevima analiza ulja omogućuje kontinuirano praćenje stanja opreme i delovanje na vreme radi sprečavanja neželjenih dugotrajnih zastoja.

Za praćenje promena radnih svojstava maziva na raspolaganju su brojne metode ispitivanja, bilo da se radi o konvencionalnim laboratorijskim tehnikama ili modernim instrumentalnim metodama. Određivanje stepena trošenja maziva može se realizovati modeliranjem ili eksperimentalno. Ocena istrošenosti najčešće nije jednoznačna i stoga se u praksi koriste različite metode u kombinaciji. U tu svrhu razvijaju se i nove metode koje će biti jednostavnije i brže, jer je bitno dobiti podatke što pre na mestu primene i to često na terenu. Zajednički nedostatak ovih metoda je što nisu standardizovane.

Mehanizam trošenja tribološkog sistema podmazivanja sastoji se od trošenja dodirnih površina i trošenja maziva. Ako dolazi do trošenja dodirnih površina, prisutne su čestice trošenja. Bez obzira na raspoloživost brojnih metoda za dijagnostikovanje fizičko-hemijskih promena maziva, za stvaranje prave slike o stanju maziva iz sistema korisnika bitan je preduslov mogućnost dobijanja reprezentativnog uzorka. Stoga je od posebne važnosti pravilan način uzimanja uzorka.

Degradacija svojstava maziva, odnosno stepen trošenja u toku primene ili ocena preostalog radnog veka, ispituje se različitim metodama.

Određivanje stepena trošenja maziva može se realizovati modeliranjem ili eksperimentalno. Ocena istrošenosti najčešće nije jednoznačna i stoga se u praksi koriste različite metode u kombinaciji. U tu svrhu razvijaju se i nove metode koje će biti jednostavnije i brže, jer je bitno dobiti podatke što pre na mestu primene i to često na terenu. Zajednički nedostatak ovih metoda je što nisu standardizovane.

Sledeći testovi su najčešće korišćeni testovi prilikom monitoringa stanja tehničkog sistema:

- spektrometrijska analiza,
- analitička ferografija,
- Rotrode filter spektroskopija (RFS),
- infracrvena analiza (FTIR),
- viskoznost,
- ukupni kiselinski broj (TAN),
- ukupni bazni broj (TBN),
- količina vode i čestica.

Uticaj maziva na okolinu tokom primene

Korišćena ulja spadaju u kategoriju opasnog tehnološkog otpada, pa se njihovim odlaganjem sprečava moguće zagađenje okoline nastalo zbog njihovog nepravilnog odlaganja, odnosno mogućeg isticanja. Od ukupne svetske prerade nafte 1% se koristi za proizvodnju maziva.

Sve vrste maziva smatraju se zagađivačima okoline. Otpadna maziva svrstana su među opasne, toksične i kancerogene otpadne materijale, zagađivače zemljišta, vode i atmosfere. Nosioći toksičnosti i kancerogenosti su, pre svega, produkti oksidacione i termičke razgradnje maziva. Proces oksidacije maziva odvijaju se konstantno, ne samo tokom eksploatacije, već i tokom skladištenja, pri čemu nastaju kiseli produkti, smole i asfalteni. Pod uticajem visokih temperatura, uz katalitičko delovanje vrućih metalnih površina klipova i cilindara (motorna ulja), nastaju štetni produkti koji sadrže polikličke arome (PCA) različitih potencijala kancerogenosti.

U nekim otpadnim uljima otkriveno je prisustvo polihloriranih bifenila (PCB), vrlo toksičnog i kancerogenog delovanja, koji razara imunološki sistem organizma. Osim toga, otpadna ulja sadrže azotne i sumporne okside, kao produkte sagorevanja goriva sa kojima dolaze u dodir.

Nekontrolisano izlivanje otpadnih ulja opasno ugrožava okolinu narušavajući prirodnu ravnotežu. Koncentracija ulja u vodi od samo 1-2 mg po litru vodu čini nepitkom i štetnom za zdravlje. Još jedan vid opasnosti pojavljuje se pri spaljivanju otpadnih ulja I i II kategorije. Kako korišćena ulja sadrže aditive na osnovu jedinjenja (sumpora, azota, fosfora, teških metala) i koks i gasovi sagorevanja su vrlo štetni za ljudsko zdravlje.

Od profesionalnih bolesti pri radu s mazivima najčešći su dermatitis i respiratorne bolesti. Dermatitis ili oboljenje kože javlja se u tri oblika, a to su: iritacija, hronična dermatoza i alergija. To je reakcija kože kao barijere organizma pri dodiru sa mazivom. Respiratorne bolesti (astma, bronhitis) rezultat su delovanja uljne magle ili aerosola koji se razvijaju u pogonima delovanjem povišenih temperatura, visokih brzina i sl. Između maziva (magla, aerosol) i ćelije respiratornog sistema dolazi do hemijske reakcije.

### Tribomehanički sistemi

Središnja komponenta tribomehaničkog sistema je mazivo čija je najznačajnija funkcija smanjenje trenja i trošenja koji se javljaju pri dodiru dve površine u relativnom kretanju. Kao podsistem tribomehanički sistemi svuda su integrisani u tehničke sisteme. Osim važnih primena u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, zupčastim prenosima i hidrauličnim sistemima, postoji i veliki broj drugih primena. Zbog loše izvedbe tribomehaničkog sistema ili neodgovarajuće primene, ako nije prilagođen za dotični sistem, može doći do komercijalnih gubitaka koji se mere u bilionima evra godišnje. Zbog toga značaj tribosistema nije samo u tehničkom smislu nego i u ekonomskom i ekološkom. Koncept budućeg uspešnog razvoja pokušava da poveže ekonomiju i ekologiju u celovit neprotivrečan sistem.

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

Ako se sklopovi motora sagledavaju sa aspekta tribomehaničkog sistema (npr. sklop klip–klipni prsten–cilindar; breg–podizač; ležaj–rukavac) definisanog tribološkim procesima, proizilazi da određivanje sadržaja produkata habanja, sadržaja kontaminata, stanja maziva i uslova podmazivanja ima znatan uticaj na realizaciju održavanja pomenutih sistema.

Posebno treba naglasiti značaj monitoringa ulja za podmazivanje sklopova tribomehaničkih sistema motora SUS, koji omogućava da se u ranoj fazi funkcionisanja sistema identifikuju eventualni uzročnici i pojave koji vode ka oštećenju i otkazu. Prognoziranje, odnosno otkrivanje potencijalnih i/ili trenutnih oštećenja i kvarova u sistemima, kao i proveru funkcionalnosti ulja i određivanje veka ulja glavni su faktori realizacije monitoringa ulja.

### Dijagnostika tribomehaničkih sklopova vozila

Dijagnostika tribomehaničkog sistema može omogućiti proveru ispravnosti, radne sposobnosti i funkcionalnosti sistema, te ukazati na mesto, oblik i uzrok otkaza. Postaviti dijagnozu sistema moguće je otkrivanjem simptoma posredstvom određivanja vrednosti karakterističnih parametara i njihovim upoređivanjem sa dozvoljenim vrednostima. Dijagnostika tribomehaničkih sistema kod motornih vozila predstavlja deo ukupnog procesa upravljanja poslovima održavanja. Ona pruža mogućnost korisniku da predvidi oštećenja i/ili otkaze, te time spreči zastoj u radu i produži vek eksploatacije motornog vozila.

Sušтина dijagnostike zasnovana je na prognoziranju (prepoznavanju) oštećenja i/ili otkaza posredstvom karakterističnih dijagnostičkih parametara, što omogućava sprečavanje pojave zastoja, odnosno povećanje pouzdanosti, ekonomičnosti i veka eksploatacije sistema. Utvrđivanje osnovnih uzročnika otkaza i njihova eliminacija, potpunom kontrolom od-

ređenih pojava, definiše proaktivno održavanje, kao novu metodu koja smanjuje troškove održavanja i produžava vek trajanja sredstva.

Kao deo zajedničke proaktivne strategije održavanja hidrauličnih i sistema za podmazivanje u poslednje vreme se uvodi takozvani on-line monitoring. To je kombinacija mernih postupaka, kod kojih se analizira ni uzorak dovodi u merni instrument direktno iz sistema, a rezultati analiza se kontinuirano kontrolišu.

Savremeni trendovi dijagnostike poslednjih godina idu u pravcu afirmacije monitoringa ulja, što ima za posledicu porast interesovanja i proizvođača i korisnika ulja. Razlozi, pre svega, leže u povećanju pouzdanosti, efektivnosti, ekonomičnosti i zaštite životne sredine.

#### Motorna ulja

Primarna uloga motornog ulja je podmazivanje pokretnih delova motora uz smanjenje trenja i habanja metalnih površina, te samim tim osiguravanje pravilnog rada motora i njegove dugovečnosti. Da bi se osigurao određeni kvalitet motornih ulja tokom proizvodnje i da gotovi proizvodi zadovoljavaju proizvodne specifikacije potrebno je poznavati fizičko-hemijske karakteristike motornih ulja.

Određena fizičko-hemijska svojstva značajna za kvalitet motornih ulja postižu se dodatkom aditiva baznim uljima. Najčešće su u uporabi aditivi za:

- poboljšanje indeksa viskoznosti (impruveri),
- sniženje tačke stišnjavanja (depresanti),
- održavanje čistoće motora (detergenti i disperzanti),
- sprečavanje oksidacije (antioksidanti),
- sprečavanje korozije (inhibitori korozije).

#### Ispitivanje motornog ulja u toku eksploatacije

Ispitivanje su fizičko-hemijske karakteristike ulja u skladu sa standardnim metodama koje su prikazane u tabeli 1 [3]. Analiza je vršena na svežem (novom) ulju i uljima koja su korišćena u sklopovima motora vozila. Ispitivanje korišćenih uzoraka vršena su u skladu sa zajednički definisanim kriterijumima kvaliteta za korišćena ulja.

Granice dozvoljenih odstupanja vrednosti pojedinih karakteristika ulja uslovljene su vrstom ulja, radnim uslovima i internim preporukama proizvođača maziva i korisnika. Limitirane vrednosti karakteristika ulja koje uslovljavaju izmenu uljnog punjenja iz motora navedene su u tabeli 2 [3]. One predstavljaju kriterijume za izmenu uljnog punjenja. Odstupanje samo jedne karakteristike uslovljava izmenu uljnog punjenja, bez obzira na to o kojoj karakteristici se radi.

Poreklo pojedinih elemenata u korišćenom motornom ulju (tabela 3) može da bude iz aditiva (Zn, Ca, Ba i Mg), od produkata habanja (Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag i Sn) i kontaminata koji potiču iz goriva, vazduha i tečnosti za hlađenje (Na, B, Si i Ca).

Ispitivanje je izvršeno na vozilu u kojem je ugrađen motor Mercedes-Benz EURO 2 OM 906 HLA. To je četvorotaktni motor sa šest cilindara postavljenih u liniji, turbo dizel, koji ispunjava EURO 2 norme vezane za



emisiju izduvnih gasova. Tehnički podaci motora navedeni su u tabeli 4. U tabeli 5 prikazani su rezultati ispitivanja korišćenih uzoraka ulja.

U motoru je korišćeno motorno ulje FENIX SUPERIOR kvaliteta API SF-CD, gradacije SAE 15W-40. Za vreme ispitivanja autobus je saobraćao u uslovima gradske vožnje. Zadatak je bio proveriti intervala zamene motornog ulja na 20.000 km. Analizom je ustanovljeno da su promene karakteristika motornog ulja očekivane i da se kreću u okviru dozvoljenih granica. Ispitivanje je realizovano periodičnim uzimanjem uzoraka ulja iz motora navedenog vozila. Osim svežeg ulja („nulti” uzorak), uzeti su uzorci nakon 5.000 km, 10.000 km, 15.000 i 20.000 km. Nakon pređenih 20.000 km izvršena je zamena uljnog punjenja u motoru vozila.

#### Zaključak

Na osnovu dosadašnjeg razmatranja može se zaključiti:

- motorno ulje FENIX SUPERIOR, API SF-CD, gradacije SAE 15W-40, analizirano je u toku eksploatacije i ostvaruje svoju osnovnu funkciju i zadovoljava predviđeni interval zamene od 20.000 km u motorima EURO 2 kategorije, što je ustanovljeno analizom karakterističnih fizičko-hemijskih osobina ulja i produkata habanja (Fe) tokom eksploatacije;

- pad viskoznosti evidentan je tokom prvih 5.000 km, a nakon ovog perioda viskoznost ostaje približno konstantna do kraja intervala izmene uljnog punjenja. Maksimalni pad viskoznosti tokom eksploatacije ulja iz sva tri motora znatno je ispod dozvoljene granice od 20%;

- nakon 20.000 km vrednost TBN-a je prekoračila dozvoljene granice za uzorke ulja iz motora;

- sadržaj nerastvorenih materija u ulju je zanemarljiv u odnosu na dozvoljene vrednosti, jer nema znatnije prisutnosti oksidacionih produkata i mehaničkih nečistoća, nerastvornih materija kao što su koks, kamenac, prašina, čađ, čestice habanja kontaktnih površina tribomehaničkih sistema motora SUS i drugih mehaničkih nečistoća;

- mali pad vrednosti tačke paljenja pokazuje da nije došlo do znatnijeg prodora goriva u sistem za podmazivanje;

- sadržaj gvožđa je ispod dozvoljene granice.

Potreba za što efikasnijim održavanjem i mogućnošću kontinuiranog korišćenja opreme razvila je čitav niz strategija i metoda održavanja opreme. Strategija održavanja po stanju, koja zahteva stalno praćenje i uvid u stanje opreme, uslovljava razvoj i primenu analize ulja. Ovakva analiza, osim stanja maziva, daje sliku stanja opreme tokom celog procesa korišćenja bez nepotrebnih gubitaka zbog zaustavljanja opreme.

Ključne reči: monitoring, održavanje, analiza ulja.

Datum prijema članka: 08. 12. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 16. 01. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 20. 01. 2012.

# STUDY OF THE PROPERTIES OF PLASMA DEPOSITED LAYERS OF NICKEL-CHROME-ALUMINIUM-YTTRIUM COATINGS RESISTANT TO OXIDATION AND HOT CORROSION

Mrdak R. *Mihailo*, IMTEL institute of Microwave Techniques and Electronics, Belgrade

DOI: 10.2298/vojtehg1202182M

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

## Summary:

*The aim of this study was to examine the properties of Ni22Cr10Al1Y layers in order to obtain optimal structural - mechanical properties with the optimization of depositing parameters. Powder was deposited by the atmospheric plasma spray (APS) process with the current intensity of 600, 700 and 800A, with a corresponding plasma gun power supply of 22KW, 34KW and 28KW. The evaluation of the Ni22Cr10Al1Y coating layers was made on the basis of their microhardness, tensile strength and microstructure performance. The best performance was obtained in the layers deposited with 800A and the 34KW plasma gun power supply. The coating with the best characteristics was tested to oxidation in the furnace for heat treatment without a protective atmosphere at 1100°C for one hour. The examination of the morphology of Ni22Cr10Al1Y powder particles was carried out on the SEM (Scanning Electron Microscope) as well as the EDS analysis of the best layers. The microstructure of the deposited coating layers was examined with a light microscope. The microstructure analysis was performed according to the TURBOMECA standard. The mechanical properties of layers were evaluated by the method HV0.3 for microhardness and by tensile testing for bond strength. The research has shown that plasma gun power supply significantly affects the mechanical properties and microstructure of coatings that are of crucial importance for the protection of components exposed to high temperature oxidation and hot corrosion.*

**Key words:** *atmospheric plasma spray (APS), microstructure, interface, microhardness, bond strength, oxidation, hot corrosion.*

## Introduction

**M**eCrAlY type alloys (Me = Ni, Co and / or Fe) are most often used for protecting the parts of jet engines from the influence of high temperatures, especially from the influence of oxidation and hot

\* 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).

corrosion. Selection and composition of materials are largely determined by optimizing the relations of physical - chemical properties of applied materials and substrates, operating temperature and a deposition method [1]. For NiCrAlY alloys, yttrium is usually added in certain quantities. Yttrium addition is essential, because it significantly increases the adhesion of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oxides formed in the base coating thus preventing cracking and separation of the protective surface oxide layer due to the effects of thermal fatigue [2]. This prevents and minimizes the further development of high-temperature corrosion. It is especially important to ensure a uniform oxide distribution in metal-based coatings, in order to use fully the potential of these types of protective coatings. The idea to extend the life span of coatings regarding oxidation led to the development of Ni22Cr10Al1Y coatings. Coatings are commonly used in aerospace industry on the parts such as blades and other parts of gas turbines to protect them from high-temperature hot corrosion and oxidation up to  $1100^\circ\text{C}$  [3]. Selecting a right MeCrAlY coating depends on the operating conditions of the coating and the substrate to which it is applied. A complex interaction between the working environment, the coating and the substrate makes coating design and selection difficult. Generally, it is necessary to find a compromise between the required mechanical strength, resistance to hot corrosion, oxidation and adhesion. Years of experience in modeling the behavior of coating layers, together with improved techniques of deposit, led to the development of multi-component coatings. The parameters of depositing have a very important influence on the quality of coating layers. For atmospheric plasma spray (APS) technique, one of the important parameters is the current intensity which affects: the degree of plasma gas ionization, the plasma temperature, the temperature of melting powder particles, their rate during depositing and their sagging on the substrate.

The main chemical element of NiCrAlY coatings, designed to protect against high temperature oxidation and hot corrosion should be compatible with the substrate material to reduce the diffusion, and reduce the chemical activity of Al. Aluminum is an element that protects the coating of the Ni alloy from oxidation at  $1200^\circ\text{C}$  by forming the phase  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$   $\gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$  and  $\gamma - \text{Ni} / \gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$ , basically an Ni alloy. The phase  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  in the basis of NiCrAlY alloy improves the oxidation resistance. The oxide phase  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  hinders the diffusion of Ni and Cr from inner layers to the surface of the coating and thus slows the growth of oxides  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ , which is attributed to a low diffusion coefficient of Ni and Cr along the grain boundaries of  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ .

The Al diffusion coefficient along the  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  grain boundaries is higher than Ni and Cr (Al:  $2.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$ , Cr:  $6.9 \times 10^{-11} \text{ m}^2 / \text{s}$ , Ni:  $2.53 \times 10^{-10} \text{ m}^2 / \text{s}$ ) [4]. Chromium is used in coatings based on Ni due to its resistance to hot corrosion and oxidation up to  $900^\circ\text{C}$ . Increasing the Cr content in the NiCrAlY alloy reduces the critical level of Al needed to form a continuous protective oxide  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Yttrium improves the adhesion of oxides  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and reduces the degree of chromium oxidation. In order to form continuous protective layers of oxides of  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  types on the coating surface and to prevent the formation of NiO oxides during exploitation, the lower concentration of Cr in the coating should be about 20% and Al content should be at least 5%. Depending on the purpose of NiCrAlY coatings, the content of Cr and Al in the alloy changes. For optimal protection of substrates from hot corrosion and high temperature oxidation of the coating, MeCrAlY coatings contain 18–30 wt% Cr and 5–14 wt% Al [5,6,7–10]. The  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  oxide that forms in the coating is the thermodynamically stable phase that grows very slowly when compared to other types of oxides. Besides the presence of Ni, Cr and Al oxides, there is also a spinel phase  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  which also increases the oxidation resistance [11,12,13]. Chatterjee et al. [14] explained that the spinel phase provides better protection against oxidation due to the fact that spinels of mixed oxides of the general composition  $\text{AB}_2\text{O}_4$  (A and B are the two metal components) have much lower diffusion coefficients of cations and anions than the starting oxides of NiO and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  [14].

According to the dual diagram Ni – Cr, in the structure of the coating there is present a solid solution  $\gamma$  – Ni in which the substitution is Cr [15,16]. In order to obtain a solid solution of Cr in Ni, the Cr content in the alloy should be in the range of 0 to 47 wt% Cr. In the structure of the coating there is the phase  $\gamma'$ - $\text{Ni}_3\text{Al}$  which is built by the binary system Ni-Al with the Ni content over 42 wt.% and with 3.5 to 14 wt.% of Al [15,16]. In NiCrAlY alloys with 10 wt% of Al, a phase of  $\text{Al}_7\text{Cr}$  ( $\text{Al}_{13}\text{Cr}_2$ ) type cannot be obtained with the dual diagram Al – Cr [15,16].

Generally, MeNiCrY powder is well deposited by the atmospheric plasma spray system and coatings have good adhesion to basic materials. The structure of the plasma spray coating deposited state presents two very important phases based on Ni ( $\gamma$  – Ni,  $\gamma'$  –  $\text{Ni}_3\text{Al}$ ) and  $\alpha$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oxide. The internal structure of the coating is a heterogeneous mixture of a metal base with non-melted powder particles, precipitates, micropores and oxides of nickel NiO and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and  $\text{NiCr}_2\text{O}_3$ . Exposing the coating to high temperatures leads to the oxidation of Al which forms an oxide of  $\alpha$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  type. This oxide is created on the coating surface

due to high-speed Al diffusion. Only a small amount of Al remains in the regions rich in Ni, Cr [17]. At a temperature of 1200°C, NiO destabilizes in the coating and reacts with  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  forming a thin layer of an  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  spinel phase which is thermodynamically more stable than NiO and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oxides [18,19,20]. A temperature of 1200°C in NiCrAlY coatings results in layers of mixed oxides of gray color. This gray area contains mixed oxides of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  types and the spinel  $(\text{Ni, Cr})_2\text{O}_4$ ,  $(\text{Cr, Al})_2\text{O}_4$  [21].

Today, NiCrAlY coatings have been produced with different depositing processes. One of the standard processes for depositing is a plasma spray procedure. It is widely used owing to its smaller restriction in size and shape as well as to lower costs. In this paper, we presented the results of the experimental research into the effect of atmospheric plasma spray parameters on the mechanical properties and microstructure of layers of Ni22Cr10Al1Y coatings. The main objective was to homologate coatings and to apply them to the conduction garland of the gas turbine of the ASTAZOU III B turbo-jet engine. Three groups were done with samples of three different plasma gun power supplies (22KW, 34KW and 28KW), with the current intensity values of 600, 700 and 800 A. The coating with the best characteristics was tested in the oxidation furnace for a heat treatment without protective atmosphere at 1100°C for one hour. We analyzed and studied the microstructure and mechanical characteristics of selected coating layers in order to chose the highest quality coating and to homologate plasma spray parameters.

## Materials and details of the experiment

The material substrate is made of stainless steel X15Cr13 (EN 1.4024). The material is used in a thermally untreated state. For the production of coatings resistant to high-temperature oxidation and hot corrosion we used the AMDRY 962 powder of the company Sulzer Metco. This NiCrAlY powder is an alloy of nickel with 20 wt% Cr, 10 wt% Al and 1 wt% Y with the range of grain size of powder particles from 53 microns to 106 microns. The powder of the Ni22Cr10Al1Y alloy applies and bind well to Ni-and Fe-based substrates. It is produced by a vacuum melting technique and liquid melt atomization with inert gas. The technological process of making powder allows obtaining homogeneous spherical particles of powder. Fig. 1 shows the SEM microphotography showing spherical powder particles of Ni22Cr10Al1Y.

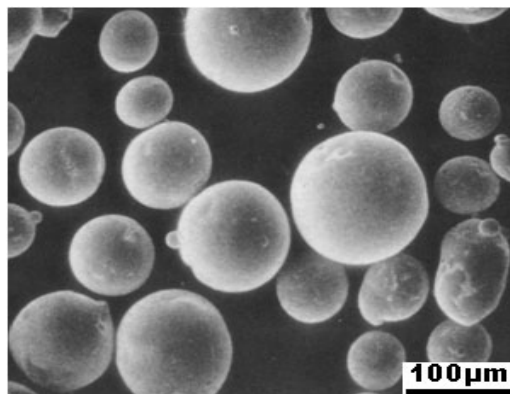


Figure 1 – (SEM) Scanning electron micrograph of powder particles of Ni22Cr10Al1Y  
Slika 1 – (SEM) Skenirana elektronska mikrofotografija čestica praha Ni22Cr10Al1Y

The atmospheric plasma spray (APS) was used in the experiment for the deposition of powder. For this purpose, we used a mini gun plasma spray gun of the Plasmadyne company, comprising: cathode type K: 1083 – 129 A, anode type A : 2084 – F45 and of gas injector type GI : 2084 B – 103. Argon gas was used in the combination with helium and electrical current from 600.700 and 800A with the power supply of the plasma gun of 22 KW, 28 KW and 34 KW. The detailed values of the spray parameters are shown in Table 1. Before the deposition process, the surface of the substrate steel is roughened with white corundum ( $Al_2O_3$ ) using a particle size of 0.7 to 1.5 mm. Coatings are deposited with a thickness of 0.1 to 0.15 mm. The coating with the best characteristics was tested to oxidation in a furnace for heat treatment without a protective atmosphere at 1100°C for one hour.

Plasma spray parameters

Table 1

Plazma sprej parametri

Tabela 1

| Deposition parameters            | Values for samples<br>A / B / C |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Electric current (A)             | 600/700/800                     |
| Arc voltage (V)                  | 36/40/42                        |
| Primary plasma gas Ar (l/min )   | 50                              |
| Secondary plasma gas He (l/min)  | 22                              |
| Wearing a powder gas Ar (l/min ) | 9                               |
| Flow of powder ( g/min )         | 50                              |
| Distance of the substrate ( mm ) | 65                              |

The mechanical and microstructural characterizations of the obtained coatings were carried out according to the TURBOMECA standard [14]. For the measurement of hardness and metallographic tests, we used rectangular samples of  $70 \times 20 \times 1.5$  mm, while the tensile strength was tested on cylindrical samples of  $\varnothing 25 \times 50$  mm. The microstructural analysis of the coatings was made with the light microscope, while the SEM (Scanning Electron Microscope) was used for the morphology and EDS analysis of powder coatings tested for oxidation at  $1100^\circ\text{C}$  for one hour.

Microhardness measurements were made using a Vickers diamond pyramid indenter and 300 g load ( $\text{HV}_{0.3}$ ). The measurement was carried out in the direction along the lamellae, in the middle and at the ends of the sample. Three readings were conducted at three points and the results were averaged.

Tensile tests were carried out at room temperature in hydraulic equipment with a rate of 10 mm / min for all tests. The strength was calculated by dividing the breaking load by the sample cross-section. The geometry of the samples was in accordance with ASTM C633 standards. Pairs of two samples were used, but the coatings were deposited on only one of them. Samples were glued and kept under pressure in a furnace at a temperature of  $180^\circ\text{C}$  for 2 hours. For each group of samples three tests were done and the results were averaged.

## Results and Discussion

The obtained values of microhardness and bond strength for Ni22Cr10Al1Y deposited coatings, depending on the spray parameters used, are shown in Figs. 2 and 3. For all the deposited coatings, we obtained microhardness values above the required value of  $200 \text{ HV}_{0.3}$  [22,23,24]. Electrical current values, directly related to the plasma gun power supply, significantly influenced the values of microhardness and the values of the layer bond strength. The highest values of microhardness of  $342 \text{ HV}_{0.3}$  was found in the layers deposited on the sample C with the highest current intensity of 800A. The higher electrical current affected the higher melting and increased the rate of powder melting. This resulted in better and denser packing of particles followed by a small portion of lamellar pores and oxides. The lowest value of microhardness of  $220 \text{ HV}_{0.3}$  layers was deposited on the sample A and was deposited with a current intensity of 600A. The layers with the highest microhardness had the smallest share of pores. These values were confirmed for all three groups of samples by analyzing the microstructure of coatings on a light microscope. The microhardness values were in line with the share of pores in the layers of deposited coatings. Differences in hardness of the layers should be attributed to oxide share,

pores and the basis-oxide share ratio. Besides the difference in the proportion of oxide phases, microstructures may vary in dispersion of oxides, which is primarily determined by the degree of oxidation and cooling rate. The microhardness values were within the expected limits.

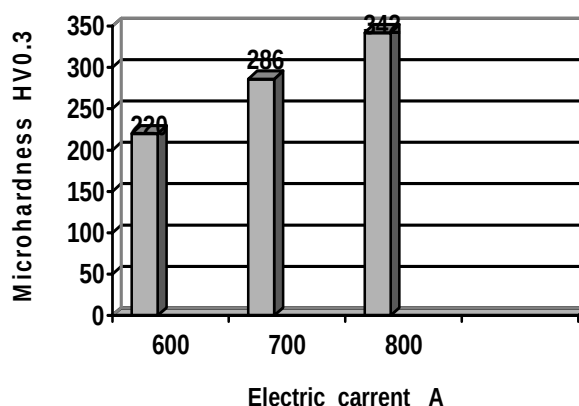


Figure 2 – Microhardness of Ni22Cr10Al1Y layers  
Slika 2 – Mikrotvrdoća Ni22Cr10Al1Y slojeva

The comparison of the values of coating bond strength obtained by tensile testing showed that for all three groups of samples the obtained values were higher than 35 MPa, as required by the appropriate standard [22]. The lower value of the tensile bond strength of 36MP occurred in a coating on the sample A as a consequence of lower current intensity, which resulted in a lower degree of fusion of powder particles compared to the other two layers deposited with a higher current intensity value. The best bond strength of 54MPa was found in the layers deposited with the highest amperage in the sample C. These layers had the lowest proportion of pores and coarse oxides.

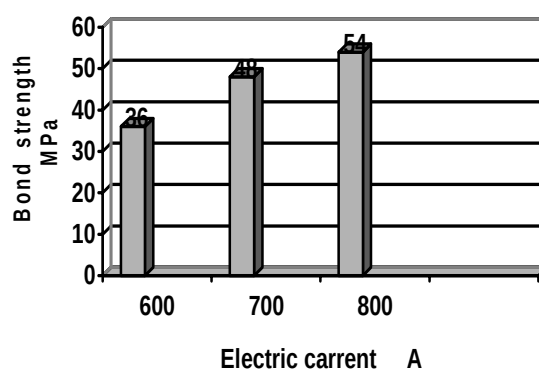


Figure 3 – Bond strength of Ni22Cr10Al1Y layers  
Slika 3 – Čvrstoća spoja Ni22Cr10Al1Y slojeva



The tensile testing showed that in all deposited coatings the mechanism of destruction took place at the interface between the substrate and the coating phase. Since the proportion of pores, non-melted particles and oxides directly relates to the values of microhardness and bond strength of coatings, the measured values for the coating deposited with the highest amperage in the sample C indicate that their number was minimal in this coating. These values are also confirmed by the analysis of the microstructure of coatings on a light microscope.

The microstructures of the Ni22Cr10Al1Y coating layers deposited with the current intensity of 600, 700 and 800 A are shown in Figs. 4, 5 and 6. The qualitative analysis showed that defects such as discontinuity of the deposited layers on substrates, micro cracks and macro cracks and separation of the coating from the base (Fig. 4) are not present in the interface between the substrate and the deposited coating. In addition, there was no contamination due to a roughening agent. The structure of the inner layers of all coatings is of a lamellar type, with the basis of a solid solution of chromium and aluminum in nickel –  $\gamma$  – Ni +  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al phase. In the coating layers deposited with 600A, there were no non-melted powder particles ranging from 53 microns to 106 microns (Fig. 4).

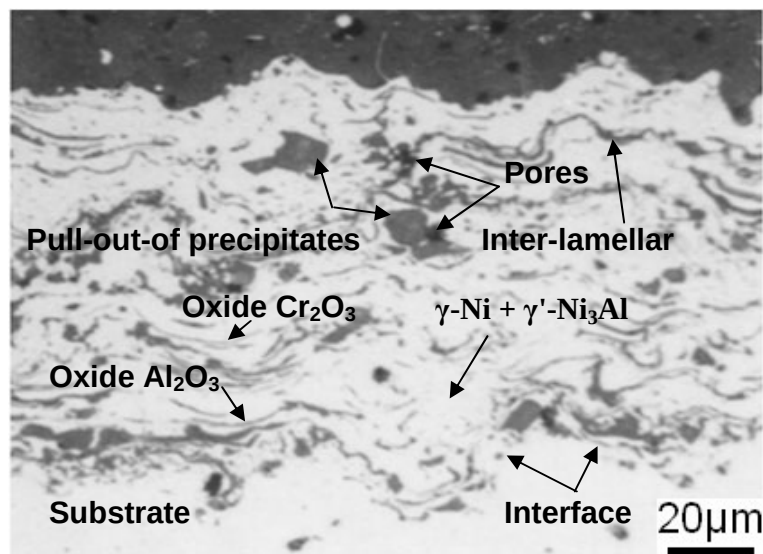


Figure 4 – Microstructure of the Ni22Cr10Al1Y coating deposited with 600A on the sample A  
Slika 4 – Mikrostruktura Ni22Cr10Al1Y prevlake deponovane sa 600A na uzorku A

In the structure, there are extracted precipitates of a spherical shape, which are seen as black as a result of the collision fields. Precipitates are a result of the collision of melted particles with the

substrate. At the time of the collision, melted particles waste at the ends and remain as residue in the coating. Through the layers of coating, inter lamellar and spherical pores up to  $5\text{ }\mu\text{m}$  in size can be observed. The structure also contains the lamellae of the  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oxides. In the deposition process, the incorporated molecules of oxygen  $\text{O}_2$  from the air are broken down into atoms in plasma at a temperature of  $3227^\circ\text{C}$  and they react with the atoms of Al and Cr. Coarse oxides are also present in the structure. Coarse oxides and longer oxide lamellae are formed during collisions of liquid molten oxides with the substrate. These oxides are formed directly in the liquid state in plasma. Depending on the amount of the formed liquid oxide phase, its internal and kinetic energy, lamellae of coarse oxide of different sizes will be formed. In the coating layers, thin gray oxide films formed between the lamellae of the  $\gamma\text{-Ni}$  base can be clearly observed, originating from the oxidation of Al and Cr in the process of solidification and cooling with the compressed air. The layers deposited with 600A have the highest proportion of pores, precipitates and coarse oxide lamellae. Through the layers of the coating, micro cracks and macro cracks cannot be observed. The coating layers deposited on the sample B with 700A do not contain non-melted powder particles (Fig. 5).

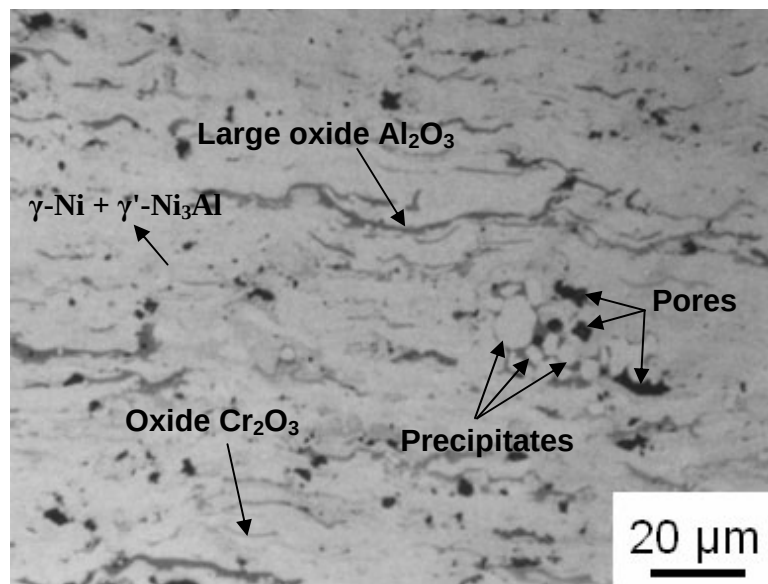


Figure 5 – NI22Cr10Al1Y coating microstructure deposited with 700A on the sample B  
Slika 5 – Mikrostruktura NI22Cr10Al1Y prevlake deponovane sa 700A na uzorku B

The structure contains spherical light gray precipitates of 5–10  $\mu\text{m}$  in size. Near precipitates, there are black pores resulting from precipitate formation. The share of pores is lower than that in the coating deposited on the sample A with 600A. The structure also contains longitudinal lamellar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oxide formed in the liquid state in plasma. Oxide plates are longer and thinner than in the layers deposited with 600A due to better smear on the surface where molten oxide particles are deposited. Between the longitudinal oxide lamellae, light gray base phase and solid solution of the  $\gamma - \text{Ni} + \gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$  phase are clearly observed. Thin oxide films of  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  formed between the lamellae of the  $\gamma - \text{Ni}$  base are clearly observed in the structure of the coating. The coating layers do not contain micro cracks and macro cracks.

Fig. 6 shows Ni22Cr10Al1Y layers with the best mechanical and structural characteristics deposited on the sample C with the highest current intensity of 800A. The structure of the coating is lamellar. The coating base consists of a solid solution  $\gamma - \text{Ni}$  which includes a fine  $\gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$  phase. Dark inter lamellar and spherical pores with a low level of share in the coating are clearly observed through NiCrAlY layers. base Thin films of  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oxides, evenly distributed in the coating, are clearly observed between the base lamellae. Due to higher rates of melted particles and their shorter stay within the stream of plasma, neither coarse oxides are visible in coating layers nor non-melted particles, precipitates, micro cracks and macro cracks through the layers of coatings.

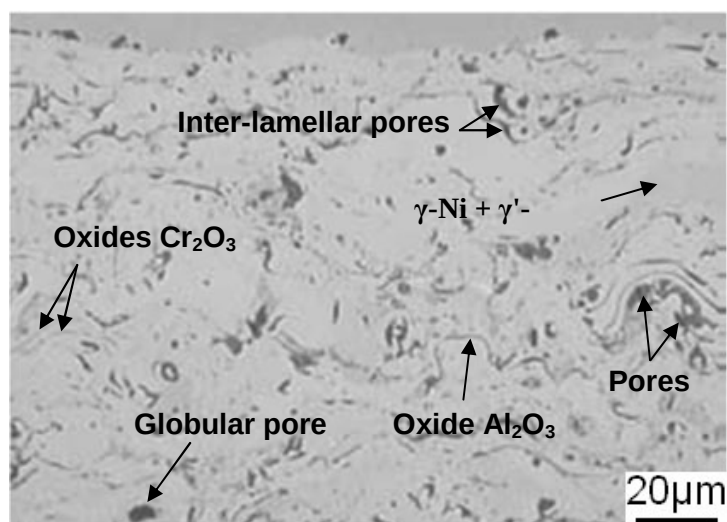


Figure 6 – Ni22Cr10Al1Y coating microstructure deposited with 800A on the sample C  
Slika 6 – Mikrostruktura Ni22Cr10Al1Y prevlake deponovane sa 800A na uzorku C

Fig. 7 shows the SEM microstructure of the coating on the sample C tested to oxidation in a furnace for heat treatment without a protective atmosphere at 1100°C for one hour. In the Ni22Cr10Al1Y coating microstructure, there are obvious changes compared with the microstructure of the coating in the deposited state. Based upon the EDS measurements and the results shown in Fig. 8 and Table 2, some phases in the marked coating regions can be expected. In the Ni22Cr10Al1Y alloy, there has been an expected stoichiometric change of the elements Al, Cr and Ni caused by diffusion at high temperature.

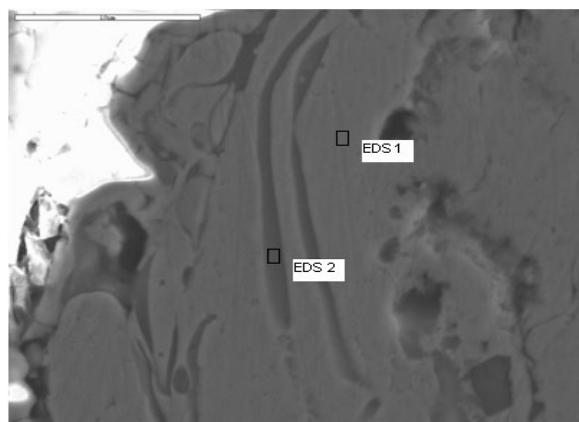


Figure 7 – SEM microphotography of Ni22Cr10Al1Y coating : sample (C) 1100°C/1 hour  
Slika 7 – SEM mikrofotografija Ni22Cr10Al1Y prevlake : uzorak (C) 1100°C/1 sat

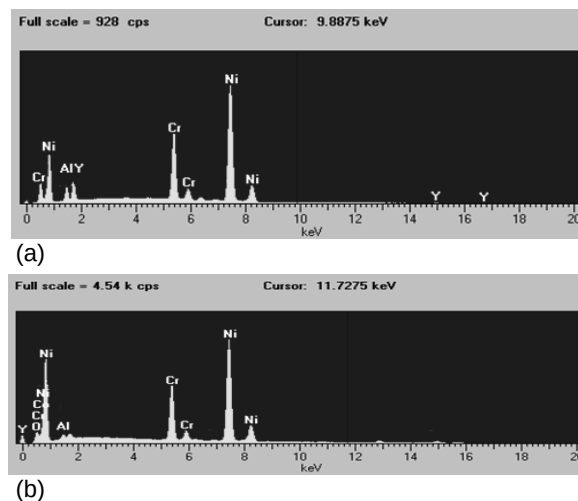


Figure 8 – EDS analysis of the Ni22Cr10Al1Y coating in Fig. 7(a) EDS 1 (b) EDS 2  
Slika 8 – EDS analiza prevlake Ni22Cr10Al1Y na slici 7 (a) EDS 1(b) EDS 2

The results of the SEM/EDS analysis indicated in Fig. 7 (in%): 1100°C /1hour

Tabela 2

Rezultati SEM / EDS analize naznačene na slici 7 (u%): 1100°C / 1sat

| %  | EDS 1 | EDS 2 |
|----|-------|-------|
| O  | -     | 25.80 |
| Al | 2.16  | 14.67 |
| Cr | 10.8  | 24.25 |
| Ni | 86.12 | 34.95 |
| Y  | 0.92  | 0.33  |

The solid  $\gamma$  - Ni solution is depleted with elements such as Al and Cr (EDS 1). Only a small amount of Al remains in the regions rich in Ni and Cr [17,18,19,20]. Some authors in the studies [23, 24] also show that there is diffusion and oxidation of Ni from the solid  $\gamma$  - Ni solution. Nickel oxidizes to NiO and reacts with the already existing oxides  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  which are thermodynamically unstable at 1100°C. These oxides build a stable spinel phase  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ . In Fig. 7, the EDS 2 analysis confirms that layers of dark gray mixed oxides are formed in the coating. This gray area contains mixed oxides of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  type and spinels  $(\text{Ni}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ ,  $(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$  [21].

## Conclusion

Three groups of samples of Ni22Cr10Al1Y coatings were deposited in the atmospheric conditions by the plasma spray procedure, using three different amperages of 800 A, 600 A and 700 A which correspond to plasma gun power supplies of 22KW, 28KW and 34KW. Mechanical and structural characteristics of the deposited layers were tested and analysed as well as the effect of oxidation on the microstructure of the deposited layers with the best characteristics.

The increase in amperage resulted in higher microhardness values. The third group of samples deposited with the amperage of 800A had the highest values of microhardness. The third group also had the highest values of the bond tensile strength, while the fracture occurred along the interface between the coating and the substrate. The tensile strength values of all three groups were higher than the minimum value required by the appropriate standard. Microhardness and tensile strength values were in correlation with their microstructures.

The structure of the deposited Ni22Cr10Al1Y coating layers is lamellar and consists of a solid solution of chromium and aluminum in nickel  $\gamma$  - Ni,  $\gamma'$  +  $\text{Ni}_3\text{Al}$  phase, oxides  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and interlamellar micro-pores.

In the microstructure of the Ni22Cr10Al1Y coating, after temperature treatment at 1100°C for one hour, there was a change in the microstructure compared to the coating in the deposited state. Due to diffusion and oxidation of the elements at 1100°C, the structure of the primary solid solution  $\gamma$  – Ni is depleted of Cr and Al. Because of the thermal instability of NiO and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxides at 1100°C, the structure of the coating contains Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxides and mixed spinels (Ni, Cr) <sub>2</sub>O<sub>4</sub>, (Cr, Al) <sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

The application of the coating with the best structural and mechanical properties during the reparation of a part of an ASTAZOU III B turbojet engine has significantly improved its efficiency and reliability.

### *Literatura*

- [1] Patterson, T., Leon, A., Jayaraj, B., Liu, J., Sohn, Y. H., Surf. Coat. Technol. 203, 437(2008).
- [2] Nicoll, A. R., The Environment – High Temperature Oxidation and Hot Corrosion, Plasma Technik AG, 5610 Wohlen Switzerland.
- [3] AMDRY 963 Ni22Cr10Al1Y powder, An Engineering guide to Coating Performance and Applications, SULZER METCO The Coatings Company.
- [4] Badrour, L., Moya, E. G., Bernardini, J., Moya, F., Scr. Metall. 20(1986)1217.
- [5] Nicholls, J. R., "Design of Oxidation Resistant Coatings" JoM 52 (1), 28-35 (2000).
- [6] Nicholls, J. R. and Saunders, S. R. J., in High Temperature Materials for Power Engineering' (Eds. E. Bachelet et al), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990), pp. 865-875.
- [7] Malik, M., Morbioli and Huber, P., In 'High Temperature Alloys for Gas Turbines' Conf Proc. (ed. R. Brunetaud et. al.) 87-98, Dordrecht, D. Reidel Publishing Co (1982).
- [8] Luthra, K. L. and LeBlanc, O. H., Mater, Sci.& Eng. 88 (1987), 329.
- [9] Mom, A. J. A., NLR Report MP 81003U, Amsterdam.1981.
- [10] Novak, R. C., (1994), cited in reference17.
- [11] Brossard, S., Munroe, P. R., Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Study of the effects of surface chemistry on splat formation for plasma sprayed NiCr onto stainless steel substrates, Surface & Coatings Technology SCT-15342, pp. 1–9, 2009.
- [12] Brossard, S., Munroe, P. R., Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Study of the microstructure of NiCr splats plasma sprayed on to stainless steel substrates by TEM, Surface & Coatings Technology SCT-15341, pp. 1–8, 2009.
- [13] Tran, A. T. T., Hyland, M. M., Qin, T., Withy, B., James, B. J., in: E. Lugscheider (Ed.), Thermal Spray 2008: Crossing Borders (Proceedings of International Thermal Spray Conference 2008). Pub. DVS – Verlag GmbH, 40223 Dusseldorf, Germany, 2008, pp. 701.
- [14] Chatterjee, U. K., Bose, S. K., and Roy. S. K., Environmental Degradation of Metals, Pub., Marcel Dekker, 270 Madison Avenue, New York (2001).

- [15] ASM Handbook, Volume 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park, 1992.
- [16] Mrdak, M., Uticaj brzine depozicije praha na mehaničke karakteristike i strukturu APS – NiCr/Al prevlake, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 4, , pp. 5 -16, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Belgrade 2010.
- [17] Leea, D. B., High-temperature oxidation of NiCrAlY/(ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and ZrO<sub>2</sub>-CeO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) composite coatings, Changhee Leeb a Center for Advanced Plasma Surface Technology, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, South Korea, Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133 -791, South Korea Available online 21 September 2004, Surface & Coatings Technology 193 (2005), pp. 239-242.
- [18] Moussa, S. O. and Morsi, K., "High-Temperature Oxidation of Reactively Processed Nickel Aluminide Intermetallics", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 426, No. 1-2, 2006, pp. 136-143.
- [19] Lee, D., Santella, M. L., Anderson, I. M. and Pharr, G. M., "Thermal Aging Effects on the Microstructure and Short- Term Oxidation Behavior of a Cast Ni3Al Alloy,"*Intermetallics*, Vol. 13, No. 2, 2005, pp. 187-196.
- [20] Choi, S. C., Cho, H. J. and Lee, D. B., "Effect of Cr, Co, and Ti Additions on the High-Temperature Oxidation Behavior of Ni3Al," *Oxidation of Metals*, Vol. 46, No.1-2, 1996, pp. 109-127.
- [21] Liu, J., Jayaraj, B., Sohn, Y., University of Central Florida, Orlando, FL, "Microstructural Development of Thermal Barrier Coatings with Air Plasma Sprayed NiCoCrAlY Bond Coats "International Thermal Spray Conference & Exposition, May 14-17, 2007, Beijing, China.
- [22] "Turbojet engine-standard practices manuel", TURBOMECA.
- [23] Weizhou, Li, Yueqiao, Li, Chao, Sun, Zhiliu, Hu, Tianquan, Liang, Wuquan, Lai, *J. Alloys Compd.* (2010), 506, 77 (2010).
- [24] Yuan, F. H., Chen, Z. X., Huang, Z. W., Wang, Z.G., Zhu, S. J., *Corros. Sci.* 50, 1608, 2008.

# ISTRAŽIVANJE SVOJSTAVA PLAZMA DEPONOVANIH SLOJEVA NIKAL- HROM-ALUMINIJUM-ITRIJUM PREVLAKE OTPORNE NA OKSIDACIJU I TOPLU KOROZIJU

OBLAST: hemijske tehnologije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

*Cilj ove studije bio je da se istraživanjem svojstava slojeva Ni22Cr10Al1Y dobiju optimalne strukturno-mehaničke karakteristike sa optimizacijom parametara deponovanja. Prah je deponovan atmosferskim plazma sprej (APS) postupkom sa jačinama električne struje 600,700 i 800A koje odgovaraju snazi napajanja plazma pištolja 22 KW, 28 KW i 34 KW.*

*Procene slojeva prevlake Ni22Cr10Al1Y napravljene su na osnovu njihovih mikrotvrdoća, zatezne čvrstoće i mikrostrukture. Najbolje performanse su pokazali slojevi deponovani sa 800A i snagom napajanja plazma pištolja od 34 KW. Prevlaka sa najboljim karakteristikama testirana je na oksidaciju u peći za termičku obradu bez zaštitne atmosfere na 1100°C u trajanju od jednog sata. Morfologija čestica praha Ni22Cr10Al1Y i EDS analiza najboljih slojeva ispitana je na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu). Mikrostruktura slojeva deponovanih prevlaka ispitana je na svetlosnom mikroskopu. Mikrostrukturna analiza deponovanih slojevima urađena je u skladu sa standardom TURBOMECA. Procena mehaničkih karakteristika slojeva urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom HV<sub>0.3</sub> i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Istraživanja su pokazala da snaga napajanja plazma pištolja bitno utiče na mehaničke osobine i mikrostrukture prevlaka koje su od presudnog uticaja na zaštitu delova izloženih visokotemperaturnoj oksidaciji i vreloj koroziji.*

#### Uvod

Za zaštitu delova turbomlaznih motora od uticaja visokih temperatura, posebno od uticaja oksidacije i vrela korozije, najčešće se primenjuju legure tipa MeCrAlY (Me = Ni, Co i / ili Fe). Izbor i sastav materijala u velikoj meri je uslovljen optimizacijom odnosa fizičko-hemijskih osobina primenjenog materijala i supstrata, radnom temperaturom i načinom depozicije [1]. Legurama tipa NiCrAlY najčešće se dodaje itrijum u određenim količinama. Dodatak itrijuma ima suštinski značaj, jer bitno povećava adheziju oksida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> koji se formiraju u prevlaci sa osnovom prevlake i tako sprečava pucanje i odvajanje zaštitnog površinskog oksidnog sloja pri dejstvu toplotnog zamora [2]. Produžetak životnog veka zaštitnih slojeva na oksidaciju doveo je do razvoja prevlake Ni22Cr10Al1Y. Prevlaka se obično koristi u avio industriji, na delovima kao što su lopatice i drugi delovi gasne turbine, kao zaštita na toplu koroziju ili visokotemperaturnu oksidaciju do 1100°C [3]. Višegodišnje iskustvo i modeliranje ponašanja slojeva prevlaka, zajedno sa poboljšanjem tehnika deponovanja, dovela je do razvoja višekomponentnih prevlaka. Veoma bitan uticaj na kvalitet slojeva prevlake imaju parametri deponovanja. Za atmosfersku plazma sprej (APS) tehniku jedan od bitnih parametara je jačina struje koja utiče na: stepen jonizacije plazma gasa, na temperaturu plazme, temperaturu čestica praha koja se tope, na njihovu brzinu u toku deponovanja i razlivanje na supstrat. Osnovni hemijski element prevlake NiCrAlY namenjene za zaštitu od visokotemperaturne oksidacije i vrela korozije treba da bude kompatibilan sa materijalom supstrata da bi se smanjila interdifuzija i hemijska aktivnost Al. Aluminijum je element koji u prevlakama štiti legure Ni od oksidacije do 1200°C formiranjem faza  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al i  $\gamma$ -Ni /  $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>Al u osnovi legure Ni. Faza  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u osnovi NiCrAlY legure ima uticaj na poboljšanje oksidacione otpornosti. Oksidna faza  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ometa difuziju Ni i Cr iz unutrašnjih slojeva na površinu prevlake i na taj način usporava rast oksida Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, koji se pripisuje ni-



skom koeficijentu difuzije Ni i Cr duž granice zrna  $\alpha$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Oksid  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  koji se formira u prevlaci je termodinamički stabilna faza i veoma sporo raste u odnosu na druge tipove oksida. Pored prisutnih oksida Ni, Cr i Al, prisutna je i spinel faza  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  koja takođe povećava otpornost na oksidaciju [11,12,13]. Generalno, prah MeNiCrY se dobro deponuje atmosferskim plazma sprej sistemom i prevlaka ima dobru čvrstoću spoja sa osnovnim materijalom. U strukturi prevlake u plazma sprej deponovanom stanju su prisutne dve veoma važne faze na bazi Ni ( $\gamma$ -Ni,  $\gamma'$ - $\text{Ni}_3\text{Al}$ ) i oksidna faza  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Unutrašnja struktura prevlake je heterogena mešavina osnove metala sa ne rastopljenim česticama praha, precipitatima, mikroporama i oksidima nikla  $\text{NiO}$  i hroma  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  i  $\text{NiCr}_2\text{O}_3$ . Izlaganjem prevlake na visokim temperaturama dolazi do oksidacije Al koji formira oksid tipa  $\alpha$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Ovaj oksid se izdvaja na površini prevlake zbog velike brzine difuzije Al. Samo mala količina Al ostaje u regionima bogatim (Ni,Cr) [17]. Na temperaturi od  $1200^\circ\text{C}$  oksid  $\text{NiO}$  u prevlaci se destabilizuje i reaguje sa  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  formirajući tanak sloj spinel faze  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  koja je termodinamički stabilnija od oksida  $\text{NiO}$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  [18,19,20]. Na temperaturi  $1200^\circ\text{C}$  u prevlaci  $\text{NiCrAlY}$  se formiraju slojevi mešoviti oksida sive boje. U ovoj sivoj oblasti su mešoviti oksidi tipa  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  i spinel ( $\text{Ni,Cr}$ )  $_2\text{O}_4$ , ( $\text{Cr, Al}$ )  $_2\text{O}_4$  [21]. U ovom radu predstavljeni su rezultati eksperimentalnih istraživanja uticaja atmosferskih plazma sprej parametara na mehanička svojstva i mikrostrukturu slojeva  $\text{Ni22Cr10Al1Y}$  prevlake. Glavni cilj je bio da se homologuje prevlaka i primeni na sprovodnom vencu gasne turbine turbo-mlaznog motora ASTAZOU III B. Urađene su tri grupe uzoraka sa tri različite snage napajanja plazma pištolja 22 KW, 28 KW i 34 KW, sa vrednostima jačine struje od 600,700 i 800 A. Prevlaka sa najboljim karakteristikama je testirana na oksidaciju u peći za termičku obradu bez zaštitne atmosfere na  $1100^\circ\text{C}$  u trajanju od 1 sata. Analizirane su i proučavane mikrostrukture i mehaničke karakteristika slojeva prevlaka da bi se na osnovu rezultata odabrala prevlaka najboljeg kvaliteta i homologovali plazma sprej parametri.

#### Materijali i eksperimentalni detalji

Materijal supstrata je od nerđajućeg čelika X15Cr13 (EN 1.4024). Materijal je korišćen u termički neobrađenom stanju. Za proizvodnju prevlake otporne na visokotemperaturnu oksidaciju i vrelu koroziju koristio se prah firme Sulzer Metco sa oznakom AMDRY 962. Ovaj prah  $\text{NiCrAlY}$  je legura nikla sa 20tež% Cr, 10 tež% Al i 1 tež%Y sa rasponom granulacije čestica praha od  $53\text{ }\mu\text{m}$  do  $106\text{ }\mu\text{m}$ . U eksperimentu za depoziciju praha je korišćen atmosferski plazma sprej(APS). U tu svrhu korišćen je MINI GUN plazma sprej pištolj firme Plasmadyne, koji se sastoji od : katode tip K 1083–129 A , anode tip A 2084 –F45 i gas injektora tip GI 2084 B -103. Kao gas korišćen je argon u kombinaciji sa helijumom i električna struja od 600,700 i 800A sa snagom napajanja plazma pištolja od 22 KW, 28 KW i 34 KW.

Mehaničke i mikrostrukturne karakterizacije dobijenih prevlaka izvršene su prema standardu TURBOMECA [22]. Za merenje tvrdoće i metalografska ispitivanja korišćeni su pravougaoni uzorci 70×20×1,5 mm, dok su za zateznu čvrstoću korišćeni cilindrični uzorci Ø25×50 mm. Mikrostrukturna analiza prevlaka urađena je na svetlosnom mikroskopu, dok je morfologija praha i EDS analiza prevlake testirane na oksidaciju na 1100°C u trajanju od 1 sata urađena na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu).

Merenja mikrotvrdoća izvršena su korišćenjem Vickers dijamant piramide indenter i 300 grama opterećenje ( $HV_{0.3}$ ). Merenje je obavljeno u pravcu duž lamela, u sredini i na krajevima uzorka. Na tri mesta sprovedena su tri očitavanja a dobijeni rezultati su usrednjeni.

Testovi zatezne čvrstoće vršeni su na sobnoj temperaturi na hidrauličnoj opremi brzinom od 10 mm/min, za sva ispitivanja. Čvrstoća je izračunata tako što se opterećenje kidanja deli sa površinom poprečnog preseka uzorka. Geometrija uzoraka je u skladu sa ASTM C633 standardom. Korišćeni su u paru dva uzorka, od kojih je prevlaka deponovana samo na jednom od njih. Uzorci su zalepljeni lepkom i čuvani pod pritiskom jedni prema drugom u peći na temperaturi od 180°C za 2 sata. Za svaku grupu uzoraka urađene su po tri epruvete, a dobijeni rezultati su usrednjeni.

#### Rezultati i diskusija

Za sve deponovane prevlake dobijene su vrednosti mikrotvrdoće iznad zahtevane vrednosti od 200  $HV_{0.3}$  [22]. Vrednosti električne struje koje su u direktnoj vezi sa snagom napajanja plazma pištolja uticale su bitno na vrednosti mikrotvrdoće i čvrstoće spoja deponovanih slojeva. Najviše vrednosti mikrotvrdoće 342 $HV_{0.3}$  pokazali su slojevi deponovani na uzorku (C) sa najvećom jačinom struje od 800A. Veća jačina struje je uticala na veće topljenje i povećanje brzine istopljenih čestica praha. To je rezultiralo boljim i gušćim pakovanjem jednih čestica na druge praćeno malim udelom između lamelarnih pora i oksida. Najnižu vrednost mikrotvrdoće od 220 $HV_{0.3}$  imali su slojevi deponovani na uzorku (A) koji su deponovani sa jačinom struje od 600A. Slojevi sa najvećom mikrotvrdocom imali su najmanji udeo pora. Ove vrednosti su potvrđene za sve tri grupe uzoraka analizom mikrostrukture prevlaka na svetlosnom mikroskopu. Vrednosti mikrotvrdoća su bile u skladu sa udelima pora u deponovanim slojevima prevlaka. Vrednosti mikrotvrdoće deponovanih slojeva su u očekivanim granicama. Poređenjem vrednosti zatezne čvrstoće spoja dobijenih prevlaka, ustanovljeno je da su se za sve tri grupe uzoraka dobile vrednosti više od 35 MPa, koliko propisuje odgovarajući standard [22]. Niža vrednost zatezne čvrstoće spoja 36MPa prevlake na uzorku (A) je posledica manje jačine struje, što je uticalo na manji stepen stapanja čestica praha u odnosu na druga dva sloja deponovana sa većom jačinom struje. Najveću vrednost čvrstoće spoja 54 MPa su pokazali slojevi, koji su deponovani sa

najvećom jačinom struje na uzorku(C). Ti slojevi su imali najmanji udeo pora i grubih oksida. Ispitivanja zatezne čvrstoće spoja je pokazalo da se za sve deponovane prevlake mehanizam razaranja odvijao na interfejsu između substrata i prevlake. Pošto je udeo pora, neistopljenih čestica i oksida u direktnoj vezi sa vrednostima mikrotvrdoće i čvrstoće spoja prevlaka, to izmerene vrednosti za prevlaku deponovanu sa najvećom jačinom struje na uzorku (C) ukazuje da je njihov udeo minimalan u ovoj prevlaci. Ove vrednosti su takođe potvrđene analizom mikrostrukture prevlaka na svetlosnom mikroskopu. Mikrostrukture slojeva Ni22Cr10Al1Y prevlaka deponovanih sa jačinom struje od 600,700 i 800 A prikazane su na slikama 4, 5 i 6. Kvalitativna analiza je pokazala da na interfejsu između supstrata i deponovanih prevlaka nisu prisutni defekti kao što je diskontinuitet deponovanih slojeva na supstratima, mikropukotine, makropukotine i odvajanje prevlaka od osnove (sl. 4). Takođe, nije uočena kontaminacija sredstvom za hrapavljenje. Struktura unutrašnjih slojeva svih prevlaka je lamelarna, čiju osnovu čini čvrst rastvor hroma i aluminijuma u niklu  $\gamma - \text{Ni} + \gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$  faza. U slojevima prevlake deponovane sa 600A u strukturi se ne uočavaju neistopljene čestice praha čiji je raspon od 53  $\mu\text{m}$  do 106  $\mu\text{m}$  (sl. 4). U strukturi su prisutna mesta sa izvađenim precipitatima sfernog oblika koja se vide kao crna polja. Precipitati su posledica sudara istopljenih čestica praha sa supstratom. U trenutku sudara istopljena čestica se na krajevima odlama i ostaje kao talog u prevlaci. Kroz slojeve prevlake uočavaju se interlamelarne i sferne pore veličine do 5  $\mu\text{m}$ . U strukturi su takođe prisutne lamele oksida  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . U procesu depozicije inkorporirani molekuli kiseonika  $\text{O}_2$  iz vazduha na temperaturi od 3227°C u plazmi se razlažu na atome i reaguju sa atomima Al i Cr. U strukturi su prisutni i grubi oksidi. Grubi oksidi i duže oksidne lamele formiraju se za vreme sudara tečnog rastopa oksida sa supstratom. Ovi oksidi se direktno formiraju u tečnom stanju u plazmi. Zavisno od količine formirane tečne oksidne faze, njene unutrašnje i kinetičke energije formiraće se grube oksidne lamele različite veličine. U slojevima prevlake takođe se jasno uočavaju tanki oksidni filmovi sive boje formirani između lamela  $\gamma - \text{Ni}$  osnove koji potiču od oksidacije Al i Cr u procesu očvršćavanja i hlađenja komprimovanim vazduhom. Slojevi deponovani sa 600A imaju najveći udeo pora, precipitata i grubih oksidnih lamela. Kroz slojeve prevlake ne uočavaju se mikropukotine i makropukotine. U slojevima prevlake deponovane na uzorku B sa 700 A nisu prisutne neistopljene čestice praha (sl. 5). U strukturi su prisutni precipitati sfernog oblika veličine od 5 do 10 $\mu\text{m}$  svetlosive boje. U blizini precipitata vide se pore crne boje koje su posledica formiranja precipitata. Udeo pora je manji u odnosu na prevlaku deponovanu sa 600A na uzorku A. U strukturi su prisutne podužne oksidne lamele  $\text{I}_2\text{O}_3$  formirane u tečnom stanju u plazmi. Oksidne lamele su duže i tanje u odnosu na slojeve deponovane sa 600A zbog boljeg razlivanja

na podlozi na kojoj se deponuju istopljene čestice. Između podužnih lamela oksida jasno se uočava svetlosiva faza osnove, čvrst rastvor  $\gamma - \text{Ni} + \gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$  faza. U strukturi prevlake jasno se uočavaju tanki oksidni filmovi  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  formirani između lamela  $\gamma - \text{Ni}$  osnove. U slojevima prevlake nisu prisutne mikroprskotine i makroprskotine.

Na slici 6. prikazani su  $\text{Ni22Cr10Al1Y}$  slojevi sa najboljim mehaničkim i strukturnim karakteristikama koji su deponovani na uzorku C sa najvećom jačinom struje od 800 A. Struktura prevlake je lamelarna. Osnova prevlake se sastoji od čvrstog rastvora  $\gamma - \text{Ni}$  u kojem se nalazi fina faza  $\gamma' - \text{Ni}_3\text{Al}$ . Kroz  $\text{NiCrAlY}$  slojeve jasno se uočavaju tamne interlamelarne i sferne pore sa niskim udelom u prevlaci. Između lamela osnove jasno se uočavaju tanki filmovi oksida  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  koji su ravnomerno distribuirani u prevlaci. Zbog veće brzine istopljenih čestica i kraćeg zadržavanja čestica u mlaz plazme u slojevima prevlake se ne uočavaju grubi oksidi. Kroz slojeve prevlake takođe se ne uočavaju nestopljene čestice, precipitat, mikroprskotine i makroprskotine. Na slici 7. je prikazana (SEM) mikrostruktura prevlake na uzorku (C) testirane na oksidaciju u peći za termičku obradu bez zaštitne atmosfere na  $1100^\circ\text{C}$  u trajanju od 1 sata.

U mikrostrukturi  $\text{Ni22Cr10Al1Y}$  prevlake postoje očigledne promene u poređenju sa mikrostrukturom prevlake u deponovanom stanju. Na osnovu obavljenih EDS merenja i rezultata prikazanih na slici 8. i tabeli 2. neke faze u okviru obeleženih regiona prevlake mogu se očekivati. U  $\text{Ni22Cr10Al1Y}$  leguri je došlo do očekivane stehiometrijske promene elemenata Al, Cr i Ni uzrokovane difuzijom na visokoj temperaturi. Čvrsti rastvor  $\gamma - \text{Ni}$  je osiromašio sa elementima kao što su Al i Cr (EDS 1). Samo mala količina Al ostaje u regionima bogatim (Ni,Cr) [17]. Neki autori u studijama [23,24] pokazuju da, takođe, dolazi do difundacije i oksidacije Ni iz čvrstog rastvora  $\gamma - \text{Ni}$ . Nikal oksiduje do NiO i reaguje sa već postojećim oksidima  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  koji su termodinamički nestabilni na  $1100^\circ\text{C}$ . Ovi oksidi grade stabilnu spinel fazu  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$ . Na slici 7 (EDS 2) analiza potvrđuje da su u prevlaci formirali slojevi mešoviti oksida tamnosive boje. U ovoj sivoj oblasti prisutni su mešoviti oksidi tipa  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , i spineli  $(\text{Ni,Cr})_2\text{O}_4$ ,  $(\text{Cr, Al})_2\text{O}_4$  [21].

#### Zaključak

Plazma sprej postupkom u atmosferskim uslovima deponovane su tri grupe uzoraka prevlake  $\text{Ni22Cr10Al1Y}$ , primenom tri različite jačine električne struje 600, 700 i 800 A koje odgovaraju snazi napajanja plazma pištolja 22 KW, 28 KW i 34 KW. Istraživane su i analizirane mehaničko-strukturne karakteristike deponovanih slojeva i uticaj oksidacije na mikrostrukturu slojeva deponovanih sa najboljim karakteristikama.

Povećanjem jačine struje dobijale su se sve veće vrednosti mikrotvrdoće prevlaka. Treća grupa uzoraka deponovana sa jačinom struje od 800 A imala je najveće vrednosti mikrotvrdoće. Treća grupa uzoraka takođe je imala najveće vrednosti zatezne čvrstoće spoja, a lom je išao na interfejsu između prevlake i površine na koju je prevlaka

deponovana. Vrednosti zatezne čvrstoće spoja za sve tri grupe uzoraka bile su više od minimalne vrednosti propisane standardom za odgovarajuću namenu. Vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja bile su u korelaciji sa njihovim mikrostrukturama.

Struktura deponovanih slojeva prevlake Ni22Cr10Al1Y je lamelarna i sastoji se od čvrstog rastvora hroma i aluminijuma u niklu  $\gamma$ -Ni,  $\gamma$  + Ni<sub>3</sub>Al faza, oksida  $\alpha$  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i među lamelarnih mikropora.

U mikrostrukтури Ni22Cr10Al1Y prevlake posle temperaturnog tretmana na 1100 °C u trajanju od 1 sata došlo je do promene mikrostrukture u poređenju sa prevlakom u deponovanom stanju. Zbog difuzije i oksidacije elemenata na 1100°C, struktura primarnog čvrstog rastvora  $\gamma$  - Ni je osiromašila na Cr i Al. Zbog termičke nestabilnosti oksida NiO i Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na 1100°C, u strukturi prevlake su prisutni oksidi tipa Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, i mešoviti spineli (Ni,Cr)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, (Cr, Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Primenom prevlake sa najboljim strukturno-mehaničkim karakteristikama, pri reparaciji dela turbomlaznog motora ASTAZOU IIIB znatno se poboljšala njegova efikasnost i pouzdanost rada.

Ključne reči: atmosferski plazma sprej (APS), mikrostruktura, interfejs, mikrotvrdoća, čvrstoća spoja, oksidacija, vrela korozija.

Datum prijema članka: 17. 11. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 25. 12. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 27. 12. 2011.

## METALI I LEGURE U FUNKCIJI BIOMATERIJALA

Tanikić I. *Dejan*,<sup>a)</sup> Manić T. *Miodrag*,<sup>b)</sup> Đenadić, M. Dalibor,<sup>a)</sup> Randelović S. *Saša*,<sup>a)</sup> Milovanović R. Jelena,<sup>b)</sup> Đekić S. Petar<sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu

<sup>b)</sup> Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

DOI: 10.2298/vojtehg1202202T

OBLAST: materijali

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

### Sažetak:

*Biomaterijali su prirodnog ili veštačkog porekla, a koriste se radi usmeravanja, potpomaganja ili zamene funkcije živih tkiva ljudskog tela. Metalni biomaterijali uglavnom se koriste za fiksaciju ili čak zamenu polomljenih ili oštećenih kostiju, zbog svoje velike čvrstoće, žilavosti i otpornosti na habanje. Legure koje se najviše koriste za ovu svrhu su nerđajući čelici, legure na bazi kobalta, kao i titanijum i njegove legure. U ovom radu dat je pregled metala i legura koji se najčešće koriste u biomedicini.*

Ključne reči: *biomaterijali, biokompatibilnost, metalni implantati.*

## Uvod

Korišćenje biomaterijala datira još iz drevnih vremena. Veštačke Koči, uši, zubi itd. nađeni su još na egipatskim mumijama, dok su Kinezi i Indijanci koristili razne voskove, lepkove i tkiva za rekonstrukciju nedostajućih ili oštećenih delova tela. Današnji stupanj razvoja veštačkih materijala, tehnika operisanja i metoda sterilizacije omogućava korišćenje biomaterijala za najrazličitije svrhe. Biomaterijali u obliku implantata (veštačke kosti i zglobovi, ligamenti, srčani zalisci, očna sočiva, zubni implantati itd.) i medicinski uređaji (pejsmejkeri, biosenzori, veštačka srca itd.) vrlo često se koriste za zamenu i/ili nadomeštanje funkcije oštećenih ili degenerisanih tkiva ili organa, za poboljšavanje funkcije, korekciju abnormalnosti, odnosno poboljšavanje kvaliteta života pacijenata [1]. Biomaterijali moraju da poseduju odgovarajuće karakteristike, čak i pri radu u veoma teškom okruženju, kakvo je ljudsko telo. Primera radi, pH vrednost telesnih tečnosti raznih tkiva u ljudskom organizmu varira u rasponu od 1 do 9. Tokom dnevnih aktivnosti, ljudske kosti su opterećene napo-

Napomena: Ovaj rad finansijski je podržalo Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije u okviru projekta III41017 i TR34005.

nom reda veličine 4 MPa, dok se tetive i ligamenti u toku dana opterećuju i ekstremnim kratkotrajnim naponima, koji mogu biti u opsegu 40–80 MPa. Srednje opterećenje zgloba normalnog kuka je i do tri puta veće od težine tela (do 3000 N), dok ekstremno opterećenje za vreme skoka može biti i do 10 puta veće od težine tela [2]. Opterećenje kuka, koji ima urođenu manu, kao što je valgus deformacija, pri hodu trpi i 5 puta veće opterećenje, što je glavni uzrok brzog propadanja takvog kuka. Ova opterećenja se tokom dnevnih aktivnosti (stajanje, sedenje, trčanje, savijanje, vranje...) menjaju. U toku godine, broj ciklusa opterećenja zgloba na jednom prstu procenjuje se na oko  $1 \times 10^6$  ciklusa, dok je broj ciklusa opterećenja srca oko  $0,5 \div 4 \times 10^7$ . Kao što se iz priloženog vidi, uslovi u kojima biomaterijali treba da funkcionišu su zaista teški, a u velikoj meri zavise i od stanja i aktivnosti pacijenta.

Reakcije živih organizama na biomaterijale su, kao što se i očekuje, različite. Samo neke materijale organizam prihvata. Pod određenim okolnostima neki materijal organizam dobro prihvata, dok, pod drugim okolnostima, taj isti materijal biva odbačen. Biomaterijal i biokompatibilnost su izrazi koji su ustanovljeni za ocenjivanje biološkog ponašanja materijala. Materijali koji su biokompatibilni nazivaju se biomaterijali, a biokompatibilnost je opisni izraz kojim se označava sposobnost materijala da se ponaša na odgovarajući način u organizmu u kojem se aplicira [3]. Wintermantel i dr. [4] proširili su ovu definiciju i ustanovili razliku između površinske i strukturalne kompatibilnosti implantata. Površinska kompatibilnost označava hemijsku, biološku i fizičku (uključujući površinsku morfologiju) pogodnost površine implantata za primenu kod tkiva domaćina. Strukturalna kompatibilnost predstavlja optimalnu adaptaciju implantata mehaničkom ponašanju tkiva domaćina. To znači da se strukturalna kompatibilnost povezuje sa mehaničkim karakteristikama materijala implantata, kao što su modul elastičnosti (E Youngov modul) i čvrstoća, dizajn implantata i optimalni prenos opterećenja duž linije razdvajanja implantata i tkiva. Optimalna interakcija između biomaterijala i domaćina postiže se u slučaju da je postignuta i površinska i strukturalna kompatibilnost. Treba napomenuti i činjenicu da uspešno prihvatanje biomaterijala u organizmu zavisi i od nekih drugih faktora, kao što su: tehnika operisanja (stepen traume prouzrokovan implantacijom, metodama sterilizacije itd.), zdravstveno stanje i aktivnost pacijenta. Klinička iskustva pokazuju da nisu svi inženjerski materijali podobni za primenu kao biomaterijali. Materijali koji se najčešće koriste u biomedicini mogu se svrstati u nekoliko grupa [5]:

- a) metali,
- b) keramički materijali,
- c) polimeri,
- d) kompoziti, sačinjeni od različitih kombinacija a), b) i c).

U tabeli 1. prikazane su mehaničke karakteristike nekih prirodnih i veštačkih materijala koje su od značaja pri izboru vrste biomaterijala [1].

Metali su poznati kao materijali velike čvrstoće, žilavosti i otpornosti na habanje. Nedostaci metala ogledaju se u niskoj biokompatibilnosti, podložnosti koroziji, suviše velikoj čvrstoći (u poređenju sa živim tkivima), velikoj gustini i oslobađanju metalnih jona koji potencijalno izazivaju alergijske reakcije tkiva [6].

Tabela 1

Table 1

Mehaničke karakteristike tkiva, metalnih, keramičkih i polimernih materijala  
Mechanical properties of tissues as well as metal, ceramic and polymer materials

|                                         | <b>Modul<br/>elastičnosti<br/>[GPa]</b> | <b>Zatezna čvrstoća<br/>[GPa]</b> |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Tvrdo tkivo</i>                      |                                         |                                   |
| Kortikalna kost (longitudinalni pravac) | 17,7                                    | 133                               |
| Kortikalna kost (transverzalni pravac)  | 12,8                                    | 52                                |
| Gleđ                                    | 84,3                                    | 10                                |
| Zubi                                    | 11,0                                    | 39,3                              |
| <i>Meko tkivo</i>                       |                                         |                                   |
| Zglobne hrskavice                       | 0,0105                                  | 27,5                              |
| Ligamenti                               | 0,303                                   | 29,5                              |
| Tetive                                  | 0,4015                                  | 46,5                              |
| Koža                                    | 0,0001-0,0002                           | 7,6                               |
| <i>Metali i legure</i>                  |                                         |                                   |
| Nerđajući čelik                         | 190                                     | 586                               |
| Co-Cr legura                            | 210                                     | 1085                              |
| Ti legura                               | 116                                     | 965                               |
| <i>Keramika</i>                         |                                         |                                   |
| Glina                                   | 380                                     | 300                               |
| Cirkon                                  | 220                                     | 820                               |
| Bioglas                                 | 35                                      | 42                                |
| <i>Polimerni biomaterijali</i>          |                                         |                                   |
| Polietilen (PE)                         | 0,88                                    | 35                                |
| Poliuretan (PU)                         | 0,02                                    | 35                                |
| Politetrafluoroetilen (PTFE)            | 0,5                                     | 27,5                              |
| Poliacetal (PA)                         | 2,1                                     | 67                                |
| Silikonska guma (SR)                    | 0,008                                   | 7,6                               |
| Polisulfon (PS)                         | 2,65                                    | 75                                |

Keramički materijali imaju veoma dobru biokompatibilnost, otporni su na koroziju i habanje i poseduju veoma visoku otpornost na pritisak. U nedostatke keramičkih materijala ubrajaju se krtost, otežana izrada, loše mehaničke karakteristike, velika gustina itd.



Veliki broj polimera ima široku primenu u biomedicini. Jedan od razloga je i taj što su polimeri prisutni u širokom dijapazonu sastava, osobina, oblika (geometrijska tela, vlakna, tanki filmovi, gelovi...) i mogu biti proizvedeni u kompleksne oblike i strukture. Međutim, oni su isuviše savitljivi i preslabi za aplikaciju u ortopedskoj praksi. Takođe, mogu absorbovati tečnosti, deformisati se, prikupljati neželjene proizvode (npr. monomere, popunjivače, antioksidante itd.) u zavisnosti od aplikacije i primene. Proces sterilizacije takođe može uticati na osobine polimera.

Polimer-kompozitni materijali predstavljaju alternativu, pri čemu se upotrebom ovih materijala prevazilaze nedostaci koji postoje kod gore pomenutih materijala.

Generalno, tkiva se grubo mogu podeliti na tvrda i meka. Kost i zubi su primer tvrdih tkiva, dok su koža, krv, tetive i ligamenti primeri mekih tkiva. Posmatrajući strukturnu i mehaničku kompatibilnost pomenutih materijala i tkiva, metali i keramike koriste se za aplikaciju kod tvrdih tkiva, dok se polimeri koriste za aplikacije kod mekih tkiva. Analizirajući predstavljene podatke (tabela 1) zapaža se da je modul elastičnosti metala i keramičkih materijala 10 do 20 puta veći od modula elastičnosti tvrdih tkiva. Jedan od glavnih problema koji se javlja u ortopedskoj hirurgiji je upravo velika razlika u čvrstoći kostiju, odnosno živog tkiva, i metalnih ili keramičkih implantata [7]. Prilikom raspodele opterećenja između kosti i implantata, veličina prouzrokovanog napona u njima direktno je povezana sa njihovom čvrstoćom. S obzirom na to, očigledno je da je kost znatno manje opterećena od implantata. Što je veći stepen razmimoilaženja čvrstoća tkiva i implantata to je veće razmimoilaženje u naprezanjima implantata i tkiva. Ovaj fenomen utiče na remodeliranje i proces ozdravljenja kostiju i dovodi do povećane poroznosti kostiju (poznate i kao atrofija kostiju). U praksi je pokazano da se, upotrebom implantata sa sličnom čvrstoćom koju ima i tkivo-domaćin, izbegava opasnost od ove pojave i na taj način poboljšava proces ozdravljenja kostiju. Imajući to u vidu, jasno je da je poželjno korišćenje materijala sa manjim modulom elastičnosti i čvrstoćom, kao što su polimerni materijali. Međutim, mala vrednost čvrstoće u kombinaciji sa malim modulom elastičnosti dovodi u pitanje osnovnu funkciju implantata. S obzirom na to da polimeri ojačani vlaknima (polimer kompozitni materijali) poseduju mali modul elastičnosti, ali i visoku vrednost čvrstoće, ovi materijali se preporučuju za neke ortopedske aplikacije. Jedna od najznačajnijih prednosti korišćenja polimer-kompozitnih materijala jeste što se dizajn i karakteristike implantata mogu varirati i kreirati tako da im mehaničke i fiziološke karakteristike budu što približnije karakteristikama tkiva-domaćina. U fazi razvoja, kao i za analizu naponsko deformacionog stanja implantata, odnosno fiksatora, uspešno se koriste CAx i MKE [8].

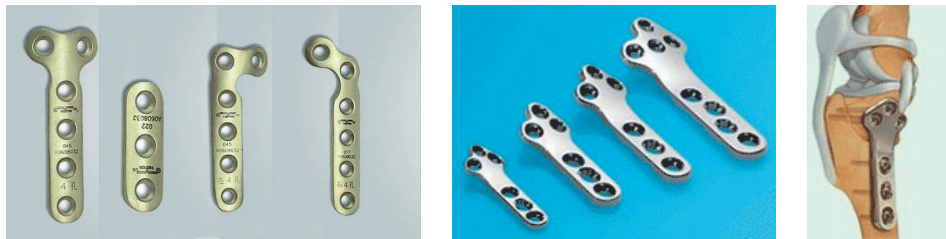
## Metalni biomaterijali i legure

Metalni biomaterijali ubedljivo se najduže primenjuju u biomedicini. Najčešće se koriste za fiksaciju i zamenu tvrdog tkiva (veštački kuk, veštačko koleno, pločice za fiksaciju prelomljenih kostiju, razne primene u stomatologiji itd. ...) i za izradu hirurških instrumenata [9]. Nerđajući čelik je prvi biomaterijal ikada korišćen za hirurške svrhe (dvadesetih godina prošlog veka). Zatim, tridesetih godina prošlog veka počinje sa primenom i legura na bazi kobalta zvana vitalijum. Metal koji je doveo do prave revolucije u biomedicini je titanijum. Uveden je u medicinsku primenu šezdesetih godina prošlog veka i do danas je ostao najčešće primenjivan biomedicinski metal. Jedna od ograničavajućih okolnosti je primena metalnih biomaterijala kod populacije koja boluje od osteoporoze, pa se u takvim slučajevima pribegava nekoj drugoj vrsti lečenja [10].

### *Nerđajući čelici*

Nerđajući čelici obuhvataju jednu veliku grupaciju različitih vrsta čelika koji imaju dobru otpornost na koroziju, uslovljenu visokim procentom hroma. Hrom ima veliki afinitet prema kiseoniku, što prouzrokuje stvaranje filma hromovog oksida na površini materijala na molekularnom nivou, koji je pasivan, adhezivan i veoma čvrst. Ovi čelici koriste se za mnogobrojne aplikacije u medicini, jer su lako dostupni, imaju nisku cenu, različne mehaničke karakteristike uz odgovarajuću biokompatibilnost.

Konvencionalni nerđajući čelici koji se koriste za izradu metalnih implantata su austenitni nerđajući čelici. Najčešće korišćeni čelici za ovu svrhu imaju ASTM oznaku F138. Dva su osnovna tipa ovih čelika, pri čemu je osnovna razlika između njih u procentualnom sadržaju ugljenika. U upotrebi su, takođe, i čelici sa visokim sadržajem hroma i mangana uz, istovremeno, nizak sadržaj nikla. Međutim, ispitivanja su pokazala da je nikl jedan od najproblematičnijih elemenata u pogledu alergijskih reakcija. Daskora najrepresentativniji predstavnik nerđajućih čelika za biomedicinsku upotrebu, oznake SUS 316 L, sadrži veliku količinu nikla. Sa druge strane, problemi vezani za koroziju i piting takođe su veoma učestali kod ovog čelika [11]. Generalno, korozija i piting mogu se svesti na minimalnu meru smanjenjem legirajućih nemetalnih elemenata. Otpornost na habanje ima veliki značaj za implantate kod kojih postoji pokretljivost između komponenti [12]. Potrebno je, takođe, da materijal ima nemagnetičnu prirodu, zbog korišćenja magnetne rezonance u kasnijoj fazi oporavka pacijenta. Nerđajući čelik sa malim sadržajem nikla i visokim sadržajem azota, oznake NAS 106N, jeste materijal koji se najčešće koristi za izradu nerđajućih elektroda za funkcionalnu električnu stimulaciju. Ovaj materijal takođe poseduje odlične mehaničke karakteristike. Primeri pločica za fiksaciju od nerđajućeg čelika prikazani su na slici 1.



Slika 1 – Pločice za fiksaciju od nerđajućeg čelika  
Figure 1 – Stainless steel fixation plates

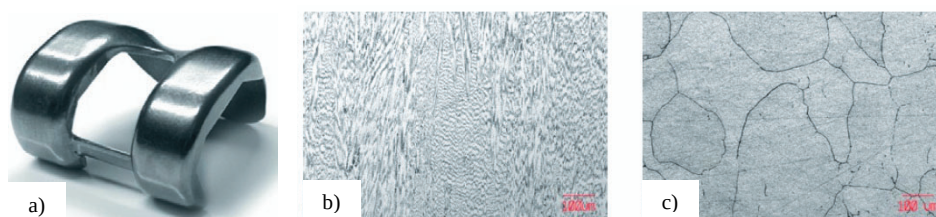
Nerđajući čelici za biomedicinsku upotrebu mogu da se dobiju i metalurgijom praha. EOS legirani nerđajući čelik PH1 (američka oznaka 15-5PH) tipični je predstavnik ove vrste čelika. Oni se odlikuju velikom otpornošću na koroziju, kao i odličnim mehaničkim karakteristikama, naročito u otvrdnjenom stanju. Osim upotrebe u medicini, ovaj čelik se veoma često koristi u avio-industriji, kao i u svim slučajevima gde je potrebna kombinacija velike tvrdoće, čvrstoće i otpornosti na koroziju. Implantati od ovog materijala najčešće se izrađuju livenjem. Pri ovakvim okolnostima, mehaničke karakteristike u svim pravcima su približno iste. EOS PH1 nerđajući čelik može se obrađivati postupcima obrade materijala skidanjem strugotine, elektroerozijom, uspešno se spajaju zavarivanjem, poliraju, a po potrebi je moguće i nanošenje površinskih slojeva materijala.

### *Legure na bazi kobalta*

U medicini se najčešće koriste legure na bazi kobalta i hroma. One imaju znatno veću otpornost na habanje od nerđajućih čelika i titanijumovih legura. Zbog toga se najčešće koriste pri izradi veštačkih kuka, i to za izradu glave proteze [13]. U principu, postoje dve velike grupacije Co-Cr legura, i to: Co-Cr legure koje se koriste za livenje finalnog proizvoda i Co-Cr legure od kojih se finalni proizvod dobija kovanjem. Co-Cr legure za kovanje, za razliku od Co-Cr legura za livenje, koriste se za izradu implantata koji imaju veće zahteve u pogledu čvrstoće. Ove legure uglavnom sadrže veliki procenat nikla, koji je, kao što je napomenuto, veoma rizičan element u pogledu alergija. Specijalnom termomehaničkom obradom legure moguće je dobiti i leguru Co-28Cr-6Mo, koja ne sadrži nikl. Razmatrajući Co-Cr-Mo legure dolazi se do zaključka da bolju obradljivost imaju legure sa malim sadržajem ugljenika i velikim sadržajem azota. Kada su u pitanju legure za livenje, podjednako dobro se obrađuju i one sa velikim i sa malim sadržajem azota. Proces sinterovanja, koji se primenjuje za dobijanje ovih legura, podrazumeva tretiranje pri visokoj temperaturi, koja negativno utiče na njihove meha-

ničke karakteristike. To je dovelo do potrebe za takvim tipom visokouglenične Co-Cr-Mo legure, koja bi pored odlične otpornosti na habanje bila dobijena procesom sinterovanja na nižim temperaturama, što ne dovodi do remećenja njenih mehaničkih karakteristika. Ovaj proces sastoji se od topljenja vakuumskom indukcijom, podvrgavanja visokom pritisku, preciznom kovanju i valjanju. Ove legure takođe se izrađuju da zadovolje, kako zahteve u pogledu otpornosti na koroziju, tako i zahteve u pogledu mehaničkih karakteristika. Pored dobrih karakteristika u pogledu otpornosti na koroziju, ovi materijali pokazuju i dobru žilavost (dozvoljavaju minimum 8% izduženja). Otpornost na zamor i lom takođe su bitne karakteristike ovih materijala. Razvijene su i specijalne metode za dobijanje visokog kvaliteta obrađene površine ovih legura brušenjem [14].

Legure Co-Cr-Mo najčešće se koriste kada su u pitanju implantati za veštačke zglobove, kod kojih dolazi do međusobnog kontakta dva metalna dela, u stomatologiji i drugim oblastima. Legura sa ASTM oznakom F75 je Co-Cr-Mo legura koja ima izuzetne karakteristike čvrstoće, otpornosti na koroziju i otpornosti na habanje. Ovaj materijal, pored velike tvrdoće, ima i odlične mehaničke karakteristike koje dozvoljavaju poliranje površine gotovog proizvoda (do granice ogledala), što je u izvesnom broju slučajeva od presudnog značaja. Obradivost mu je odlična, ma o kom postupku mašinske obrade da se radi. Materijal se dobija metalurgijom praha, a zatim i termički obrađuje. Implantat za koleno, kao i mikrostruktura Co-Cr legure, pre i nakon termičke obrade prikazani su na slici 2.



*Slika 2*

- a) Implantat kolena od Co-Cr legure
- b) Mikrostruktura Co-Cr legure pre termičke obrade
- c) Mikrostruktura Co-Cr legure nakon termičke obrade

*Figure 2*

- a) Co-Cr alloy knee implant
- b) Co-Cr alloy microstructure before heat treatment
- c) Co-Cr alloy microstructure after heat treatment

## *Titanijum i njegove legure*

Titanijum i njegove legure predstavljaju najčešće korišćene materijale za biomedicinsku primenu. Uglavnom se koriste za zamenu i reparaciju tvrdog tkiva, kao što su veštačka ramena, veštački kukovi, zavrtnjevi za fiksatore, pejsmejkere, veštačka srca, itd. [15].

Komercijalno čist titanijum smatra se najboljim biokompatibilnim materijalom, jer ima sposobnost spontanog formiranja tankog površinskog sloja stabilnog i inertnog oksida. Glavne fizičke karakteristike titanijuma su: nizak nivo elektrokonduktivnosti, velika otpornost na koroziju, mala tendencija ka stvaranju jona u tečnim sredinama...

Čist titanijum i titanijumove legure  $\alpha+\beta$  tipa, uključujući i Ti-6Al-4V i Ti-6Al-4V ELI, prvenstveno su razvijeni kao strukturni materijali opšte namene, naročito u vazduhoplovstvu, a tek kasnije nalaze primenu u biomedicini. Međutim, kasnija istraživanja su ukazala na toksičnost  $\beta$  stabilizirajućeg elementa – vanadijuma. Zbog toga je vanadijum zamenjen drugim  $\beta$  stabilizirajućim elementom, gvožđem ili niobijumom, koji su mnogo sigurniji za primenu u živim organizmima. Naročito su u upotrebi Ti-5Al-2.5Fe i Ti-Al-7Nb legure, koje spadaju u titanijumove legure  $\alpha+\beta$  tipa. Na sličnom konceptu razvijene su i druge biomedicinske legure  $\alpha+\beta$  tipa, kao što su Ti-6Al-6Nb-1Ta i Ti-6Al-2Nb-1Ta. Zatim su u praksu uvedene i titanijumove legure  $\alpha+\beta$  tipa koje ne sadrže ni V ni Al, a koje sadrže Zr ili Sn.

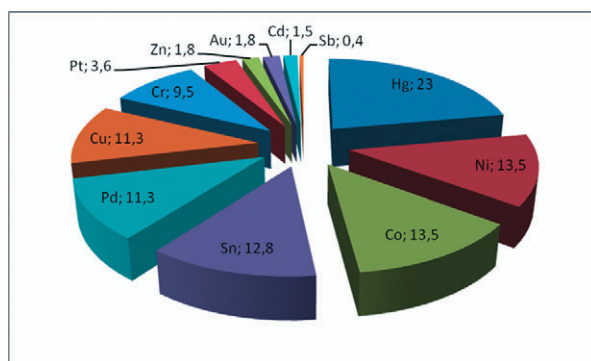
Kao što je ranije već napomenuto, modul elastičnosti implantata trebalo bi da bude što je moguće bliži modulu elastičnosti kosti, da ne bi došlo do atrofije kostiju. Modul elastičnosti titanijumove legure  $\alpha+\beta$  tipa Ti-6Al-4V mnogo je manji od modula elastičnosti nerđajućih čelika i Co legura. Međutim, modul elastičnosti je i dalje mnogostruko veći od modula elastičnosti kortikalne kosti.

Modul elastičnosti titanijumovih legura  $\beta$  tipa znatno je manji od modula elastičnosti titanijumovih legura  $\alpha$ , kao i  $\alpha+\beta$  tipa, što je i glavni razlog njihovog masovnijeg korišćenja. Od pomenutih legura, u ASTM su registrovane legure Ti-13Nb-13Zr i Ti-12Mo-6Zr-2Fe. Najnovije biokompatibilne titanijumove legure sadrže veliki procenat Ta i Nb, čija je tačka topljenja i specifična težina mnogo veća od titanijuma, što uslovljava razvoj novih tehnologija livenja i kovanja ovih legura.

U principu, legirajući elementi moraju da budu netoksični. S druge strane, alergije na metale takođe predstavljaju značajan problem. Primeira radi, u Evropi, oko 20% osoba ženskog pola i 4% osoba muškog pola imaju problem sa alergijama na nikel. Ono što je takođe evidentno jeste da se ovaj procenat povećava iz godine u godinu. Alergije na metale pro-uzrokovane su otpuštanjem metalnih jona kroz telesne tečnosti. Procenat alergija na pojedine metale prikazan je na slici 3 [16].

Kada su u pitanju Ti legure, Nb, Ta i Zr su najpovoljniji biokompatibilni legirajući elementi. Legura koja ima sposobnost da memoriše oblik, Ti-Ni, često je korišćena u prošlosti, ali se zbog velikog sadržaja Ni u poslednje vreme ređe koristi.

Cena obrade titanijumovih legura je veoma visoka. Ukoliko se ove legure dobijaju metalurgijom praha, cena se znatno smanjuje. Ova tehnologija ima prednost i nad livenjem u kalupima. Da bi se izbegla porozna struktura sinte-rovane legure, koristi se postupak izostatičkog presovanja u toplom stanju.

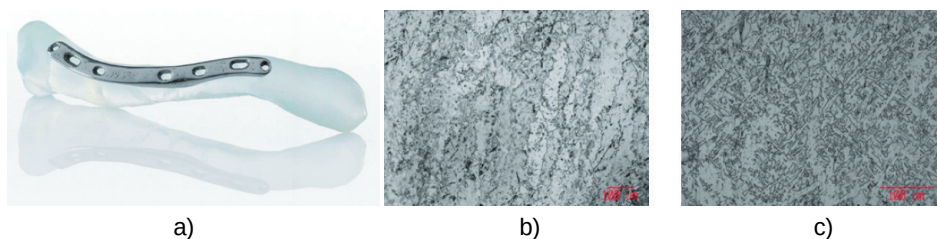


Slika 3 – Alergije na pojedine metale, u procentima  
Figure 3 – Allergies to some metals, in percentage terms

### Čist titanijum

Kao što je već napomenuto, glavne prednosti titanijuma nad ostalim materijalima koji se koriste u medicini jesu velika čvrstoća u kombinaciji sa malom specifičnom težinom, dobrom otpornošću na koroziju itd. Čist komercijalni titanijum dostupan je u četiri klase: 1, 2, 3 i 4, koje se koriste u zavisnosti od toga da li su prioritetni zahtevi usmereni ka čvrstoći, plastičnosti ili otpornosti na koroziju. Klasa 1 poseduje najveću plastičnost, dok su odlike klase 4 najveća čvrstoća i umerena deformabilnost. Titanijum klase 2 ima veću čvrstoću od klase 1, uz istovremeno odličnu otpornost na koroziju. Spada u biokompatibilne materijale koji se veoma često koriste u slučajevima gde je potrebno ostvariti direktni kontakt između implantata i čvrstog tkiva, odnosno kosti.

Ovaj materijal najčešće se dobija metalurgijom praha, pri čemu se veličina čestica kreće u granicama 45-100  $\mu\text{m}$ . Nakon toga se najčešće koristi neki od termičkih postupaka, kao što je izostatičko presovanje u toplom stanju. Obradljivost ovog materijala je veoma dobra i to pri sledećem režimu obrade: niska brzina rezanja, velika vrednost koraka rezanja, umerena količina sredstva za hlađenje i podmazivanje, oštar alat, velika krutost obradnog sistema. Delovi izrađeni od titanijuma klase 2 dobro se spajaju zavarivanjem, mada se tokom procesa mora voditi računa o njihovoj velikoj hemijskoj aktivnosti.



*Slika 4*

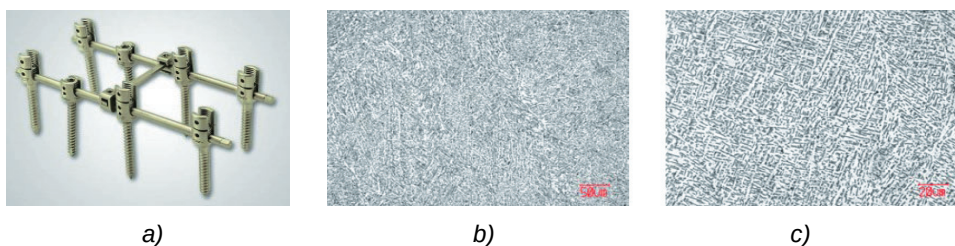
a) Fiksacijska pločica od čistog titanijuma Klase 2; b) Mikrostruktura čistog titanijuma Klase 2, uvećanje 100x; c) Mikrostruktura čistog titanijuma Klase 2, uvećanje 200x

*Figure 4*

a) Pure titanium Grade 2 fixation plate; b) Pure titanium Grade 2 microstructure, enlarged 100x; c) Pure titanium Grade 2 microstructure, enlarged 200x

### *Titanijumova legura Ti-6Al-4V*

Ti-6Al-4V je najviše korišćena titanijumova legura, kako u medicini, tako i u drugim oblastima (vazduhoplovstvo, auto-industrija, brodogradnja i sl.), naročito u slučajevima kada je potrebno obezbediti veliku čvrstoću uz istovremeno malu težinu.



*Slika 5*

a) Fiksacija za kičmu od titanijumove legure Ti-6Al-4V; b) Mikrostruktura Ti-6Al-4V, uvećanje 200x; c) Mikrostruktura Ti-6Al-4V, uvećanje 500x

*Figure 5*

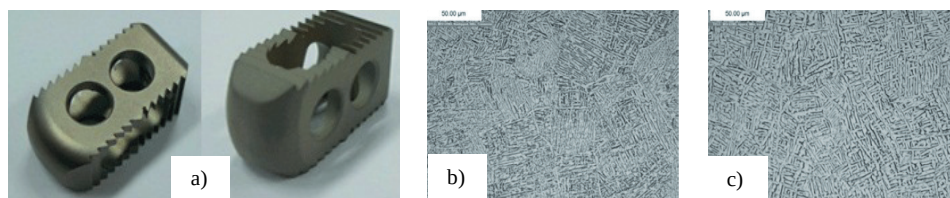
a) Titanium alloy Ti-6Al-4V spine fixation; b) Ti-6Al-4V microstructure, enlarged 200x; c) Ti-6Al-4V microstructure, enlarged 500x

Ovaj materijal pokazuje odličnu biokompatibilnost. U medicini su implantati i proteze od ovog materijala veoma česti. I ova legura dobija se metalurgijom praha, uz prateći termički postupak, npr. izostatičko presovanje u toplom stanju. Kao i čist titanijum i ova legura ima dobru obradljivost (za iste preporučene režime), kao i dobre karakteristike za varivanje.



### *Titanijumova legura Ti-6Al-4V ELI (Ti64 Extra Low Interstitial)*

Ova titanijumova legura je veoma slična leguri Ti-6Al-4V, sa tom razlikom što sadrži manji procenat kiseonika, azota, ugljenika i gvožđa. Ovakav sastav legure obezbeđuje bolju kovnost i bolju čvrstoću. Veoma je često korišćena legura za izradu implantata (naročito u stomatologiji). Ima izuzetno povoljne mehaničke karakteristike i veću mehaničku čvrstoću od komercijalno čistog titanijuma. Kao što je već napomenuto, novija ispitivanja ukazuju na nepovoljni uticaj aluminijuma i vanadijuma na razvoj Alchajmerove bolesti, neuropatiju itd. [17]. Takođe, prilikom međusobnog kontakta više metalnih elemenata, elementi bazirani na titanijumu pokazuju znatno habanje. To je i razlog zašto se ovi implantati koriste tamo gde otpornost na habanje nije od primarnog značaja [18].



*Slika 6*

- a) Fiksacija za kičmu od titanijumove legure Ti-6Al-4V ELI
- b) Mikrostruktura Ti-6Al-4V ELI, uvećanje 500x
- c) Mikrostruktura Ti-6Al-4V ELI, nakon termičke obrade, uvećanje 500x

*Figure 6*

- a) Titanium alloy Ti-6Al-4V ELI spine fixation
- b) Ti-6Al-4V ELI microstructure, enlarged 500x
- c) Ti-6Al-4V ELI microstructure, after heat treatment, enlarged 500x

## Zaključak

Metali i legure se veoma uspešno koriste u biomedicini za unutrašnju fiksaciju kostiju. Pored svojih dobrih osobina, koje se ogledaju u velikoj čvrstoći, žilavosti i otpornosti na habanje, metalni biomaterijali imaju i svoje nedostatke: nizak stepen biokompatibilnosti, podložnost koroziji, veliku gustinu i oslobađanje metalnih jona koji potencijalno izazivaju alergijske reakcije tkiva. Ono što je takođe evidentno jeste i činjenica da isuviše velika čvrstoća metala (u poređenju sa živim tkivom) može dovesti do pojave tzv. atrofije kostiju. U svakom slučaju, dobro izvedena operacija mora da obezbedi željeno biomehaničko ponašanje sa jedne strane, ali ne sme da dovede do dodatne traume tkiva niti otežanog krvotoka u predelu aplikacije. Treba uvek imati na umu činjenicu da su implantati u najvećem broju slučajeva samo privremeno prisutni, i da se nakon ozdravljenja po pravilu uklanjaju iz organizma.



## Literatura

- [1] Ramakrishna, S., Mayer, J., Wintermantel, E., Leong, K., *Biomedical applications of polymer-composite materials: a review*, Composites Science and Technology, 61/9, 2001., str. 1189-1224.
- [2] Black, J., *Biological Performance of Materials: Fundamentals of Biocompatibility*, New York: Marcel Dekker, 1992.
- [3] Black, J., Hastings, G., *Handbook of Biomaterial Properties*, London UK: Chapman and Hall, 1998.
- [4] Wintermantel, E., Mayer, J., Blum, J., Eckert, K., Lüscher, P., Mathey, M., *Tissue engineering scaffolds using superstructures*, Biomaterials, 17/2, 1996., str. 83-91.
- [5] Hench, L., *Bioceramics: From Concept to Clinic*, Journal of the American Ceramic Society, 74/7, 1991., str. 1487–1510.
- [6] Geringer, J., Forest, B., Combrade, P., *Fretting-corrosion of materials used as orthopaedic implants*, Wear, 259, 2005., str. 943–951.
- [7] Ryan, G., Pandit, A., Apatsidis, D., *Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications*, Biomaterials, 27, 2006., str. 2651–2670.
- [8] Bougherara, H., Zdero, R., Dubov, A., Shah, S., Khurshid, S., Schemitsch, E., *A preliminary biomechanical study of a novel carbon-fibre hip implant versus standard metallic hip implants*, Medical Engineering & Physics, 33, 2011., str. 121–128.
- [9] Ribeiro, C., Severino, N., Cury, R., Oliveira, V., Avakian, R., Ayhara, T., Camargo, O., *A new fixation material for open-wedge tibial osteotomy for genu varum*, The Knee, 16, 2009., str. 366–370.
- [10] Moroni, A., Hoang-Kim, A., Lio, V., Giannini, S., *Current Augmentation Fixation Techniques for the Osteoporotic Patient*, Scandinavian Journal of Surgery, 94, 2005., str. 103–109.
- [11] Hoepfner, D., Chandrasekaran, V., *Fretting in orthopedic implants: a review*, Wear, 173, 1994., str. 189-197.
- [12] Mitković, M., Milenković, S., Micić, I., Mladenović, D., Mitkovic, M., *Results of the femur fractures treated with the new selfdynamisable internal fixator (SIF)*, Eur. J. Trauma. Emerg. Surg., DOI 10.1007/s00068-011-0157-7.
- [13] Nasab, M., Hassan, M., *Metallic Biomaterials of Knee and Hip - A Review*, Trends in Biomaterials & Artificial Organs, 24/1, 2010., str. 69-82.
- [14] Ohmori, H., Katahira, K., Akinou, Y., Komotori, J., Mizutani, M., *Investigation on Grinding Characteristics and Surface-Modifying Effects of Biocompatible Co-Cr Alloy*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 55/1, 2006., str. 597-600.
- [15] Elias, C. Lima, J., Valiev, R., Meyers, M., *Biomedical Applications of Titanium and its alloys*, JOM, 60/3, 2008., str. 46-50.
- [16] Niinomi, M., *Recent metallic materials for biomedical applications*, Metallurgical and Materials Transactions A, 33/3, 2002., str. 477-486.
- [17] Navarro, M., Michiardi, A., Castano O., and Planell, J., *Biomaterials in orthopaedics*, Journal of the Royal Society Interface 5, 2008., str. 1137–1158.
- [18] Nag, S. Samuel, S. Puthucode, A., Banerjee, R., *Characterization of Novel Borides in Ti-Nb-Zr-Ta + 2B Metal-matrix Composites*, Materials Characterization, 60/2, 2009., str. 106-113.

## METALS AND ALLOYS IN THE FUNCTION OF BIOMATERIALS

FIELD: Materials

ARTICLE TYPE: Review Paper

*Summary*

*Biomaterials are natural or synthetic materials, used for guidance, maintaining or replacing the function of the human body's live tissues. Metal biomaterials are mainly used for replacing broken or damaged hard tissues such as bones, because of their high strength, toughness and corrosion resistance. The most frequently used metals are stainless steels, cobalt based alloys as well as titanium and its alloys. A review of the metals and alloys mostly used in biomedicine are presented in this paper.*

*Introduction*

*Materials which have biocompatibility are called biomaterials, while biocompatibility is a descriptive term, determining the ability of the material to act in the appropriate way in the body where it is applied. Biomaterials must have adequate characteristics, even in very hard working environment, such as the human body. Clinical experiences show that not all engineering materials are convenient for the use as biomaterials. The most frequently used materials in biomedicine can be grouped as follows: a) metals, b) ceramic materials, c) polymers and d) composite materials made as a combination of a), b) and c).*

*Metallic biomaterials*

*Metals are known as materials with high strength, stiffness and good wear resistance. The drawbacks of metals are a low level of biocompatibility, corrosion liability, a big mismatch of the elastic modulus between metals and human tissues, high density and release of metal ions which potentially cause allergic reactions of the tissues.*

*Stainless steels*

*Stainless steels comprise a big group of various steels with a good corrosion resistance due to high chrome percentage. Chrome has a big oxygen affinity, which results in the creation of a thin, passive, adhesive and very stiff film of the chrome oxide on the material surface on the molecular level. These steels are used for various applications in medicine due to their wide availability, low cost, good mechanical properties and good biocompatibility.*

*Cobalt based alloys*

*Co-Cr alloys are very frequently used materials in biomedicine. They have a higher level of wear resistance than stainless steels and titanium alloys. This is the reason why they are used for artificial knees, especially the head of the prosthesis. There are essentially two big groups of Co-Cr alloys: the first one is usually used to cast a product, while the second one is usually wrought by hot forging.*

## Titanium and its alloys

*Titanium and its alloys are the most widely used materials for biomedical use. They are mostly used for the reparation of the hard tissue, such as artificial hips and knees, fixation screws, pacemakers, artificial hearts, etc. The main physical characteristics of titanium are a low level of electro conductivity, high corrosion resistance and low tendency of releasing ions in liquid environment.*

### Pure titanium

*Pure commercial titanium is available in four grades: 1, 2, 3 and 4, which are used depending on the primary request: strength, ductility or corrosion resistance. Grade 1 possesses the highest formability, while grade 4 has the highest strength and moderate formability. Grade 2 titanium has higher strength than grade 1, together with excellent corrosion resistance. It is often used in the cases where there is a need for direct contact between the implant and the hard tissue i.e. bone.*

### Titanium alloy Ti-6Al-4V

*Ti-6Al-4V is the most frequently used titanium alloy in medicine, as well as other areas (aerospace, automotive and marine industry), especially where high strength and low weight of the product are needed.*

### Titanium alloy Ti-6Al-4V ELI (Ti64 Extra Low Interstitial)

*This titanium alloy is very similar to the former mentioned Ti-6Al-4V alloy, with lower percentage of oxygen, nitrogen, carbon and iron. This structure provides better ductility and strength. It is very often used for implants (especially in dentistry).*

### Conclusion

*Metals and alloys are used in biomedicine very successfully, replacing the functions of living tissues, primarily bones. Besides their good properties, e.g. high strength, ductility and wear resistance, metal biomaterials have drawbacks such as a low level of biocompatibility, corrosion vulnerability and release of metal ions which potentially cause allergic reactions.*

*Key words: biomaterials, biocompatibility, metal implants and fixators*

Datum prijema članka: 07. 12. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 12. 01. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 14. 01. 2012.

# ZAKRIVLJENOST ZEMLJINE POVRŠI I VIDLJIVOST IZMEĐU DVA POLOŽAJA

Borisov A. Mirko, Banković D. Radoje,  
Vojska Srbije, Vojnogeografski institut, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202216B

OBLAST: geonauke, geomatika

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

## Sažetak:

*U radu se analizira zakrivljenost Zemljine površi sa više aspekata i vidljivost između dve tačke položaja. Opisuje se na koji način i koliki se deo Zemljine površi može aproksimirati u ravni u zavisnosti od grafičke tačnosti i razmere topografskih karata. Takođe, razmatra se mogućnost vidljivosti između dva položaja na Zemljinoj površi u zavisnosti od reljefnih oblika i zakrivljenosti Zemljine površi, kako klasičnim metodama, tako i primenom sofisticiranih rešenja.*

Ključne reči: Zemljina površ, zakrivljenost, elipsoid, lopta, ravan, dogledanje.

## Uvod

**K**arta je poseban oblik predstavljanja Zemljine površi, tj. objektivne stvarnosti koja nas okružuje. Izraz „karta“ upotrebljava se u današnjem smislu od XV veka (Portugalija). U XIV veku javlja se izraz „mapa“ (od lat. *mappa mundi*), koji se kod nas i u većem delu Evrope zadržao sve do danas. Koriste ga i Englezi (map) za sve karte sem pomorskih i vazduhoplovnih za koje imaju poseban izraz (chart).

Geografski elementi su osnovni i najvažniji geografski sadržaj karata (opštegeografskih ili topografskih). Na topografskim kartama (TK) geografski elementi su zastupljeni u celini. Taj princip je primenjen i na TK izdanja Vojnogeografskog instituta (VGI).

Reljef je jedan od najznačajnijih geografskih elemenata koji se prikazuje na kartama. Realno, on se najsporije i najmanje menja (ako se izuzmu površinski kopovi, prostor eksploatacije kamena, vulkanske erupcije, ...). Od njega umnogome zavise najznačajnija svojstva određenog prostora, kao što su: klima, karakteristike hidrografije, pedološki i vegetacioni pokrivač, raspored naselja, komunikacije, poljoprivreda i industrija.

Posmatrano sa vojnog aspekta, reljef ima multinamensku ulogu (u izradi zaklona, maskiranju, zaprečavanju), utiče na borbeni raspored, određuje tenkoprohodnost, a i pruža velike mogućnosti za preciznu orijentaciju u geoprostoru.

## Prikaz Zemljine površi na topografskim kartama

Odavno postoji težnja da se pri kartiranju Zemljine površi na konvencionalnim (papirnim) podlogama prikaže i treća dimenzija. Površ Zemlje odlikuje se raznim uzvišenjima, od brežuljaka do visokih planina, zatim nizijama u koje spadaju rečne doline i kotline. Ovi reljefni oblici (uzvišenja, udubljenja i ravnice) na kopnu, raznih oblika i dimenzija, predstavljaju različite oblike vertikalne raščlanjenosti Zemljine površi koju nazivamo reljefom, a sama uzvišenja i udubljenja elementima reljefa [9,10, 11, 12].

Neophodnost prikaza navedenih prostornih oblika na ravnom listu hartije čini da je predstavljanje reljefa na kartama znatno teže nego prikaz ma kog drugog geografskog elementa. Prikaz reljefa treba da obezbedi stvaranje realnog prirodnog prostornog utiska (o oblicima neravnina, o rasporedu pojedinih oblika i njihovim vezama, o karakteru i stepenu raščlanjenosti površine i mogućnost kvantitativne ocene reljefa), ali i da se sa karte mogu odrediti horizontalne konture oblika reljefa i položajne koordinate svake tačke, apsolutne i relativne visine svih tačaka reljefa, pravac i strmina nagiba na svakoj tački.

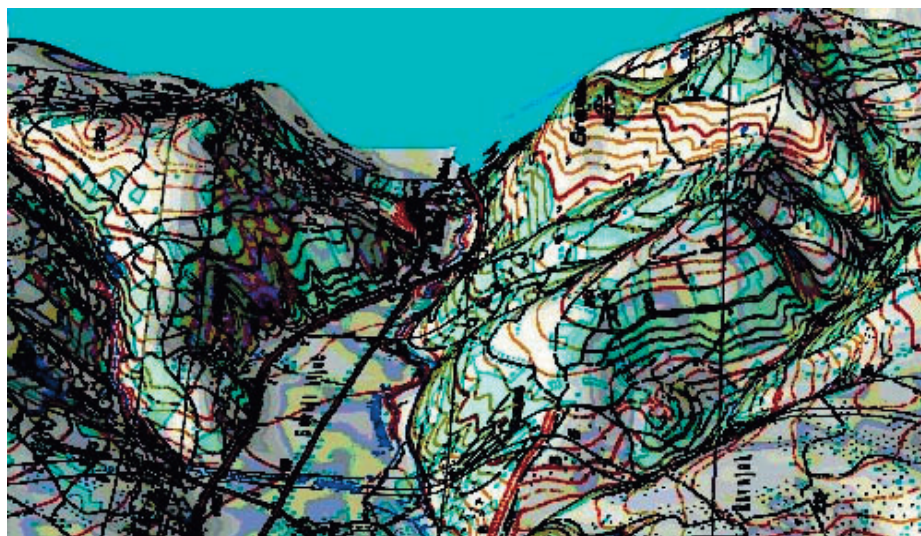
Za predstavljanje reljefa na kartama primenjuju se različite metode, što kod drugih elemenata geografskog sadržaja nije slučaj. Treća dimenzija je, sa različitim uspehom, prikazivana senkama, šrafurama, preko višebojne hipsometrijske skale, konstrukcijom izohipsi (glavnih, osnovnih i pomoćnih), pokušajima da se iskoristi perspektivni pogled, ispisivanjem kota i bročanih oznaka za visine izohipsi i slično.

Pri izradi topografskih karata u VGI najčešće je primenjivana metoda prikaza izohipsama i kotama (slika 1), a visinska predstava odnosila se na ortometrijske visine, tj. na visine iznad površi geoida. Na TK izdanja VGI visinska predstava se odnosi na srednji nivo Jadranskog mora u odnosu na mareograf koji se nalazi u Baru.

Neophodnost prikaza treće dimenzije ogleda se i u činjenici da stručnjaci VGI, pored prikaza reljefa na ravnim kartama, izrađuju i reljefne karte različitih razmera (1:1500000, 1:1000000, 1:750000, 1:500000, 1:300000...). Urađeni su reljefni modeli za pojedine vojne poligone, kao što su: Kopaonik, Manjača, Krivolak i drugi.



Slika 1 – Prikaz reljefa na TK  
Figure 1 – Design of the relief on a topographic map



Slika 2 – Izgled reljefne karte  
Figure 1 – Relief map



Za izradu reljefnih karata korišćene su specifične tehnološke procedure i oprema (pantograf, kreiranje reljefnih modela od gipsa, štampanje na plastiku, vakumisanje odštampanih plastičnih predložaka), koju u Srbiji poseduje jedino VGI (slika 2). U toku je proces modernizacije tehnološkog procesa, odnosno nabavke nove digitalne tehnološke celine, koju čine CNC (*Computer Numeric Controled*) mašina sa računarom.

## Površ Zemlje i njena zakrivljenost

Fizička površ Zemlje je zakrivljena i veoma nepravilna, pa se ne može koristiti direktno za računске i inženjerske svrhe. Radi lakše i praktične upotrebe neophodno je Zemlju aproksimirati na površ pravilnog geometrijskog tela. Prvo približenje za takvo telo, koje se primenjuje u matematičkoj kartografiji, jeste Zemljina lopta, a drugo koje kvalitetnije aproksimuje Zemlju jeste obrtni Zemljin elipsoid.

U matematičkoj kartografiji i geodeziji definisani su zakoni preslikavanja fizičke površi Zemlje na krivu površ Zemljinog elipsoida ili lopte, odnosno na ravan ili na druge površi koje se mogu razviti u ravan (cilindar, konus). Uslov da se jedna površ može razviti na drugu matematički se izražava jednakošću njihovih punih ili tzv. Gausovih zakrivljenosti:  $K_1=K_2$ , pri čemu su  $K_1$  i  $K_2$  pune zakrivljenosti prve i druge površi u korespondentnim tačkama. Punu (Gausovu) zakrivljenost površi, u nekoj tački, definiše jednačina:

$$K = \frac{1}{\rho_1 \rho_2} \quad (1)$$

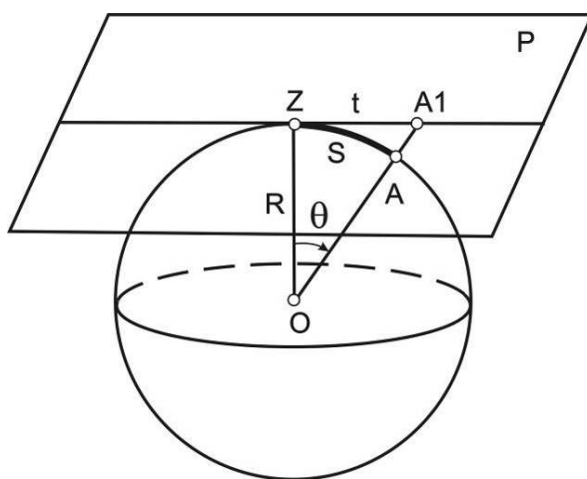
gde su:  $\rho_1$  i  $\rho_2$  – najveća i najmanja vrednost radijusa zakrivljenosti u istoj tački.

Gausova zakrivljenost elipsoida  $K_e$  je promenljiva veličina i zavisi od geografske širine ( $\varphi$ ) tačke na koju se odnosi. Gausova zakrivljenost lopte  $K_l$  je konstantna veličina. Zbog bliskosti Gausovih zakrivljenosti elipsoida i lopte jasno je da će deformacije pri njihovom preslikavanju na ravan biti znatno veće od onih koje nastaju kada se elipsoid preslikava na loptu.

Međutim, često je potrebno znati koji se deo elipsoidne (sferoidne) površi može smatrati sfernom ili do koje granice se elipsoidna i sferna površ mogu smatrati ravnom. Ako su ovi odnosi poznati, mogu se utvrditi odgovarajući tolerantni iznosi razlika i precizirati način korišćenja podataka preuzetih sa TK i tome slično. Pored zakrivljenosti, pri posmatranju položaja i dogledanja tačaka treba imati u vidu i topografiju Zemljine površi, odnosno njene geomorfološke oblike, infrastrukturne objekte, šume i drugo.

## Deo Zemljine površi koji se može aproksimirati kao ravan

Matematički uzimajući, ni najmanji deo Zemljine površi ne može se tretirati kao ravan. Ipak, imajući u vidu razmer i greške grafičkih prikaza, odnosno dozvoljenu geometrijsku tačnost TK, može se u praksi izvestan deo Zemljine površi uzeti kao ravan. Odgovor na pitanje koliki se deo Zemljine površi u tom smislu može tretirati kao ravan, može se dobiti na osnovu sledećih razmatranja (slika 3).



Slika 3 – Zemljina lopta i dodirna ravan

Figure 3 – The Earth's sphere and the contact plane

Naime, neka je na slici 3 prikazana Zemljina lopta radijusa  $R$ , u čijoj tački  $Z$  je postavljena dodirna ravan  $P$ . Ako se spojnica ( $OA$ ), proizvoljne tačke  $A$  na površi lopte i centra  $O$ , produži do preseka sa ravni, dobija se tačka  $A_1$ , koja predstavlja projekciju tačke  $A$  na ravan. Slično tome, tangenta  $t=ZA_1$  predstavlja projekciju loptinog luka  $S = ZA$ . Iznos razlike [9]:

$$\Delta S = S - t \quad (2)$$

omogućava da se odgovori na prethodno pitanje, jer se, uopšte govoreći, loptin luk može zamenjivati odgovarajućom tangentom sve dok je njihova razlika manja od granične tačnosti crtanja, odnosno od odgovarajuće grafičke tačnosti razmera karte. Loptinom luku  $S$  odgovara centralni ugao  $\theta$ . Tada je, iz pravouglog trougla  $ZOA_1$ :

$$t = R \operatorname{tg} \theta$$



Imajući u vidu da je  $\theta$  u principu mali ugao ( $\approx 1^\circ$ ), može se razviti  $\operatorname{tg}\theta$  u red tako da zanemarujući članove reda veće od trećeg stepena, isti glasi:

$$t = R \left( \theta + \frac{\theta^3}{3} \right)$$

Pri tome se za luk  $S$  može pisati:

$$S = R\theta$$

pa će jednačina (2) u tom slučaju poprimiti sledeći oblik:

$$\Delta S = R \operatorname{tg}\theta - R\theta = R \frac{\theta^3}{3}$$

Takođe, imajući u vidu da je  $\theta = \frac{S}{R}$  imamo:

$$\Delta S = R \frac{S^3}{3R^3} = \frac{S^3}{3R^2},$$

odakle je konačno:

$$S = \sqrt[3]{3R^2\Delta S} \quad (3)$$

Međutim, ako se u jednačini (3) veličina  $\Delta S$  zameni odgovarajućom brojčanom vrednošću tačnosti, dobićemo odgovor na prethodno pitanje.

Na primer, ako je granična grafička tačnost 0,1 mm, onda je tačnost razmera topografskih karata: 1: 25000 (2,5 m), 1: 50000 (5 m) ili 1:100000 (10 m). Zamenom odgovarajuće veličine  $\Delta S$  u jednačini (3), dobija se vrednost za  $S$  respektivno: 1: 25000 ( $S = 65$  km), 1: 50 000 ( $S = 85$  km) ili 1:100000 ( $S = 105$  km).

Time dobijenim graničnim iznosima vrednost  $S$  u pojedinim razmera topografskih karata, određuje se deo površi Zemljine lopte, a zbog male razlike i površi Zemljinog elipsoida, koji se pri kartografskim radovima može smatrati za ravan. Pri tome, vrednost  $S$  ima značenje maksimalnog radijalnog udaljenja od središne tačke  $Z$ , teritorije koja se kartografiše.

### *Vidljivost između dva položaja na Zemljinoj površi*

U praksi je često potrebno utvrditi vidljivost između položaja dve tačke na Zemljinoj površi. Na primer, tematska karta vidljivosti upravo omogućava da se prikažu područja koja se iz određene tačke posmatranja vide, a koja ne. Takve su karte nužne, npr. pri izboru mesta za izgradnju televizijskih odašiljača i repetitora. Pri ručnoj izradi takvih karata nužno je nacrtati profile, pri čemu se visine u pojedinim tačkama dobijaju interpola-

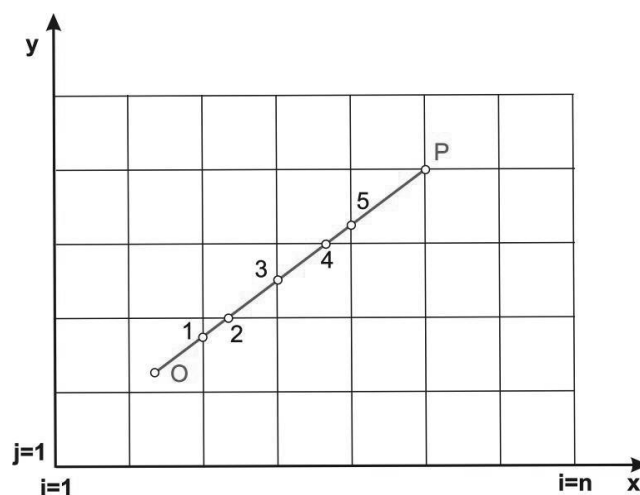
cijom sa karte na kojoj je reljef prikazan izohipsama. Na svakom profilu delovi koji se iz zadate tačke ne vide, određuju se grafički.

Ti se delovi zatim prenesu na kartu. Delovi koji se vide izvlače se punom linijom. Na delovima koji se ne vide linija se prekida. To je vrlo mukotrpan i dugotrajan posao. Tačnost rezultata zavisi od razmera karte, ekvidistanciji izohipsi i njihovoj tačnosti, gustini profila i tačnosti njihove izrade, ali i od edukacije osobe koja očitava visine s karte.

### *Uticaj reljefnosti Zemljine površi na vidljivost između dve tačke*

Za razliku od TK, izrada reljefnih karata ima veću praktičnu upotrebu pri utvrđivanju optičke vidljivosti i dogledanja. Izrada karte vidljivosti može se znatno ubrzati ako raspolažemo digitalnim modelom reljefa (DMR) i odgovarajućim tehnologijama. Novim tehnologijama može se odrediti vidljivost svake tačke DMR iz zadate tačke posmatranja. Svaka vidljiva tačka označava se sa 1, a nevidljiva sa 0. Tako nastaje datoteka spremna za dalju analitičku i grafičku obradu, odnosno vizualizaciju geoprostora.

Neka je  $O$  (slika 4) tačka posmatranja čije su koordinate  $x_0, y_0$  i visina  $h_0$  zadate. Treba odrediti da li je tačka DMR označena sa  $P$  vidljiva iz tačke  $O$ . Koordinate tačke  $P$  lako je izračunati, jer je razmak između redova ( $\Delta y$ ) i razmak između kolona ( $\Delta x$ ) poznat. Presekom pravca kroz tačke  $O$  i  $P$  s pravcima paralelnim sa osama  $x$  i  $y$  dobijaju se koordinate međutačaka od 1 do 5. Visine tih tačaka dobiju se interpolacijom između susednih tačaka DMR.

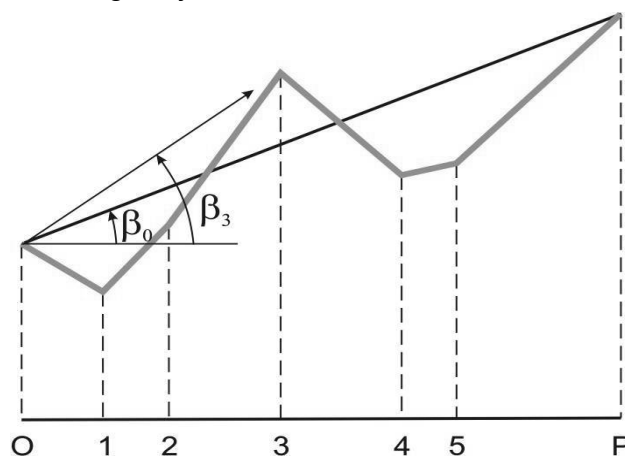


Slika 4 – Određivanje međutačaka između  $O$  i  $P$   
Figure 4 – Determination of the points between  $O$  and  $P$

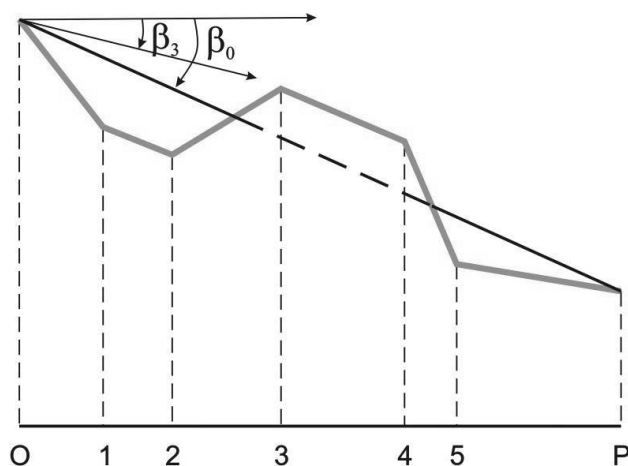
U daljem postupku proverava se da li su visine svih međutačaka manje od visina  $O$  i  $P$ . Ako jesu, vidljivost između tačaka  $O$  i  $P$  postoji. Međutim, ako je visina bar jedne tačke veća od visina  $O$  i  $P$ , vidljivost ne postoji. Takođe, ako nijedan od ta dva uslova nije ispunjen, računa se tangens ugla  $\beta_0$  od tačke  $O$  na tačku  $P$  (slika 5).

$$\tan \beta_0 = \frac{h_p - h_0}{\sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2}} \quad (4)$$

Pri tom, ako je tangens ugla prema bilo kojoj međutački veći od  $\tan \beta_0$ , tačke  $O$  i  $P$  se ne dogledaju.



Slika 5 – Vidljivost tačaka  $O$  i  $P$  ako je  $h_0 < h_p$   
Figure 5 – Visibility of the points  $O$  and  $P$  if  $h_0 < h_p$

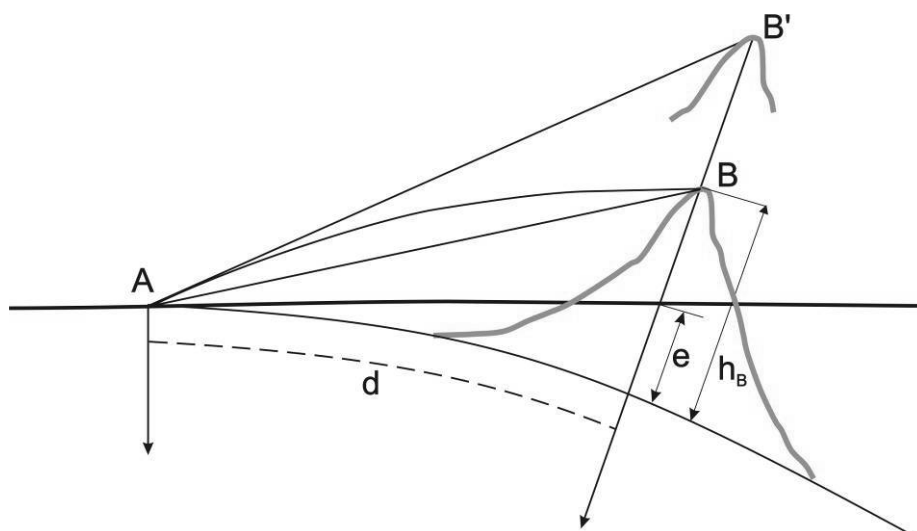


Slika 6 – Vidljivost tačaka  $O$  i  $P$  ako je  $h_0 > h_p$   
Figure 6 – Visibility of the points  $O$  and  $P$  if  $h_0 > h_p$

Na slici 6 prikazan je slučaj gde tačka  $O$  ima veću visinu od tačke  $P$ . U ovom slučaju postoji nedogledanje među njima, ako je tangens bilo koje međutačke manji od  $\tan \beta_0$ .

### *Uticaj zakrivljenosti Zemljine površi na vidljivost između dve tačke*

Prethodna razmatranja vrede za relativno kratke udaljenosti. Međutim, za veće udaljenosti treba uzeti u obzir uticaj zakrivljenosti Zemlje, kao i uticaj refrakcije. Naime, na velikim udaljenostima pravi horizont je ispod prividnog, čak nekoliko kilometara. Na primer, ako iz tačke  $A$  posmatramo tačku  $B$  (slika 7) deo visine  $h_B$  je ispod horizonta.



Slika 7 – Uticaj zakrivljenosti Zemlje i refrakcije na vidljivost tačke B  
Figure 7 – Impact of the Earth's curvature and refraction to the visibility of the point B

Taj deo ispod horizonta označen je sa  $e$ , a njegova približna vrednost računa se po formuli [7, 8]:

$$e = \frac{d^2}{2R} \quad (5)$$

gde je  $d$  – udaljenost merenja po luku od tačke  $A$  do tačke  $B$  i  $R$  – radijus Zemlje. Tako se, na primer, prema dimenzijama Beselovog elipsoida dobijaju vrednosti pravog horizonta ispod prividnog (veličina –  $e$ ), za određene udaljenosti  $d$  (tabela 1).

Tabela 1  
Table 1

Prikaz odnosa udaljenosti, visine prividnog horizonta i pomaka izazvanog refrakcijom (KiG, 2010)  
Relation of the distance, height of the visible horizon and the shift due to refraction (KiG, 2010)

| Udaljenost<br>$d$ (km) | Visina prividnog horizonta<br>$e$ (m) | Pomak izazvan refrakcijom $r$ ,<br>tj. visinsko rastojanje $BB'$ (m) |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 150                    | 1766                                  | 230                                                                  |
| 170                    | 2268                                  | 295                                                                  |
| 190                    | 2834                                  | 368                                                                  |
| 200                    | 3140                                  | 408                                                                  |
| 220                    | 3799                                  | 494                                                                  |
| 240                    | 4521                                  | 588                                                                  |

Međutim, svetlost se ne kreće u atmosferi pravolinijski, već po refrakcijskoj krivoj koja se može aproksimirati delom kružnice, konkavno okrenute prema dole, tj. ka Zemlji. Uticaj refrakcije  $r$ , odnosno visinskog pomaka  $BB'$ , zbog nepravolinijskog kretanja svetlosnog zraka kroz atmosferu, računa se po formuli:

$$r = k \frac{d^2}{2R} \quad (6)$$

Za vrednost koeficijenta refrakcije  $k$  obično se uzima vrednost  $k = 0,13$ . Uzevši u obzir uticaj zakrivljenosti Zemlje i refrakcije dobije se:

$$h_B' = h_B - e + r \quad (7)$$

odnosno:

$$h_B' = h_B - 0,87 \frac{d^2}{2R}$$

gde je:  $h_B'$  – vrednost  $h_B$  iznad horizonta, ali popravljena za vrednost refrakcije.

Budući da se radi o velikim daljinama treba voditi računa i o kvalitetno određenom radijusu Zemlje. Za manje tačne radove, tj. za praktične radove na relativno manjem području, deo Zemljine površi može se zameniti delom radijusa lopte, odnosno:  $R = \sqrt{MN}$ , gde su:  $M$  – srednji radijus zakrivljenosti po meridijanu i  $N$  – srednji radijus zakrivljenosti po prvom vertikal u središtu područja geodetskog posmatranja. Takođe, za manje tačne radove može se Zemlja na manjem području zameniti lopotom, čiji je radijus  $R$  jednak aritmetičkoj sredini tri poluose, odnosno:

$$R = \frac{a + a + b}{3},$$

gde su  $a$  i  $b$  velika i mala poluosa rotacijskog elipsoida Zemlje.

## Primena GIS tehnologije

Korišćenjem savremenih informacionih tehnologija, pre svega GIS, generisanje i 3D prikaz prostora zahteva i novi pristup. U VGI postoje znanja, kao i radovi iz oblasti primene novih tehnologija u modelovanju geoprostora koja traju već desetak godina.

Kada je u pitanju visinska predstava Zemljine površi, najčešće se koriste dva načina za organizaciju prostornih podataka:

- digitalni model visina (DMV), koji se odnosi na sistem visina u vidu rasporeda tačaka koji prekriva površ terena i
- digitalni model terena (DMT), koji pored visina tačaka uzima u obzir i reljefne odlike terena, odnosno posebne tačke, linije i površine [1].

### *Kreirani digitalni modeli terena*

U stranoj, ali i našoj stručnoj javnosti, postoji znatan broj naučno-stručnih radova u kojima su detaljno opisane teorijske osnove i tehnološki procesi kreiranja digitalnih modela.

Poslovi na polju formiranja digitalnog modela za teritoriju Srbije za podatke koje generiše VGI već su pri kraju (sada su u toku radovi na daljem poboljšanju i kontroli kvaliteta). Za kreiranje digitalnog modela terena korišćena je softverska platforma ArcGIS, američke firme ESRI. Modeli visinske predstave terena su u funkciji razmere, tj. zavise od rezolucije izvora podataka, od broja i pravilnog izbora tačaka, kao i načina i vernosti prikaza terena. U tabeli 2 prikazan je njihov pregled [2,3,4,5,6].

Tabela 2  
Table 2

Pregled kreiranih DMT u Vojnogeografskom institutu  
Overview of DRMs created by the MGI

| <i>Razmera</i><br><i>Odlike</i> | 1:25000                                                                             | 1:50000 | 1:300000 | 1:1000000 |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|-----------|
| Način prikupljanja podataka     | Digitalizacija reprodukcijских originala karata                                     |         |          |           |
| Model DMT                       | Izvorni DMT (izohipse 3D, rasute tačke), Izvedeni DMT (GRID, TIN)                   |         |          |           |
| Format podataka                 | Shape, DXF, ASCII datoteka (x, y, z), ArcGIS (mxd, mdb)                             |         |          |           |
| Elipsoid                        | Beselov elipsoid                                                                    |         |          |           |
| Koordinatni sistem              | Gaus – Krigerove koordinate i ortometrijske visine                                  |         |          |           |
| Način naručivanja               | Cela teritorija Srbije ili područje čiju veličinu zadaje naručilac (osim 1:50000)   |         |          |           |
| Distribucija podataka           | CD, DVD – ROM                                                                       |         |          |           |
| Autorska prava                  | Vojnogeografski institut reguliše prava raspolaganja i upotrebe podataka o prostoru |         |          |           |

Pregled ocene visinske tačnosti DMT dobijenog na osnovu podataka prikupljenih digitalizacijom kartografskih (reprodukcijских) originala, a kreiranjem sa različitih izvora podataka i različitom interpolacijom, dat je u tabeli 3 [2,3,4,5,6].

Tabela 3  
Table 3

Kvalitativan prikaz DMT za teritoriju Srbije  
Overview of the quality DMT for territory of Serbia

| Razmera   | Model DMT | Rezolucija<br>(u m) | Visinska tačnost |
|-----------|-----------|---------------------|------------------|
| 1:25000   | GRID      | 25 x 25             | 3m               |
| 1:50000   | GRID      | 50 x 50             | 5m               |
| 1:300000  | GRID      | 100 x 100           | 33m              |
| 1:1000000 | GRID      | 150 x 150           | 168m             |

### *Primena DMT za potrebe Vojske Srbije*

Kreirani digitalni modeli sa pratećim geoprostornim analizama u gotovo realnom vremenu, bez obzira na veličinu prostora koji se analizira, omogućuje uspešno planiranje i izvođenje borbenih dejstava (b/d). Kvalitetna geoprostorna analiza terena zavisi, pre svega, od kvaliteta prikupljenih podataka, od organizacije podataka u bazi i kvaliteta softvera koji omogućava analizu prikupljenih podataka.

U sistemu vojnog obrazovanja posebna pažnja se poklanja obuci starešina na svim nivoima školovanja iz oblasti vojne topografije, vojne geografije i GIS. U sistem obuke kadeta na Univerzitetu odbrane iz predmeta vojne topografije, pored standardne (klasične) obuke u korišćenju TK, primenjuju se nove GIS tehnologije u geoprostornoj analizi terena.

Pored kreiranja kvalitetnog DMT i obuke za njegovo korišćenje, neophodno je posedovanje kvalitetnog softverskog paketa za geoprostornu analizu. Softverski paketi koji su dostupni i primenjuju se u Vojski Srbije su ArcGIS, američke firme ESRI (u kojem su kreirani DM i edukuje se kadar u VA) i Univerzalna korisnička platforma (UKP).

Primer trodimenzionalnog prikaza terena u softverskom paketu ArcGIS [15] vidi se na slici 8.



Slika 8 – Trodimenzionalni prikaz terena  
Figure 8 – 3D display of the terrain

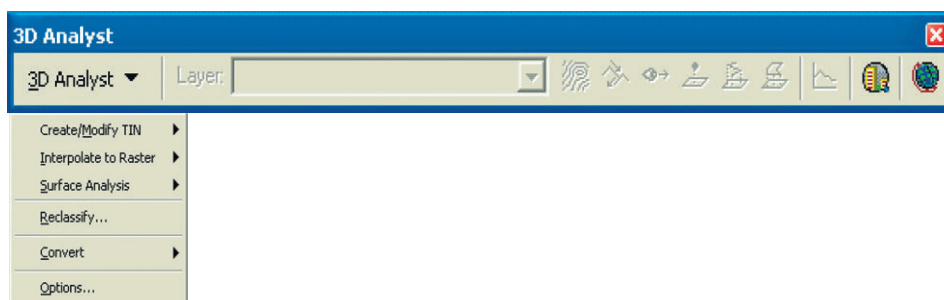
Značaj posedovanja DMT i njegova primena za potrebe oružanih snaga ogleda se u:

- vizuelizaciji prostora,
- analizi terena za potrebe obaveštajne pripreme bojišta,
- izradi perspektivnih prikaza terena,
- brzom određivanju visine bilo koje tačke na terenu,
- vidljivosti iz jedne tačke,
- utvrđivanju dogledanje između tačaka,
- uglovima nagiba terena,
- računanju i konstruisanju profila između tačaka,
- ekspoziciji terena,
- simulatorima letenja,
- korišćenju bespilotnih letelica i raketnih sistema,
- praćenju dinamike pojedinih pojava (npr. sagledavanju mogućeg područja zahvaćenog poplavom pri određenom vodostaju),
- efektima NHB (nuklearno-hemijsko-biološko) oruđa u zavisnosti od konfiguracije terena,
- formiranju hipsometrijske skale za potrebe analize strukture terena,
- određivanju dubine slojeva u geologiji,
- računanju kubatura zemljanih masa,
- određivanju geoida,
- određivanju optimalnog položaja antena (primopredajnika) za potrebe radio-relejnih uređaja i TV stanica, uzimajući u obzir Frenelove zone i drugo.



## Praktični primeri

U postojeće module (na slici 9 prikazan je modul za 3D Analyst) implementirani su klasični matematički modeli za računanje svih potrebnih geoprostornih analiza, pa samim tim i za razmatrani uticaj zakrivljenosti Zemljine površi na vidljivost između dve tačke [13,14].



Slika 9 – Modul 3D Analyst za ArcGIS  
Figure 9 – 3D Analyst modul for ArcGIS

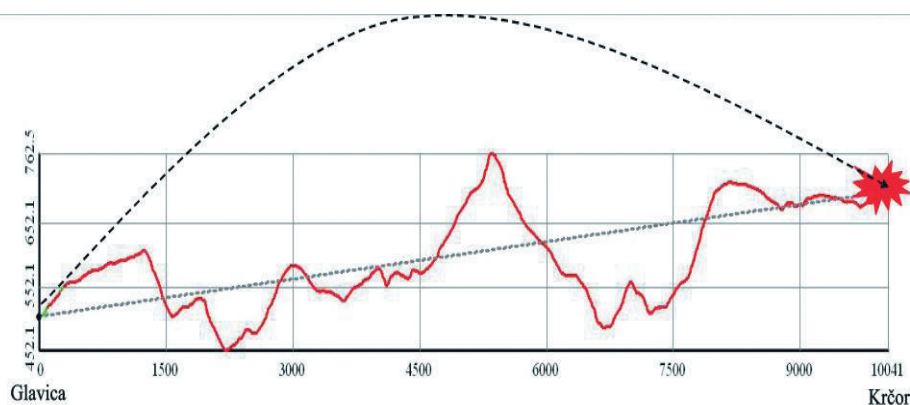


Slika 10 – Prikaz situacije za gađanje haubicom 122 mm  
Figure 10 – Firing from a 122 mm howitzer

Na završnoj vežbi kadeta Vojne akademije „Diplomac 2006“, na poligonu Pasuljanske livade u potpunosti je, po prvi put, primenjena GIS tehnologija u realizaciji zadatka pripreme i izvođenja artiljerijskog gađanja haubicom 122 mm. Primenom komparativnih prednosti savremenih tehnologija (slika 10 a, b, c) određene su:

- a) lokacije posmatračnice vatrenog položaja (VP) i cilja, vazdušno rastojanje izraženo u km, sa pratećim elementima,
- b) izgled haubice 122 mm i
- c) 3D vizualizacija prostora na kojem se izvodilo gađanje.

U sledećoj fazi korišćeni su definisani i implementirani matematički modeli u posebno definisanom modulu – 3D Analyst. Za određivanje putanje leta i primenu validnih parametara za gađanje haubicom od 122 mm korišćeni su matematički modeli u kojima je uzeta u obzir i zakrivljenost Zemljine površi. Za vizualizaciju prostora primenjeni su prostorni podaci koje je kreirao VGI (rasterski i vektorski, sa pratećim DMT). Na slici 11 grafički je prikazano izvršeno gađanje.



Slika 11 – Grafički prikazano izvršeno gađanje  
Figure 11 – Graphical presentation of the firing

Za potrebe završne vežbe kreirana je i prateća simulacija leta u kojoj je projektil praćen u relnom vremenu, nad geoprostornim podacima VGI (DMT i rasterska karta).

## Zaključak

Fizička površ Zemlje je izuzetno nepravilna. Iz praktičnih razloga na njoj se projektuju tačke geodetske osnove i vrše sva merenja vezana za premer zemljišta, odnosno inventarizacija prostora (prikupljanje i obrada podataka), čiji je krajnji cilj analiza i vizualizacija terena. Međutim, za re-

šavanje međusobnog dogledanja položaja mora se poznavati zakrivljenost Zemlje, kao i topografija, a pre svega reljefnost njene površi. Do tih podataka dolazi se na osnovu rezultata geodetskih i kartografskih tehnologija, a u poslednje vreme primenom GIS.

Primena novih tehnologija omogućila je ne samo prikupljanje prostornih podataka na brži i ekonomičniji način, već njihovu primenu u svim fazama obuke oružanih snaga sistema odbrane. Edukacija kadeta na Vojnoj akademiji u okviru predmeta Vojna topografija i Vojna geografija (u oblasti primene GIS i GPS tehnologija), formiranje Simulacionog centra u sistemu odbrane, kao i akvizicija i korišćenje sva tri oblika prostornih podataka (raster, vektor i DMT) koje sistemu odbrane obezbeđuje VGI, svrstava Vojsku Srbije na značajno mestu u primeni savremenih tehnologija u procesu obuke.

### Literatura

- [1] Banković, R., „Infrastruktura topografskih podataka – deo nacionalne infrastrukture geoprostornih podataka države Srbije“, doktorska disertacija, Vojna akademija u Beogradu, Beograd, 2011.
- [2] Banković, R., Borisov, M., Sekulović, D., Digitalni modeli terena i njihova primena u Vojsci, stručni rad, zbornik radova: Naučni skup „Odbrambene tehnologije u funkciji mira - OTEX“, Vojna akademija, Beograd, 2005.
- [3] Borisov, M., *Utvrdjivanje i otklanjanje deformacija sadržaja geografskih karata*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 50, No. 1, pp. 73–81, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2002.
- [4] Borisov, M., *Modelovanje i organizacija podataka o prostoru za razmeru 1:50000 – svetska i naša iskustva*, Geodetska služba br. 113, str. 52–61, Beograd, 2010.
- [5] Borisov, M., Banković, R., Drobnjak, S., *Evaluacija morfometrijskih karakteristika zemljišta pri izradi karte tenkoprohodnosti*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 1, pp. 62–80, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2011.
- [6] Bugayevskiy, L., Snyder, J.,: *Map Projections, A Reference Manual*, UK, 1998.
- [7] Frančula, N., *Digitalna kartografija*, skripta, Geodetski fakultet Zagreb, Croatia, 2001.
- [8] Illert, A., Wilski, I., *Integration and harmonization of contributions to a European dataset*, 17<sup>th</sup> International Cartographic Conference 10<sup>th</sup> General Assembly of ICA Proceedings 1, pp. 805–813, Barselona, Espania, 1995.
- [9] Jovanović, V., „Matematička kartografija“, Univerzitetski udžbenik, Beograd, 1983.
- [10] Kostić, M., *Digitalno modelovanje podataka - evaluacija morfometrijskih karakteristika terena*, magistarski rad, Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2008.

- [11] Radojčić, S., *Postupak i formule za transformaciju koordinata između Gaus-Krigerove i Svetske poprečne Merkatorove projekcije za teritoriju Srbije*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 56, No. 4, pp. 89–95, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2008.
- [12] Robinson, A., and other., *Elements of Cartography*, Sixth Edition, USA, 1995.
- [13] Solarić, M., Solarić, N., *Himalaja i pregled određivanja visina Mt. Everest*, Kartografija i Geoinformacije, Vol. 9, br. 14, Zagreb, Croatia, 2010.
- [14] ESRI, *Using Arc GIS 3D Analyst, User Guide*, Redlands, USA, 2008.
- [15] ESRI, *Using Arc Map, User Guide*, Redlands, USA, 2009.

## EARTH'S CURVATURE AND VISIBILITY BETWEEN TWO POINTS

FIELD: Earth Sciences, Geomatics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

### Summary:

*In this study, the Earth's curvature is analysed from numerous aspects as well as the visibility between two points on the Earth's surface. It also describes the way and the size of the Earth's part which can be approximated in the plane depending on the graphical precision and the scale of topographic maps. It equally considers the possibility of visibility between two points on the Earth's surface depending on the relief shapes and the curvature of the Earth's surface applying both classical methods and sophisticated solutions.*

### Display of the surface of the Earth on topographic maps

*For a long time it has been aspired to show the third dimension when carrying out the Earth's surface mapping. Various methods are applied to represent a relief on maps. The method most commonly used when producing topographic maps by the MGI is with isohypses and elevation points, whereas the elevation display refers to the orthometric heights, i. e. the height above the surface geoids.*

### The surface of the Earth and its curvature

*Physically speaking, the surface of the Earth is curved and very irregular so it cannot be directly used for computation and engineering purposes. For easier and more practical usage, it is necessary to bring the Earth approximately to the surface of a regular geometric body. One approximation to such a body, applied in the mathematical cartography, is the globe and another one which approximates the Earth better is the Earth's rotating ellipsoid.*

*Mathematical cartography and geodesy define laws of transfer of the physical surface of the Earth onto the curved surface of the Earth's ellipsoid or globe, i. e. to the plane or other surfaces which can be developed in a plane (cylinder or cone).*

Part of Earth's surface which can be approximated to a plane

*Mathematically speaking, not even the smallest part of the Earth's surface can be treated as a plane. However, taking into consideration the scale and mistakes of graphic displays, i. e. the allowed geometric precision of topographic maps, a certain part of the Earth's surface can be considered as a plane in practice. The answer to the question how big a part of the Earth's surface can be treated as a plane can be obtained on the basis of the following considerations.*

Visibility between two positions on the Earth's surface

*In practice it is often necessary to determine the visibility between the position of two points on the Earth's surface. For example, a thematic map of visibility itself enables the representation of areas which from one view point are visible, whereas from another one they are not. Such maps are necessary, for example, when choosing a site for installing TV transmitters and repeaters. When manually producing such maps, it is necessary to draw profiles where the heights in certain points are obtained by interpolation from a map on which the relief has been shown with isohypses. The parts not visible from the given point on each profile are graphically determined.*

Influence of the relief of the Earth's surface on the visibility between two points

*Unlike topographic maps, the production of relief maps has larger practical usage when determining the optical visibility and viewing. The production of the visibility maps can be largely accelerated if we have a digital relief model (DRM) and suitable technologies. With the help of new technologies we can determine the visibility of each point of a DRM from the given view point. Each visible point is marked as 1 and invisible one with 0. In such a way, a database ready for further analytical and graphical processing, i. e. geospace visualization, is created.*

Influence of the curvature of the Earth's surface on the visibility between two points

*The above-mentioned considerations can be applied for relatively short distances. For longer distances, one has to consider the influence of the Earth's curvature as well as the influence of refraction. In fact, in long distances the true horizon is below the visible one even for several kilometers.*

Application of GIS technology

*Using modern information technologies, GIS above all, generating and 3D display of space require a new approach. The MGI has knowledge as well as written works from the areas of application of new technologies in geospace modeling which has been carried out for about ten years.*

Created digital models of terrain

*Works in the area of creating a digital model for the territory of Serbia for the MGI-generated data are in the final phase ( works in further*

*quality improvement and control are currently being carried out). To create a digital model of terrain, the software platform ArcGIS (from the ESRI USA company) was used. The models of an elevation display of the terrain are in a function of scale, i. e. they depend on data source resolution, number of correctly selected points as well as on a method and precision of a terrain representation.*

#### Application of DRMs for the needs of the Army of Serbia

*Created digital models with corresponding geospatial analyses in almost real time, regardless of the size of the space analyzed, enable successful planning and performing of combat actions. A high-quality geospatial terrain analysis depends primarily on the quality of collected data, data organization in the base and the software quality which enables the analysis of the gathered data.*

#### Practical examples

*In the final practice of the Military Academy cadets „Diplomac 2006“ at the „Pasuljanske livade“ military training camp, GIS technology was completely applied for the completion of the preparation task and for the artillery firing from a 122 mm howitzer. Comparative advantages of modern technologies were applied for: a) determining line-of-sight distances of locations of a watchtower, a firing position and a target position expressed in kilometers, with corresponding elements; b) 122 mm howitzer presentation and c) visualization of the area where the firing was carried out.*

*Key words: Earth's surface, curvature, ellipsoid, globe, plane, range of visibility*

Datum prijema članka: 06. 07. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 13. 08. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 15. 08. 2011.

## DETERMINISTIČKI I HEURISTIČKI MODEL ZA PROGNOZU POTRAŽNJE REZERVNIH DELOVA

Milojević S. Ivan, Guberinić V. Rade,  
Vojska Srbije, Garda, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202235M

OBLAST: matematika  
VRSTA ČLANKA: stručni članak

### Sažetak:

*U radu su prikazani modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova. Modeli i metode koji su dati izabrani su po kriterijumima: da mogu biti primenjeni, prema nameni prognoze potražnje rezervnih delova i da se ne nalaze u osnovnoj udžbeničkoj literaturi. Da bi se mogli izdvojiti, doraditi i razviti novi modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova nužno je sagledati sve ono što na potražnju na neki način utiče. Izdvojeni su faktori koji utiču na potražnju rezervnih delova i na prognozu potražnje. Danas može biti primenjen deterministički i heuristički model.*

*Ključne reči: potražnja rezervnih delova, model prognoze, vremenske serije, krive rasta, upravljanje potražnjom.*

### Uvod

Obezbeđenje rezervnih delova sistemu održavanja, po asortimanu, po količini, vremenu i mestu je presudno za uspešnost funkcionisanja sistema održavanja i, u krajnjem, za ispravnost materijalnih sredstava. S druge strane, zalihe rezervnih delova predstavljaju trošak, te se traži da budu što manje. Na taj način traži se minimizacija troškova uz obezbeđenje uspešnog funkcionisanja sistema održavanja.

Poznavanje potražnje rezervnih delova predstavlja osnov za uspešno upravljanje zalihama rezervnih delova. Upravljanje zalihama ima dva značenje, jedno je operativno upravljanje, odnosno upravljanje po odre-

đenim modelima i donošenje odluka u konkretnim situacijama, koje ili nisu mogle biti predviđene ili ih modeli ne obuhvataju. Drugo značenje je optimizacija parametara modela metodama upravljanja zalihama.

I u jednom i u drugom slučaju osnovni ulazni podatak je slika potražnje rezervnih delova. Najbolji modeli i metode ne mogu pomoći ako su ulazni parametri pogrešni. Poznavanje ulaznih parametara omogućava izbor najprimenijih modela i metoda upravljanja zalihama za primenu, ali omogućava da i primitivniji modeli i metode daju zadovoljavajuće rezultate. Kako prognozirati potražnju stalno je pitanje, a kada se ona ne zna i ne može prognozirati skoro je nemoguće da se zadovolji odgovarajućim stepenom uspešnosti.

Suština problema u konkretnom slučaju jeste da postoji nestašica rezervnih delova, dok istovremeno u priručnom skladištu postoje mnogobrojni rezervni delovi za kojima nema potražnje i više godina unazad, a za koje je utrošen novac za nabavku, što znači da postoji disproporcija stanja zaliha r/d i potreba.

Osnovni problemi u sistemu snabdevanja rezervnim delovima, koji su u suštini međusobno oprečni, jesu [1, 2]:

- koji je to asortiman rezervnih delova, neophodnih za uspešno funkcionisanje sistema održavanja, i kako ga odrediti;
- koliko rezervnih delova po količini i asortimanu je potrebno obezbediti da bi sistem održavanja sa zadovoljavajućom verovatnoćom bio podržan;
- kako smanjiti troškove rezervisanja rezervnih delova. Povećanjem asortimana i količine rezervnih delova raste i verovatnoća zadovoljenja potreba, ali će u tom slučaju rasti i troškovi.

Formiranje zaliha neke vrste sredstava uslovljavaju sledeći faktori:

1. diskretnost isporuka (od vremena do vremena) pri neprekidnim zahtevima potrošača,
2. slučajna kolebanja:
  - potražnja u periodu između isporuka,
  - obim i isporuka (na primer, u zavisnosti od raspoloživih količina na višem nivou),
  - dužina intervala između isporuka,
  - kompenziranje nepovoljnih situacija,
3. sezonska potražnja:
  - sezonska proizvodnja,
  - neočekivano povećanje cene,
  - ograničenje isporuka isporučioaca, naročito za sredstva iz uvoza.

Navedeni faktori, delujući pojedinačno ili kombinovano, u različitim odnosima utiču na to da potrošač stalno teži povećanju zaliha. Nasuprot njima, deluju ekonomski razlozi za držanjem minimalnih zaliha. To su:

- novčani izdaci za fizičko čuvanje, kontrolu i održavanje zaliha;
- izgubljeni dohodak zbog umrtvljenih novčanih sredstava u zalihama. Uložena novčana sredstva u zalihama praktično su umrtvljena, jer se ne obrću i ne obezbeđuju višak vrednosti ili određene kamate, a to za imaoca zaliha znači ekonomske gubitke;



- gubici u količini zaliha (isparavanje, starenje, razlaganje i sl.) i pouzdanosti (pogoršavanje upotrebnih svojstava usled neodgovarajućih uslova u toku čuvanja);
- tehnološko zastarevanje uslovljeno smanjenom potražnjom i razvojem novih sistema.

Jasno je da se ovde nalazimo pred dve grupe međusobno oprečnih parametara koji će, s jedne strane, uticati na povećanje, a sa druge, na smanjenje zaliha. Problem je kako naći optimalni odnos između ta dva krajnja stanja i kako organizovati optimalan sistem snabdevanja koji će zadovoljiti postavljene zahteve.

Pojednostavljeno gledano, potrebno je naći odgovor na sledeća pitanja:

- Kada treba ispostaviti narudžbu (trebovanje) za obnavljanje zaliha?
- Kolika treba da bude narudžba, odnosno koliko sredstava treba naručiti?
- Koliki nivo zaliha u razmatranom sistemu treba da bude?

## Potražnja predmeta snabdevanja

Potražnja predmeta snabdevanja (sredstava) predstavlja iskazivanje potreba potrošača u jedinici mere u željenom vremenu i predstavlja jedan od najznačajnijih parametara u problemima upravljanja zalihama. Zadovoljenje potražnje u sistemu snabdevanja je osnovni zadatak. Potražnja se u praksi iskazuje preko trebovanja ili zahteva [3]. S obzirom na uslove u kojima se razmatra upravljanje zalihama, potražnja može biti:

- deterministička ili stohastička,
- stacionarna ili nestacionarna,
- kontinuirana ili diskretna,
- zadovoljena ili nezadovoljena.

Ako je potražnja poznata za celokupno vreme planiranja (potpuna informacija), tada se govori o determinističkoj potražnji i determinističkom sistemu snabdevanja. U najjednostavnijem slučaju pri tome je potražnja u jedinici vremena konstantna. Kada se nivo potražnje u toku vremena i menja, ali po tačno utvrđenom i unapred poznatom zakonu, tada se i ta potražnja razvrstava u ovu grupu.

Takvu karakteristiku potražnja ima veoma retko. U većini slučajeva biće produkt nekog procesa, npr. održavanja TMS-a, čije se delovanje ne može unapred prореći zbog niza relevantnih faktora koji na taj proces deluju i zbog kojih dolazi do slučajnih promena u potražnji. Sistem snabdevanja u tom slučaju mora delovati uz potpunu informaciju, odnosno uz određeni stepen neizvesnosti. Ako se pri tome potražnja može definisati nekim od zakona iz teorije verovatnoće, tada govorimo o stohastičkoj potražnji i o stohastičkom sistemu snabdevanja.

Kojim će zakonom iz teorije verovatnoće biti najpovoljnije upisati potražnju, zavisi od ostalih elemenata sistema snabdevanja. Jednom će biti dovoljno da se zna sa kojom verovatnoćom i koje su količine sredstava potrebne u nekom periodu. U drugom slučaju može biti potrebno da se potražnja opiše intervalom između dva trebovanja i potrebnim količinama po trebovanju, pri čemu interval, kao i potrebne količine, mogu biti slučajne veličine, i sl. Potražnju je moguće opisati matematičkim očekivanjem, standardnim odstupanjem, raspodelom verovatnoća ili kao slučajni proces. Mogućnosti su jedno, ali najčešće se javlja potreba za najkomplicovanijim opisom, odnosno složenim slučajnim procesom, jer se u vremenu menja i intenzitet potražnje i raspodela verovatnoća po posmatranim intervalima.

## Modeli prognoze

### *Izbor modela za prognozu potražnje rezervnih delova*

Modeli za prognozu potražnje rezervnih delova, prikazani u radu, izbrani su po nekoliko osnovnih kriterijuma:

- da mogu biti primenjeni,
- prema nameni prognoze potražnje rezervnih delova i
- da se ne nalaze u osnovnoj udžbeničkoj literaturi.

Primena koncepcije održavanja, pored ostalog, determinisana je i tehnološkim nivoom razvoja sredstava koja se održavaju. Na primer, teško je i zamisliti da koncepcija samoodržanja bude primenjena na sredstva koja su razvijena i uvedena u upotrebu pre 50 ili 60 godina. Čak ni manje složene koncepcije nije moguće primeniti, na primer na vozila koja od indikatora imaju samo indikator temperature motora i to onaj koji reaguje samo kad se motor pregreje [4, 5].

Dakle, od koncepcija održavanja preostale su klasično preventivno održavanje i korektivno održavanje.

Metoda modelovanja i simulacije, da bi bila primenjena u realnom sistemu, zahteva potpuno uređen sistem. To ovaj sistem snabdevanja rezervnim delovima nije. Tako da ova metoda, koja omogućava i razvoj modela, ne može biti primenjena.

Da ne bi bilo nejasnoća, metoda modelovanja i simulacije stvarno omogućava istraživanje na sistemima koji ne postoje, ali na sistemima koji ne postoje ne može se primeniti ništa pa ni prognoza potražnje rezervnih delova. Ova metoda u našim stručnim krugovima nije nepoznata i primenjivana je više puta. Objavljen je veliki broj radova na tu temu, od koji su neki upravo vezani i za prognozu potražnje rezervnih delova, ali prema datim kriterijumima ovom radu ne pripadaju.

Namena prognoze potražnje rezervnih delova u ovom radu definisana je za:

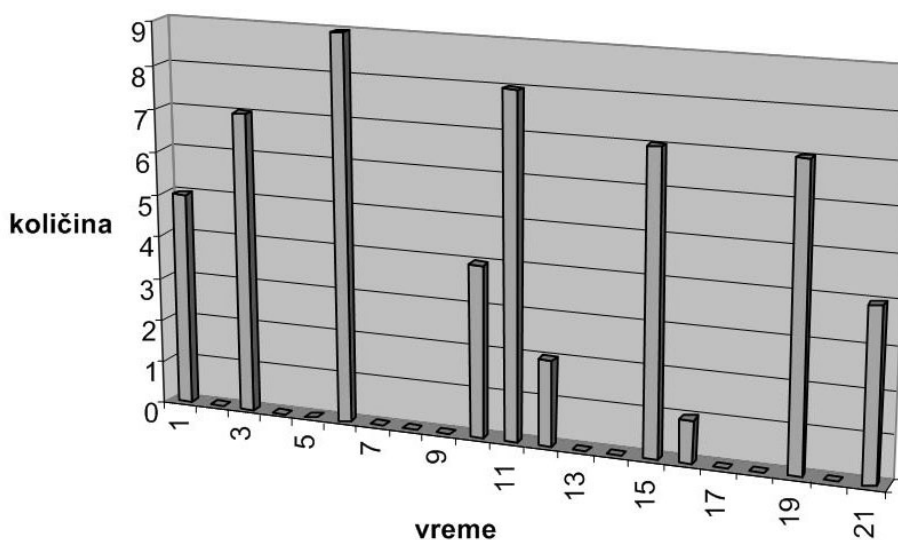
- planiranje,
- formiranje početnog stoka rezervnih delova,
- formiranje modela upravljanja zalihama u priručnim skladištima,
- formiranje modela upravljanja zalihama u skladištima višeg nivoa,
- mogućnost optimizacije parametara modela upravljanja zalihama.

Modeli potražnje i ukupno modeli za formiranje početnog stoka rezervi rezervnih delova razvijeni su osamdesetih godina u projektu USOd.

### *Deterministički model prognoze*

Deterministički modeli prognoze vezani su skoro isključivo za koncepciju preventivnog održavanja. Zahvati održavanja planiraju se unapred, prema eksploatacionim i vremenskim resursima. Pošto su poznati termini preventivnih zahvata održavanja, broj sredstava na kojima se u kom terminu koji preventivni zahvati održavanja provode, poznata tehnologija tih zahvata održavanja, poznati su i asortiman i količina rezervnih delova koji su potrebni da se ti zahvati realizuju.

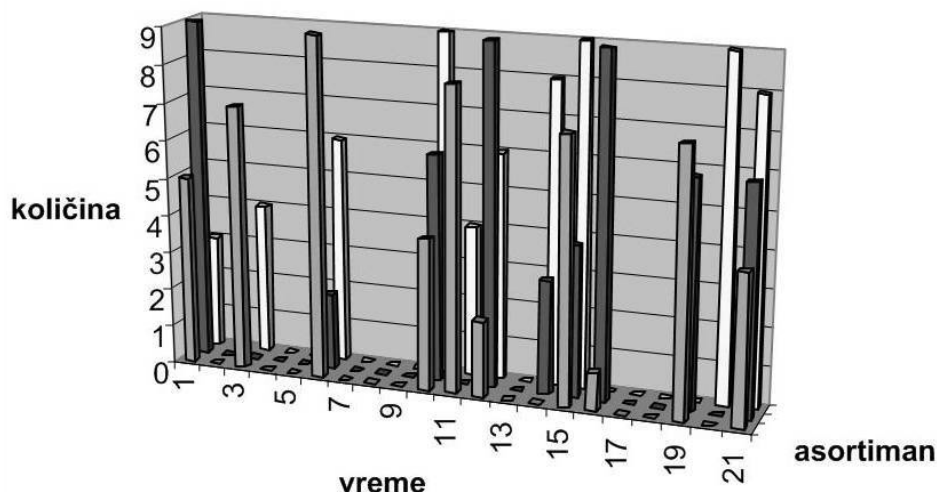
Potražnja rezervnih delova je poznata i determinisana. Prikaz potražnje može da bude po pojedinim stavkama rezervnih delova, slika 1.



Slika 1 – Deterministička potražnja pojedinačnih stavki rezervnih delova

Figure 1 – Deterministic demand for particular items of spare parts

Prikaz može da bude i po terminima svih zahvata preventivnog održavanja gde se u tom slučaju za svaki zahvat rezervni delovi prikazuju po asortimanu,<sup>1</sup> slika 2.



Slika 2 – Deterministička potražnja rezervnih delova po terminima zahvata preventivnog održavanja i po asortimanu

Figure 2 – Deterministic demand of spare parts by timing of preventive maintenance procedures and by assortment

Time su potrebe, odnosno potražnja, za rezervnim delovima poznate i po vremenu i po asortimanu i po količini. Preostaje da se potražnja zadovolji, ali način kako to da se uradi nije predmet ovog rada.

### Heuristički model prognoze

Heurističko prognoziranje vezuje se za eksperte. U vojsci se koristi za ocenu borbene situacije, uzimanje u obzir taktike dejstva svoje i protivničke strane, prognoziranje namera protivnika, pretresanje plana operacije, donošenje odluke za plan dejstva itd.

<sup>1</sup> Po ovom modelu predviđeni su kompleti rezervnih delova za pojedine preventivne zahvate održavanja za svako sredstvo, na primer za tehničke preglede. Model sistema snabdevanja je te komplete predvideo, ali nikad nisu realizovani. Osnovni razlog da se nije krenulo u realizaciju jeste da je bio pokrenut postupak reprojekovanja sistema održavanja. U tom novom sistemu nije do kraja bilo jasno definisano da li će tehnički pregledi, kao do tada, biti zahvati preventivnog održavanja ili će biti samo kontrolni pregledi. Pre nego što je novi model sistema održavanja do kraja definisan, a pogotovo pre nego što se krenulo sa njegovom implementacijom, počela su poznata događanja na teritoriji bivše SFRJ, tako da to nikad nije formalno zaživelo. Međutim, bez obzira na formalizaciju, stvarno planiranje, nabavka i popuna rezervnim delovima za zahvate preventivnog održavanja upravo se tako odvija u skoro svim segmentima sistema snabdevanja rezervnim delovima.

U ovom slučaju, relativno neuređenim sistemima smatraju se oni sistemi kod kojih ne postoje podaci o posmatranoj pojavi i njenom razvoju u prošlosti. i pored toga što navedeni podaci ne postoje, postoji potreba prognoze potražnje rezervnih delova radi donošenja odluka i upravljanja zalihama. Ovo se prevashodno odnosi na period prelaska iz stanja neuređenog sistema u stanje uređenog sistema. Prognoza u ovom slučaju ima ograničen domet. Ne može se vršiti prognoziranje za duži period, prognoza se svodi samo na sledeći relevantni interval. Koji je to interval proizilazi iz samog sistema, odnosno to je interval koji je za sam sistem relevantan.

Model prognoze u relativno neuređenim sistemima prikazan je u tabeli 1. Ovaj model je veoma jednostavan. Ne uzima u obzir složenost razvoja pojave, iz jednostavnog razloga jer ona nije ni poznata. Kao što se vidi, od momenta početka praćenja pojave i formiranja prognoze, na prognozu više utiču svežiji podaci, a što su podaci stariji imaju manji uticaj. Ovaj model prognoze ima relativno spor odziv na promene, što znači da je pogodniji za prognozu pojava koje imaju stabilniji razvoj. Kao veoma jednostavan, sigurno je da mnogo faktora ne uzima u obzir i da postoji veliki broj primedbi koje mogu da mu se daju.

Tabela 1

Model prognoze u relativno neuređenim sistemima

Table 1

Model of forecast in relatively unregulated systems

| Period | Prognozirana vrednost | Stvarna vrednost | Prognozirana vrednost za naredni period |
|--------|-----------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 1      | -                     | $x_1$            | $y_2 = x_1$                             |
| 2      | $y_2$                 | $x_2$            | $y_3 = (y_2 + x_2)/2$                   |
| 3      | $y_3$                 | $x_3$            | $y_4 = (y_3 + x_3)/2$                   |
| 4      | $y_4$                 | $x_4$            | $y_5 = (y_4 + x_4)/2$                   |
| ·      | ·                     | ·                | ·                                       |
| ·      | ·                     | ·                | ·                                       |
| i      | $y_i$                 | $x_i$            | $y_{i+1} = (y_i + x_i)/2$               |
| ·      | ·                     | ·                | ·                                       |
| ·      | ·                     | ·                | ·                                       |
| n      | $y_n$                 | $x_n$            | $y_{n+1} = (y_n + x_n)/2$               |

Međutim, kako praktično na početku vršenja prognoze ne postoje nikakvi podaci o pojavi, to se ovaj model svrstava u retke koji se mogu primeniti u ovako nametnutim uslovima. Sistem u kome ne postoji praćenje stanja je sigurno neuređen i po većini drugih elemenata, a ne samo vezano za praćenje stanja. Zato je bilo za očekivati da primena ovog modela daje određene efekte.

Ovaj model prognoze potražnje rezervnih delova je eksperimentalno primenjen u kombinaciji sa isto tako jednostavnim modelom upravljanja zalihama u priručnom skladištu rezervnih delova jedne radionice u perio-

du od dve godine (1988–1989. godina). Primena ovog modela omogućila je da se vrednost zaliha (novčani iznos) smanji za oko 60% u odnosu na početno stanje, a istovremeno da se koeficijent snabdevenosti poveća dva puta. Ovaj primer pokazuje da su efekti primene na neuređenim sistemima veći nego što se moglo očekivati. Međutim, s druge strane u neuređenim sistemima je i za očekivati da što god se uradi daje velike efekte. Svaka promena prema uređenosti sistema je izuzetno značajna jer rezultati postaju praktično vidljivi u veoma kratkom vremenu [6].

Ovaj model je primenjen takođe i 2003. godine za potrebe analize uzroka stanja prevelikih zaliha u priručnom skladištu jednog bataljona remontne podrške.

Analizirano je 212 stavki rezervnih delova za TAM 4500/5000. Svaka stavka je obrađena po ovom modelu za period 1972–2002. godina. Upoređeno je:

- stvarno stanje zaliha u priručnom magacinu rezervnih delova po kvartalima,
- stvarni utrošak tih stavki po kvartalima, odnosno kakva je bila stvarna potražnja i
- proračunato stanje zaliha po stavkama kakvo bi bilo da je sve vreme primenjivan ovaj model.

U ovom radu nije moguće, zbog obima, prikazati rezultate za sve stavke pojedinačno, ali su rezultati bili u granicama očekivanih vrednosti i omogućili optimalnije upravljanje zalihama.

## Zaključak

Prognoza potražnje rezervnih delova neprestano se obavlja u svim skladištima, radionicama i na svim nivoima. Bez prognoze potražnje nije moguće vršiti bilo kakvo planiranje ni odlučivanje. Prognoza potražnje predstavlja ulazni podatak za određivanje nivoa zaliha, veličine narudžbe, ciklusa naručivanja, itd. Pitanje koje se postavlja jeste – kolika je pouzdanost i preciznost prognoze i kakvi su efekti. Prognoziranje „po osećaju“ nije za odbaciti, ako ne postoji ništa bolje, ali se u tom slučaju mora prihvatiti da postoji mnogo promašaja koji izazivaju bespotrebno nagomilavanje nekih rezervnih delova, a istovremeno i hroničnu nestašicu drugih rezervnih delova. Sve to znatno povećava troškove, a ne omogućava zadovoljavajuću snabdevenost rezervnim delovima.

Primena drugog modela koji je relativno jednostavan, uz primenu računarske tehnike nema nekih posebnih ograničenja, ali zato su i rezultati vremenski ograničeni, odnosno rezultat koji se dobija je samo za sledeći, naredni, relevantan period. Pri planiranju rezultati ovog modela imaju izuzetno ograničen domet.

Ovaj model je primenljiv prvenstveno u neuređenim sistemima. Pogodan je za takozvano „raščišćavanje“ stanja. Već posle jednog ili dva zatvorena ciklusa stanje se dovede u red, ali tada su već potrebni mnogo osetljiviji modeli.

Ponuđeni modeli su primenljivi, drugi prikazani model je čak i eksperimentalno primenjen i dobijeni su veoma dobri rezultati. Ne postoje ozbiljniji razlozi da prikazani modeli ne budu primenjeni. Pored prikazanih, postoje i drugi modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova. Valjanost pojedinih modela uvek može da se oceni. Sigurno je da su jedni modeli bolji od drugih u primeni u konkretnim slučajevima, ali i da je primena bilo kojih verifikovanih metoda i modela bolja od prepuštanja sistema stihijskom funkcionisanju.

### Literatura

- [1] Pantelić, V., *Snabdevanje tehničkim materijalnim sredstvima*, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1986. god
- [2] Vukadinović, S., *Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike*, Privredni Pregled, Beograd, 1981.
- [3] Vukadinović, S., Popović, J., Teodorović, D., *Zbirka rešenih zadataka iz matematičke statistike*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1981.
- [4] Borović, S., Mišković, V., *Model prognoze potražnje rezervnih delova*, Zbornik radova SM-OP-IS'2001, S ŠONID VJ, Beograd, 2001. – str. 39–43
- [5] Mišković, V., Borović, S., *Statistički modeli prognoziranja potražnje rezervnih delova*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 50, No. 1, pp. 5–13, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Beograd, 2002.
- [6] Borović, S., Tanašćuk, N., *Automatizovani sistem podrške odlučivanju u procesima javne nabavke*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 52, No. 1, pp. 9–25, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Beograd, 2004.

### DETERMINISTIC AND HEURISTIC MODELS OF FORECASTING SPARE PARTS DEMAND

FIELD: Mathematics

ARTICLE TYPE: Professional Paper

#### Summary:

*Knowing the demand of spare parts is the basis for successful spare parts inventory management. Inventory management has two aspects. The first one is operational management: acting according to certain models and making decisions in specific situations which could not have been foreseen or have not been encompassed by models. The second aspect is optimization of the model parameters by means of inventory management.*

*Supply items demand (asset demand) is the expression of customers' needs in units in the desired time and it is one of the most important parameters in the inventory management. The basic task of the supply system is demand fulfillment. In practice, demand is expressed through requisition or request. Given the conditions in which inventory management is considered, demand can be:*

- *deterministic or stochastic,*
- *stationary or nonstationary,*

- continuous or discrete,
- satisfied or unsatisfied.

The application of the maintenance concept is determined by the technological level of development of the assets being maintained. For example, it is hard to imagine that the concept of self-maintenance can be applied to assets developed and put into use 50 or 60 years ago. Even less complex concepts cannot be applied to those vehicles that only have indicators of engine temperature – those that react only when the engine is overheated.

This means that the maintenance concepts that can be applied are the traditional preventive maintenance and the corrective maintenance.

In order to be applied in a real system, modeling and simulation methods require a completely regulated system and that is not the case with this spare parts supply system. Therefore, this method, which also enables the model development, cannot be applied.

Deterministic models of forecasting are almost exclusively related to the concept of preventive maintenance. Maintenance procedures are planned in advance, in accordance with exploitation and time resources. Since the timing of preventive maintenance, the number of assets on which the preventive maintenance procedures are performed and the technology of maintaining procedures are known, then the range and the quantity of spare parts needed to perform these procedures are also known.

Heuristic forecasting is related to the experts. Armed forces use it for the assessment of combat situation, taking into account the opponent's and its own action tactics, forecasting enemy's intentions, analyzing the plan of operations, making decision for the plan of action, etc.

In this case, relatively unregulated systems are those in which there is no data about the observed phenomenon and its development in the past. In addition to the fact that the above data does not exist, there is a need for spare parts demand forecasts for the purpose of decision making and inventory management. This primarily relates to the period of transition from an unregulated to a regulated system. In this case, forecasting has a limited range. No forecasting can be done for a longer period; the forecasting is reduced to the next relevant interval, i.e. to the interval relevant for the system.

The application of another, relatively simple model which uses computer techniques has no particular limitations, but for that reason its results are time-limited; results are obtained only for the subsequent relevant period. The results of this model have a very limited range in planning.

This model is applicable mainly in unregulated systems. It is suitable for so-called condition "clearing". After one or two closed cycles, a situation is brought to order, but then much more sensitive models are needed.

Keywords: demand for spare parts, model forecasts, time series, curve of growth, demand management

Datum prijema članka: 11. 02. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 22. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 23. 10. 2011.



# MOGUĆNOSTI PRIMENE RETRODIREKCIONIH ANTENA U RADARSKIM SISTEMIMA

Pavić M. Aleksandar, Vojska Srbije,  
126. brigada VOJIN, Beograd,  
Nikolić Z. Veljko, Vojska Srbije,  
Tehnički očitni centar, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202245P

OBLAST: stručni članak

VRSTA ČLANKA: radio-komunikacije, radarska tehnika

## Sažetak:

*U radu su prikazane mogućnosti primene retrodirekcionih antena u savremenim radarskim sistemima. Razmatraju se osnovne teorijske postavke retrodirekcije, praktične mogućnosti realizacije osnovnih elemenata antene preko ugaonih reflektora, Van Atta i hibridnih elemenata. Prikazan je i jedan model retrodirekcionog radara za automatsko praćenje ciljeva. Opisane su osnovne razlike u odnosu na trenutno aktuelne antene sa faziranom rešetkom, sa stanovišta pojednostavljenja i smanjenja cene prijemnika i signal-procesora i vremena detekcije cilja kao osnovne prednosti ove tehnologije. Obrazložene su prednosti i nedostaci ove tehnologije. U zaključku se navode mogućnosti primene ove tehnologije i pravci daljeg ispitivanja.*

**Ključne reči:** retrodirekcija, retrodirekzione antene, antene sa faziranom rešetkom, Van Atta elementi, hibridni retrodirekcionni nizovi, vreme akvizicije cilja.

## Uvod

Osnovne karakteristike koje se nameću pred savremene telekomunikacione bežične sisteme odnose se, pre svega, na visok kvalitet digitalne obrade primljenog signala u realnom vremenu, modularnu konstrukciju i povećanje vremena bezotkaznog rada uz smanjenje dimenzija i ukupnih troškova održavanja. Razvoj antena i antenskih nizova je proces koji neprekidno traje radi zadovoljenja pomenutih potreba, što iziskuje pronalaženje i primenu novih konstrukcionih rešenja. Posebnu grupu sistema, čine sistemi namenjeni primeni u vojne svrhe. Oni pored navedenih zahteva moraju zadovoljiti pooštrene vojne kriterijume u pogledu žilavosti (mogućnost nesmetanog rada sa zadovoljavajućim funkcionalnim karakteristikama u uslovima aktivnih i pasivnih smetnji) i zaštite podataka.

Cilj ovog stručnog članka je da upozna širu javnost sa tehnologijom retrodirekcionih antena kroz najosnovnije teorijske principe i da skrene pažnju na ovu vrlo aktuelnu oblast u svetu savremenih naučno-tehničkih rešenja. Najveći doprinos ovog članka odnosi se na model retrodirekcionog radara za automatsko praćenje ciljeva u kome smo prikazali funkcionalnu šemu i objasnili osnovne principe funkcionisanja. Ovaj model je potrebno detaljnije razmatrati u sa ciljem daljeg unapređenja i stvaranja povoljne tehnološke platforme za budući eventualni razvoj jednog ovako sofisticiranog sistema.

Antene sa retrodirekcionim nizovima po svojoj konstrukciji i svojstvima odgovaraju zahtevima koji se nameću pred savremene vojne telekomunikacione sisteme. One predstavljaju specijalnu vrstu antenskih nizova koji vrše reemisiju signala u istom pravcu iz koga je došao incidentni signal, bez bilo kakvog prethodnog znanja o položaju izvora signala u prostoru, pa ne koriste složene algoritme za digitalnu obradu signala za razliku od tzv. „pametnih antena“. One obezbeđuju pokrivanje prostora kao omnidirekcionne antene uz održavanje dobitka antene na visokom nivou. Zbog svojih osobina nalaze primenu kod automatskog upravljanja, praćenja ciljeva, radarskih transpondera i u sistemima mobilnih komunikacija. Slanjem predajnog signala u tačno definisani deo prostora (fukusiranjem reemitovane energije direktno prema izvoru zračenja), ostvaruje se zadovoljavajuća usmerenost, što povećava odnos signal/šum smanjivanjem uticaja interferencija iz okolnog prostora i *multipath* efekta. Povećanjem broja elemenata antenskog niza, smanjuje se vrednost predajne snage svakog pojedinog elementa, što pojednostavljuje izradu i povećava pouzdanost.

Tema ovog stručnog članka je proizvod praćenja savremenih trendova u oblasti radarske tehnike, kao i svakodnevni rad na održavanju sistema koja su trenutno upotrebljavaju u jedinicama Vojske Srbije. S obzirom na to da se oblast radio komunikacija bavi i radarskom tehnikom svakodnevno proizvodi nova tehnička rešenja kako bi se sistemi unapredili. Proučavanje retrodirekcije, posebno sa stanovišta praktične primene nameće se kao neko od budućih rešenja koje će zameniti i unaprediti postojeća.

## Teorija retrodirekcije i osnovne topologije

Retrodirekcionne antene vrše predaju signala prema potencijalnom cilju (interogatoru) bez bilo kakvog prethodnog poznavanja pravca iz kojeg je došao signal i bez upotrebe složenih algoritama za obradu signala. Osnovni princip retrodirekcije zasniva se na konjukciji faze incidentnog signala. Svaki element antenskog niza vrši reemisiju incidentnog signala, tako da se faza predajnog signala ponaša kao konjugovana faza incidentnog signala. Drugim rečima, svaki element antenskog niza ima svoju fazu koja se formira na osnovu faze incidentnog signala. [1]

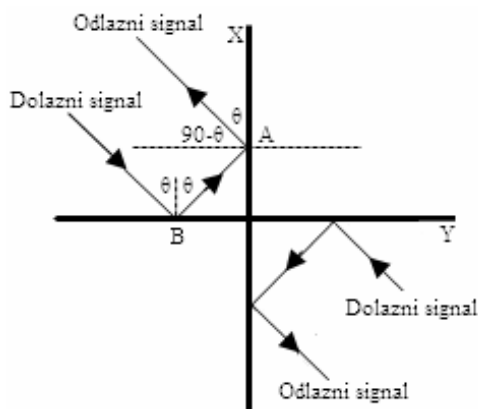
Retrodirekcionni antenski nizovi mogu se, prema složenosti, klasifikovati na:

- nizove sa ugaonim reflektorima,
- Van-Atta nizove i
- heterodine retrodirekzione nizove.

Retrodirekzione antenske nizove možemo klasifikovati i na osnovu tehnologije izrade na:

- pasivne nizove i
- aktivne nizove.

**Ugaoni reflektor.** Ova struktura predstavlja osnovu teorije retrodirekcije i njenu najjednostavniju topologiju. Objašnjen je princip konjukcije faza. Ugaoni reflektor (slika 1) sastavljen je od dve ravni koje su spojene pod uglom od  $90^\circ$ .



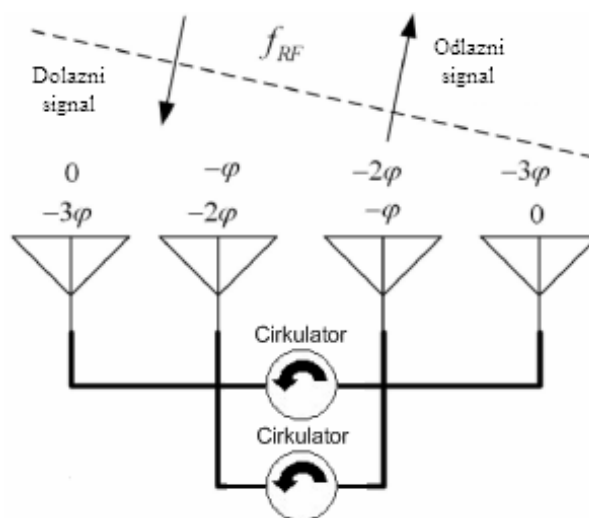
Slika 1 – Ugaoni reflektor  
Figure 1 – Corner reflector

Uslovi prostiranja u ovom slučaju, s obzirom na to da se radi o teorijskoj postavci, idealni su, što znači da je sredina homogena, a koeficijent prelamanja talasa je 1.

Dolazni (incidentni) talas dolazi pod uglom  $\theta$  na osu  $y$  i reflektuje se pod istim uglom  $\theta$ . Reflektovani talas dolazi na  $x$  osu pod uglom  $90^\circ - \theta$  i ponovo se reflektuje. Ako kroz tačku  $A$  povučemo pravu koja je paralelna sa osom  $y$  možemo zaključiti da talas koji izlazi ima istu fazu kao i incidentni talas, ali se kreće u suprotnom pravcu, ka istom mestu odakle je i došao. To predstavlja fundament teorije retrodirekcije. Ugaoni reflektor predstavlja element pasivnog niza. [2]

**Van-Atta nizovi.** Ova vrsta nizova sastoji se od parnog broja elemenata, koji su organizovani tako da su parovi elemenata povezani prenosnim vodovima iste dužine. Na ovaj način ostaje sačuvana informacija o fazi i fazni odnosi između elemenata niza. Mogu biti pasivni (bez cirkulatora) i aktivni (sa cirkulatorima uz dodatak pojačavača). [2]

Ova osobina ostavlja mogućnost da talasi mogu da dođu pod bilo kojim uglom, jer će bez korišćenja zahtevne obrade predajni signal biti poslat sa konjugovanim fazom u pravcu odakle je došao i incidentni talas.



Slika 2 – Van-Atta aktivni element  
Figure 2 – Van-Atta active element

Ako se zanemare gubici energije usled rasejanja talasa, energija re-emitovanog polja  $E_{rt}$  predstavljena je kao proizvod energije svakog pojedinačnog elementa, uzimajući da svaki elemenat ima približno istu energiju, što se može se izraziti kao (jednačina 1) [1]:

$$E_{rt} = A \times e^{j(\omega t + \phi_L)} \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} e^{\frac{j 2 \pi x_n}{\lambda_0} (\sin \theta_t - \sin \theta_r)} \quad (1)$$

gde je:

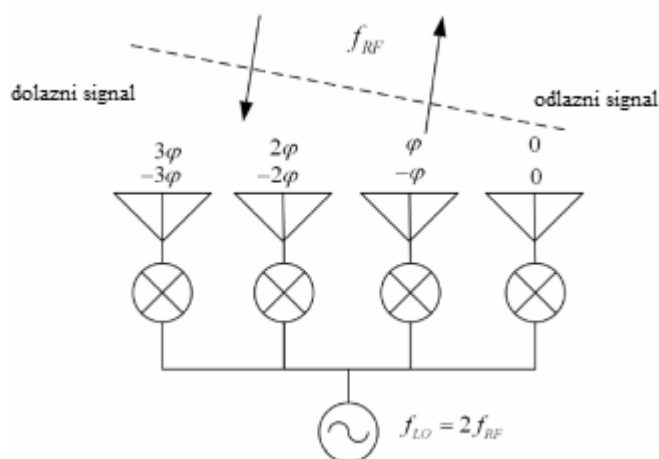
- $A$  – broj parova elemenata antenskog niza
- $\omega$  – radna frekvencija niza izražena u radijanima po sekundi,
- $\phi_L$  – fazno kašnjenje korelacije u radijanima,
- $\theta_r$  – napadni ugao dolaznog talasa,
- $\theta_t$  – ugao odlaznog talasa,
- $x_n$  – rastojanje u metrima n-tog elementa niza od centra niza.

Ukoliko je ispunjen uslov  $\theta_r = \theta_t$  može se zaključiti da je proces retrodirekcije uspešno obavljen. Vrednost  $\phi_L$  je potpuno proizvoljna.

Na slici 2 predstavljena je jedna mogućnost izrade Van-Atta aktivnog niza. U ovom slučaju cirkulatori se koriste za razdvajanje signala na primljeni i predajni signal. Predajni signal frekvencije  $f_{RF}$  se upotrebom pojačavača dodatno pojačava tako da imamo i dobitak linka. Problemi ovakve realizacije su dodatna greška u fazi ( $\varphi$ ) zbog upotrebe pojačavača i cirkulatora, proširenje snopa talasa i pojava bočnih lobova. Van-Atta nizovi koriste se kod širokog opsega frekvencija, gde ograničenje predstavljaju dimenzije antene. Ovo rešenje ima i ograničenja u vidu simetrije niza i uniformnog talasnog fronta. Da bi se ovi nedostaci prevazišli, koriste se heterodini mešači.

**Heterodini retrodirekcionni nizovi.** Ovi nizovi koriste lokalni oscilator koji ima dvostruko veću ili dvostruko manju frekvenciju,  $f_{LO}$  od frekvencije signala,  $f_{RF}$  (slika 3 [2]). Na taj način vrši se fazna konjukcija incidentnog signala signalom lokalnog oscilatora i smanjuje greška u fazi ( $\varphi$ ), u odnosu na Van-Atta nizove. Ovako konjugovan signal formira glavni snop u pravcu mesta odakle je došao signal. Najčešće primenjivan metod koristi kao osnovni element kola za konjukciju signala aktivni ili pasivni mešač. Pasivni mešači prilikom mešanja signala imaju određene gubitke snage, ali zato mogu da rade sa lokalnim oscilatorima malih snaga. Aktivni mešači koji obezbeđuju dodatno pojačanje signala takođe mogu da rade sa lokanim oscilatorima malih snaga, ali su bolje rešenje u odnosu na pasivne mešače po pitanju jeftinih rešenja retrodirekcionnih nizova. [4]

Mali frekvencijski ofset između dolaznog i odlaznog signala je dodatna pogodnost, jer je uključen u detektor koji nije savršen i poseduje određenu grešku.



Slika 3 – Heterodini retrodirekcionni niz  
Figure 3 – Heterodyne retrodirective array

Sledeće jednačine pojašnjavaju kako se vrši generisanje konjugovanog signala. Najpre se vrši mešanje incidentnog signala i signala lokalnog oscilatora (jednačina 2) [1]:

$$V_{IF} = V_{RF} \cos(\omega_{RF}t + \theta_n) V_{LO} \cos(\omega_{LO}t) \quad (2)$$

Pošto je frekvencija lokalnog oscilatora duplo veća od frekvencije incidentnog signala, na izlazu mešača dobijamo [1]:

$$V_{IF} = \cos(\omega_{RF}t - \varphi) + \cos((3\omega_{RF})t + \varphi) \quad (3)$$

U jednačini 4 pored snovnog signala  $\omega_{RF}t$  imamo i produkt  $3\omega_{RF}t$  koji ne odgovara željenom rešenju ni po frekvenciji ni po fazi, pa ga je zato potrebno eliminisati. Primećuje se da je frekvencija IF signala identična frekvenciji incidentnog RF signala, ali su im faze konjugovane. Pošto je velika razlika u frekvenciji signala između prvog i drugog člana, neželjeni član je potrebno eliminisati i u etar poslati samo koristan signal. Drugi signal koji mora biti potisnut je RF dolazni signal koji „curi“ sa ulaza faznog konjugatora prema njegovom izlazu. RF signal je iste frekvencije kao i IF signal, ali nema konjugovanu fazu. Potiskivanje neželjenog RF signala predstavlja jednu od najvećih poteškoća kod ovog načina realizacije. [2]

Ovakav način konjukcije faze signala (direktno konjugovan signal na međufrekvenciji), koja je identična fazi RF dolaznog signala, zahteva korišćenje PLL petlje (Phase locked loop) tj. naponski kontrolisanog VCO oscilatorakoji čine niz frekventno autonomnim. Naime, korišćenjem PLL petlje u kombinaciji sa faznim detektorom koji vrši poređenje po fazi dolaznog signala i signala povratne sprege sa VCO oscilatora, aktivnim filtrom koji eliminiše sve neželjene produkte nastale mešanjem i VCO oscilatorom koji čine zasebnu granu antenskog niza, formira se signal koji se dovodi na mešač sa frekvencijom dva puta većom od frekvencije dolaznog signala. Na taj način antenski niz postaje frekventnonezavisan od incidentnog RF signala. Kako bi se izvršilo razdvajanje prijemnog od predajnog signala, koriste se različita rešenja. Najčešće su primenjivani minimalni frekvencijski ofset, ortogonalna međusobna polarizacija ili usmereni sprežnici.

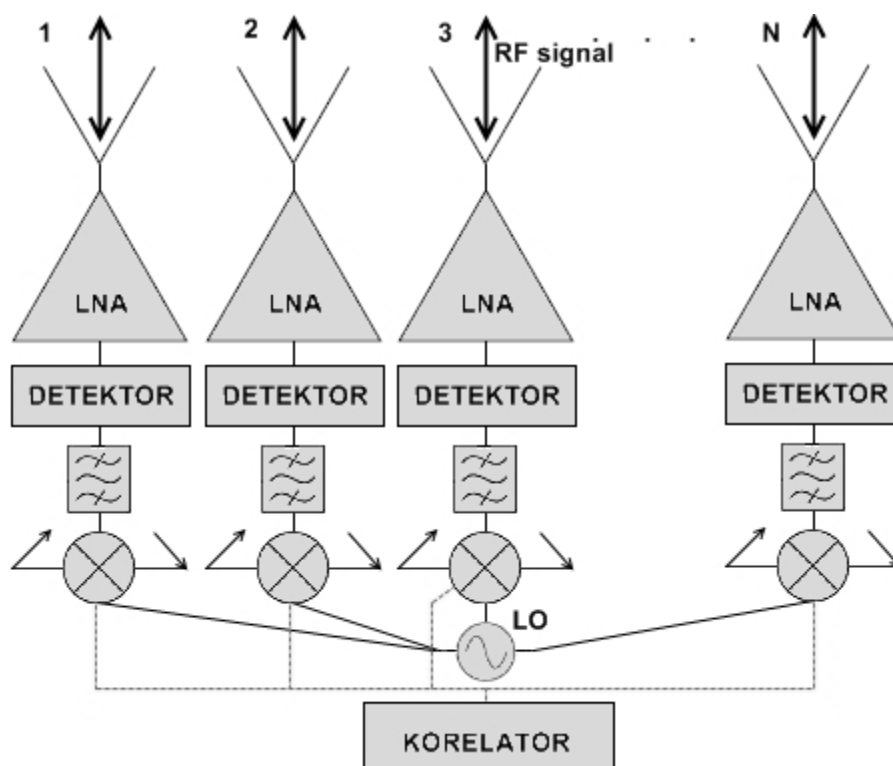
Korišćenjem pomenutih PLL petlji, eliminišu se nesavršenosti koje se javljaju kod klasičnih mešača:

- veliki gubici prilikom konverzije,
- neželjeni produkti mešanja signala,
- mala snaga reemitovanog signala,
- mogućnost pojave fazne greške usled nesavršenosti hardverskog rešenja.

Jedno od mogućih rešenja aktivnih nizova predstavlja korišćenje pojačavačkih MOSFET tranzistora koji prilikom konverzije dodatno pojačavaju signal, što pojednostavljuje konstrukciju i smanjuje cenu.

## Model retrodirekcionog radara za automatsko praćenje ciljeva

Da bi se videla mogućnost primene retrodirekcionih antena u sistemu za automatsko praćenje ciljeva, potrebno je napraviti model ovakvog sistema. Sistem se sastoji od tri celine: sklopa retrodirekcionog antenskog niza, predajnog sklopa i sklopa prijemnika. Antena se sastoji od  $N$  retrodirekcionih aktivnih heterodinih elemenata koji su raspoređeni po anteni na rastojanju od  $\lambda/4$ , gde  $\lambda$  predstavlja talasnu dužinu predajnog signala. Obrada signala je podeljena na RF primarni deo na anteni i sekundarni deo u međufrekventnom opsegu u sklopu primopredajnika.



Slika 4 – Sklop antene  
Figure 4 – Antenna assembly

Emitovanje RF signala u prostor vrši odgovarajući sklop predajnog signala. Prilikom kontakta predajnog signala sa ciljem u vazdušnom prostoru deo signala se vraća na element antene gde se vrši primarna obrada sig-

nala u RF opsegu. Po prijemu na element niza, signal prvo dolazi na nisko-šumni LNA pretpojačavač (*Low Noise Amplifier*) gde se vrši pojačanje signala (slika 4). Zatim, signal dolazi na detektor koji ima određeni prag prijema koji treba da bude zadovoljen da bi signal mogao dalje da se obrađuje. Ukoliko signal zadovolji zadati prag prijema odlazi na sledeći blok za obradu, tj. mešač. U bloku mešača vrši se množenje prispelog signala sa signalom iz lokalnog oscilatora čija je frekvencija dva puta veća od frekvencije signala koji se obrađuje. Posle mešanja dobija se signal koji se filtrira odbacujući nepotrebne harmonike signala, ostavljajući samo komponentu čija je faza konjugovana u odnosu na fazu prispelog signala. Tako dobijeni signal se dodatno pojačava u pojačavačkom stepenu i reemituje u etar. Ukoliko se ostvari određeni broj ovakvih iteracija koji je unapred definisan za redom na istom elementu niza, poboljšava se odnos signal/šum, a ujedno se tako uzorak prečišćenog signala preko filtera propusnika opsega šalje na RF korelator. U korelatoru se vrši autokorelacija signala sa više različitih elemenata antenskog niza, pa se dobijeni podaci šalju u prijemnik.

**Sklop prijemnika.** Prijemnik se sastoji od sledećih blokova: napajanja, obrade podataka (signal procesor), prikazivanja vazdušne situacije, ekstrakcije signala, komunikacije i ostalih blokova koji kod ovog razmatranja nemaju primarni značaj.

Ovakvim načinom digitalne obrade signala u sklopu prijemnika dobijaju se podaci o trenutku detekcije, brzini i azimutu praćenog cilja. Da bi se dobili podaci o trenutnoj elevaciji cilja neophodno je postojanje dva konstrukciono ista antenska niza vertikalno postavljena jedan u odnosu na drugi, na rastojanju koje mora biti veće od talasne dužine predajnog signala.

Podaci o trigeru predajnog signala, video signalu, signalu azimuta i elevacije šalju se na ekstraktor radarskih podataka gde se njihovim pridruživanjem formiraju plotovi i tragovi praćenih ciljeva. Posle generisanja više istorijskih plotova donosi se odluka da li je u pitanju koristan signal ili klater. Koristan signal se pojačava i šalje na izlaz ekstraktora, a signali klatera koriste se za dobijanje odgovarajuće mape klatera, koja u kombinaciji sa automatskom regulacijom pojačanja verovatnoću lažnog alarma smanjuje na najmanju moguću meru. Sa izlaza ekstraktora radarskih podataka plotovi i tragovi se šalju na izdvojeni radarski pokazivač radi praćenja vazdušne situacije u realnom vremenu.

## Poređenje faznih i retrodirekcionih antenskih nizova

Tokom šezdesetih godina počele su prve eksperimentalne upotrebe antena sa faziranim rešetkama. Prostim pasivnim antenama sa nizom talasovoda različitih proreza vršeno je emitovanje signala sa različitim faznim



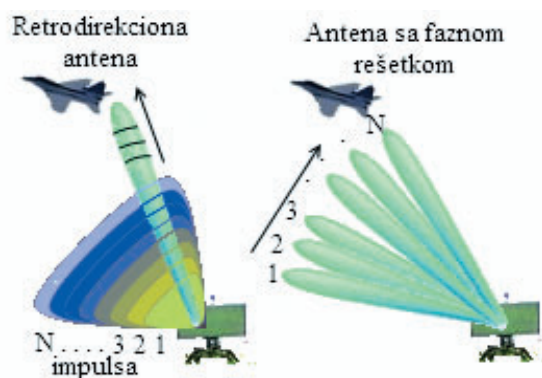
pomerajem bez mogućnosti direktne kontrole emitovanog snopa. Daljim napretkom pojavile su se antene koje su emitovale ne samo jedan snop već više užih snopova (*pencil beam*) i na taj način omogućavale pokrivanje većeg vazdušnog prostora i formiranje željenog oblika snopa dijagrama zračenja u zavisnosti od namene uređaja. Sledeći korak bila je elektronska kontrola tih snopova, tako da su počele da se primenjuju aktivne antene sa faziranim rešetkama. Ovakve antene sastavljene su od elemenata koji na sebi sadrže pojačavačke stepene, i svaki element vrši emitovanje signala. Elektronski kontrolisni snopovi omogućavaju da svaki pojedinačni snop usmerimo u određenu zonu od interesa. *Solid state* tehnologija koristi pojačavačke tranzistore velike snage, koji rade u oblasti visokih frekvencija. Moderan radarski sistem danas je zasnovan na predajniku koji je izrađen na bazi *solid state* tehnologije i nezamisliv bez antene sa faziranom rešetkom bilo da je pasivna ili aktivna. U pozadini svega ovoga stoji izuzetno komplikovan sistem obrade signala, kako na predaji, tako i na prijemu.

Poređenje ova dva antenska rešenja može se najlakše započeti načinom emitovanja impulsa, što je i prikazano na slici 5. Odmah se može primetiti prva suštinska razlika, a ona se odnosi na način emitovanja impulsa. Naime, antena sa faziranom rešetkom vrši skeniranje određenog prostora tako što šalje impulse sa različitim faznim stavovima po definisanom prostoru. Antena sa retrodirekcionim elementima takođe vrši skeniranje celokupnog prostora. Međutim, ukoliko se impuls vrati od nekog cilja antenski element automatski šalje novi impuls u istom pravcu i tako sve dok postoji incidentni signal. To je osnovna razlika iz koje proizilaze ostale prednosti antena sa retrodirekcionim elementima. Ovo rešenje može umnogome uprostiti stvari kada su vojne komunikacije u pitanju. Dakle, ulogu osmatračkog i nišanskog radara praktično preuzima jedan uređaj sa retrodirekcionom antenom.

Uzimajući u obzir osnovnu razliku iz nje proizilaze dve vrlo bitne karakteristike po kojima se ove antene razlikuju, a to su: složenost prijemnika (signal-procesora) i brzina detekcije cilja.

Signal-procesor je teorijski zasnovan na velikom broju različitih algoritama za obradu i praćenje ciljeva, a tehnološki je realizovan upotrebom savremenih DSP i FPGA platformi. Na ovaj način svi podaci dobijeni na prijemniku uvode se u kompleksan sistem obrade i odlučivanja o tome šta predstavlja koristan signal, a šta klater. Realizacija prijemnika je, pored kompleksnosti, i veoma skupa. Upotrebom retrodirekcionih antena jedan deo obrade automatski bi se vršio na samoj anteni, samostalno bez potrebe za bilo kakve kontrole i upotrebe složenih algoritama. Posle svakog poslatog impulsa dolazi do poboljšanja odnosa signal-šum, naravno u određenim granicama. To je posledica činjenice da poslati signal ne ide nasumično u nepoznatom pravcu, već ka objektu koji je prethodno izvršio reflektovanje EM talasa, odnosno ka sekundarnom izvoru zračenja.

Prethodno navedenu prednost teorijski možemo obrazložiti upotrebom tehnika korelacije šuma [3]. Korelacijom primljenog signala sa istim tim, samo zakašnjenim signalom dobija se „pik“ znatno iznad nivoa šuma čime je izvršena detekcija signala. Odnos signal-šum dodatno se popravljala naknadnim filtriranjem tako dobijemnog signala, kao i činjenicom da je šum stohastički proces, pa se korelacijom smanjuje u dovoljnoj meri.



Slika 5 – Uporedni prikaz emitovanja impulsa  
Figure 5 – Comparativereview of broadcasting pulses

Vrlo je bitno razmotriti i drugu karakteristiku, a to je brzina detekcije cilja. Kod klasičnih antena sa faziranom rešetkom svaki impuls koji se vrati na antenu, za vreme tzv. mrtvog vremena šalje se u prijemnik, odnosno signal-procesor gde se vrši komplikovana obrada. Potreban je određen broj impulsa da se međusobno korelišu da bi se dobio traženi plot, a samim tim potrebno je i više istorijskih plotova da bi se na pokazivaču prikazale željene informacije o cilju. Potrebno je određeno vreme da se izvrše sve te operacije. To vreme može se podeliti na vreme razmene impulsa i vreme obrade u signal-procesoru. Retrodirekciona antena samim tim što sama vrši reemitovanje signala iz pravca odakle je stigao signal na antenski element, posle nekoliko iteracija može da u predajnik pošalje interapt o postojanju određenog cilja pod uslovom da taj signal ima veći nivo od predviđenog praga prijema, a nije klater ili neka spoljna smetnja (odluka o tome donosi se detaljnijom obradom signala). S obzirom na to da je potreban otprilike isti broj impulsa da bi se dobila potvrda o nekom cilju, može se zaključiti da je vreme otkrivanja cilja kraće gotovo za vreme obrade signala u signal-procesoru, što je značajan dobitak, posebno u vojnim radarskim sistemima. To nije toliko interesantno sa stanovišta otkrivanja vazduhoplova koliko sa stanovišta otkrivanja protivradarskih raketa. Rano otkrivanje cilja je od presudnog značaja, naročito kada su u pitanju protivradarske rakete, čije blagovremeno otkrivanje povećava verovatnoću njihovog uništenja, što povećava žilavost i produžava životni vek sistema.

Radi bolje ilustracije u tabeli 1 prikazano je poređenje bitnih parametara radara sa antenom izrađenom tehnologijom fazirane rešetke [6] u odnosu na retrodirekcionu antenu. Vrednosti parametara radara sa faznom rešetkom koje su ovde iskorišćene nisu vezane ni za jedan konkretan model već predstavljaju trenutno aktuelne veličine koje su karakteristične za savremena sredstva ovog tipa. Vrednosti parametara radara sa retrodirekcionom antenom rezultat su ispitivanja koja su sprovedena na modelu u laboratorijskim uslovima [5].

Tabela 1  
Table 1

Poređenje parametara radara  
Comparison of radar parameters

| Parametar<br>(Parameter)                                       | Fazirana antena<br>(Phase array<br>antenna) | Retrodirekciona antena<br>(Retrodirection array<br>antenna) |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Verovatnoća detekcije<br>(The probability of detection)        | 0.9                                         | 0.9                                                         |
| Vereovatnoća lažnog alarma<br>(The probability of false alarm) | $10^{-6}$                                   | $10^{-6}$                                                   |
| Broj elemenata niza<br>(Number of array elements)              | 45                                          | 45                                                          |
| Predajna snaga<br>(Transmit power)                             | $P_0$                                       | $25P_0$                                                     |
| Vreme akvizicije cilja<br>(Target acquisition time)            | $10t_a$                                     | $t_a$                                                       |

## Zaključak

Prethodno razmatrana retrodirekciona tehnologija, sa stanovišta primene u radarskim sistemima, donosi pojednostavljenja i pojeftinjenja u realizaciji signal-procesora. Kompletna RF obrada signala realizuje se na anteni, skraćuje se vreme potrebno za detekciju cilja i povećava se žilavost sistema i otpornost na namerne i nenamerne smetnje. Sve to pokazuje da ova tehnologija ima mogućnost da nasledi sadašnje aktuelne tehnologije u izradi radarskih antena. Prikazani model radara za automatsko praćenje ciljeva predstavlja osnovu nekog budućeg radarskog sistema sa retrodirekcionom antenom. Zbog toga je potrebno da se, pored teorijskih aspekata, razmotre mogućnosti praktične realizacije sistema kroz odgovarajuća eksperimentalna ispitivanja. Na osnovu svega navedenog, retrodirekционе antene imaju ulogu ne samo u radarskim sistemima, pasivnim multisenzorskim sistemima [7], već i u širokom spektru bežičnih komunikacionih tehnologija.

## Literatura

- [1] Ulapavalli, K., An Active Subharmonic Retrodirective Array Using Dual Polarized Microstrip Antennas, Texas Tech University, 2004.
- [2] Guo, C., Shi, W., Chen, L., Retrodirective Array Technology, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 5, 153–167, 2008.
- [3] Gupta, S., Brown, E. R., Retrodirekcionni Radar sa Korelisanim Šumom/Retrodirective Noise Correlating Radar, IEE Transactions and Microwave Techniques, 2004.
- [4] Yorgensen, D., Loadman, C., Chen, Z. D., Retrodirective Antenna Systems for Wireless Communications, CNSR, Canada, 2003.
- [5] Umali A., Retrodirective Noise Correlating Radar, UCLA Undergraduate Research Program in Electrical Engineering, 2005.
- [6] Sokolović, V., Popović, V., Zona detekcije radara pod dejstvom aktivnog ometanja, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 3, pp. 331–343, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2009.
- [7] Erić, M., Kostić, A., Nadzor vazdušnog prostora pasivnim multisenzorskim sistemima, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 53, No. 3–4, pp. 331–343, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2004.

### POSSIBILITIES TO USE RETRODIRECTIVE ANTENNAS IN RADAR SYSTEMS

FIELD: Radio communications, Radar technology

ARTICLE TYPE: Professional Paper

#### Summary:

*Possibilities to use retrodirective antennas in modern radar systems are presented in this paper. The basics of retrodirective theory, practical realizations of retrodirective arrays using corner reflectors, Van-Atta and heterodyne elements are considered. A model of a retrodirective radar for automatic target tracking is presented as well as the differences between commonly used phase arrays and retrodirective arrays with simpler, cheaper signal processors and faster target detection, as mayor advantages of this technology. Its advantages and disadvantages are explained. In the end, some possibilities for this technology application are discussed as well as further research trends.*

#### Introduction

*Modern wireless telecommunications systems for data transmission require high-quality antenna systems. The application of retrodirective antenna arrays is one possible solution. The application of this technology provides distinct advantages in terms of technical features, ease of implementation and development costs. A particularly interesting application is one in military telecommunications systems.*

## Retrodirective theory and basic topologies

*Retrodirective antennas transmit signals to a potential target (interrogator) without any prior knowledge of the incident signal direction and without the use of complex signal processing algorithms. Retrodirectivity is based on the self-phase conjugation of the input signal. Retrodirective antenna arrays can be classified according to their complexity into: sequences with corner reflectors, Van Atta arrays and retrodirective heterodyne arrays. On the basis of technology development, retrodirective antenna arrays can be classified into passive and active arrays.*

### Model of a retrodirective automatic tracking radar

*In order to explore possibilities of retrodirective antenna systems used for automatic target tracking, it is necessary to make a model of such a system. The system consists of three parts: retrodirective antenna array assembly, transmitting circuit and receiver circuit. Signal processing is divided into a primary part of the RF antenna and a secondary part in the IF range within the transceiver. RF signals are transmitted by a relevant transmitting signal assembly. The receiver consists of the blocks for power supply, data processing (signal processor), display of air situation, signal extraction, and communication as well as for other purposes without particular significance for this discussion.*

### Comparison of phase and retrodirective antenna arrays

*This section compares some basic characteristics of two types of antenna arrays, currently widely used phase arrays and retrodirective antenna arrays. The first major difference is in the way of signal transmission (Fig. 5). Phase array antennas scan a certain area by transmitting pulses with different phase positions into a defined space. Elements of retrodirective antennas also scan the whole space; however, if a pulse is reflected from any target, the antenna element automatically transmits a new pulse in the same direction as long as the incident signal occurs. This fundamental difference leads to two key differences: the complexity of the receiver (signal processor) and speed of target detection. Table 1 presents the main parameters of the two types of antennas.*

### Conclusion

*It can be concluded that this technology, simpler and cheaper to implement, improves the characteristics of the whole system. This technology has its place in modern science and technology, but further efforts are needed both in theory and in practice to implement this solution.*

*Key words: Retrodirectivity, retrodirective antennas, phase array antennas, Van Atta elements, hybrid retrodirectivity sequences, target acquisition time.*

Datum prijema članka: 26. 01. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 15. 02. 2012.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 16. 02. 2012.

# METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA INTEGRISANE TELEKOMUNIKACIONE I RAČUNARSKE MREŽE KOMANDNO-INFORMACIONOG SISTEMA ARTILJERIJSKOG DIVIZIONA ZA VATRENU PODRŠKU

Miletić M. *Slobodan*, Generalštab Vojska Srbije,  
Uprava za telekomunikacije i informatiku (J-6),  
CKISIP, Beograd,

Kokelj R. *Tugomir*, Univerzitet odbrane u Beogradu,  
Vojna akademija, Katedra naoružanja i opreme KoV, Beograd,

Manjak M. *Mladen*, Ministarstvo odbrane Republike Srbije,  
Vojnotehnički institut, Odsek elektronskih sistema, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202258M

OBLAST: telekomunikacione i računarske mreže  
VRSTA ČLANKA: stručni članak

## Sažetak:

*Komandno informacioni sistem (KIS) može se u širem smislu definisati kao skup hardverskih i softverskih rešenja pomoću kojih se u realnom vremenu ostvaruje integracija organizacionih struktura, doktrina, tehničko-tehnoloških sistema i sredstava, informacionih tokova i procesa s ciljem efikasnog i racionalnog odlučivanja i funkcionisanja. Vreme distribucije i kvalitet informacija direktno utiču na sprovođenje procesa donošenja odluka i predstavljaju kriterijume za ocenu efikasnosti sistema u čijem ostvarenju najvažniju ulogu ima integrisana telekomunikaciona i računarska mreža (ITRM) dimenzionisana da na prostornom rasporedu borbene taktičke jedinice poveže sve njene elemente u jednu komunikacionu celinu. Cilj je da se ustanovi metodologija projektovanja ITRM kao način na koji je potrebno sprovesti analizu i izdvojiti sve potrebne elemente za modelovanje koji se preslikavaju u elemente mrežne infrastrukture, a zatim analiziraju sa stanovišta telekomunikacionih parametara i komunikacionih standarda po slojevima OSI (Open System Interconnection) mrežnog modela. Relevantan način za proveru projektovanog modela ITRM sprovodi se izradom simulacionog modela koji daje adekvatne rezultate za donošenje zaključaka o ispunjenosti taktičkih borbenih zahteva i postavljanje taktičkih komunikacionih zahteva za realizaciju ITRM KIS-a artiljerijskog diviziona za vatrenu podršku.*

**Ključne reči:** *komandno informacioni sistem (KIS), integrisana telekomunikaciona i računarska mreža, ITRM, metodologija, informacioni tok, OSI mrežni model, mrežni element, mrežnocentrični, simulacioni model, vreme kašnjenja, artiljerijski divizion za vatrenu podršku.*

## Uvod

**K**omandno informacioni sistem (KIS) zastupljen na nivou taktičkih jedinica vojske ima osnovnu namenu da funkcionalno i strukturno uveže sve tehničko-tehnološke elemente u funkcionalnu celinu čiji je zadatak da upotrebom dobijenih podataka i distribucijom informacija u procesu KiR-a olakša donošenje odluka i komandovanje [1]. Vreme distribucije i kvaliteta informacija direktno utiču na proces donošenja odluka i predstavljaju osnovni kriterijum za ocenu efikasnosti sistema u čijem ostvarenju poseban uticaj ima integrisana telekomunikaciona i računarska mreža (ITRM) odnosno telekomunikaciona mreža kao njen sastavni segment. Ovakva uloga ITRM ukazuje na važnost načina projektovanja njenih elemenata i primenu odgovarajućih tehnologija u pristupnom i prenosnom delu sistema. U radu je na primeru taktičke jedinice ranga artiljerijskog diviziona za vatrenu podršku, načelno prikazana metodologija i postupak projektovanja modela ITRM. Analizom se predlaže načelna organizacijsko-formacijska struktura i definišu informacioni tokovi procesa KiR-a između grupa mrežnih elemenata razvrstanih primenom modova mrežnocentričnog koncepta. Razmatra se topološka i logička struktura ITRM uslovljene borbenim rasporedom jedinice na bojištu. Dat je način kojim se taktički komunikacioni zahtevi povezuju sa telekomunikacionim parametrima koji pokazuju stanje u mreži svedeno na srednje vreme kašnjenja informacija. Ukazano je na mrežne aplikativne servise i vrste aplikacija čijim se izvršavanjem na mrežnim elementima ITRM omogućava realizacija operativnih procedura u procesu KiR-a, distribucijom određenih vrsta podataka. Projektni elementi definišu se sa aspekta smernica za njihovu analizu u postupku projektovanja preliminarog modela, a zatim ukazuje na način za izvođenje različitih varijanti rešenja postupkom njegove optimizacije. Daju se smernice za primenu postupka simulacije i prikazuju rezultati simulacije različitih varijanti rešenja modela ITRM dobijenih upotrebom softverskog simulacionog alata OPNET IT Guru. Na kraju se izvodi zaključak o modelu prema postavljenim taktičkim i komunikacionim zahtevima potrebnim za postizanje zahtevane borbene efikasnosti.

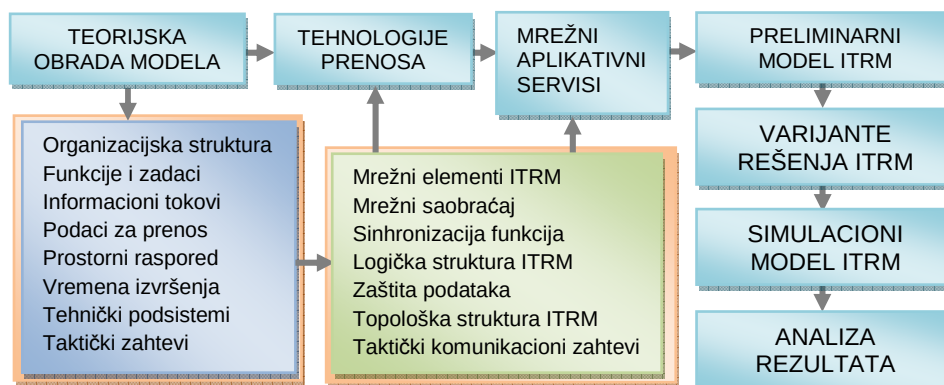
## Metodologija i postupak projektovanja ITRM

Metodologija projektovanja modela ITRM KIS-a taktičke borbene jedinice podrazumeva sprovođenje niza analitičkih koraka unutar kojih se primenom određenih postupaka dolazi do elemenata potrebnih za projektovanje mrežnog modela. Predviđeni koraci opisani u [2] su u vidu funkcij-

---

Napomena: Rad je nastao u okviru naučnog projekta „Rentabilan izbor novih tehnologija i koncepcija odbrane kroz društvene promene i strateške orijentacije Srbije“ (III 47029), koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

onalne blok-šeme prikazani na slici 1. S ciljem sveobuhvatne analize i sagledavanja svih elemenata koji imaju uticaj na efikasnost projektovanja modela ITRM, neophodno je sprovesti sve navedene faze i postupke.



Slika 1 – Faze u metodologiji projektovanja ITRM  
Figure 1– Phases in the methodology of the ITCN design

## Teorijska obrada modela

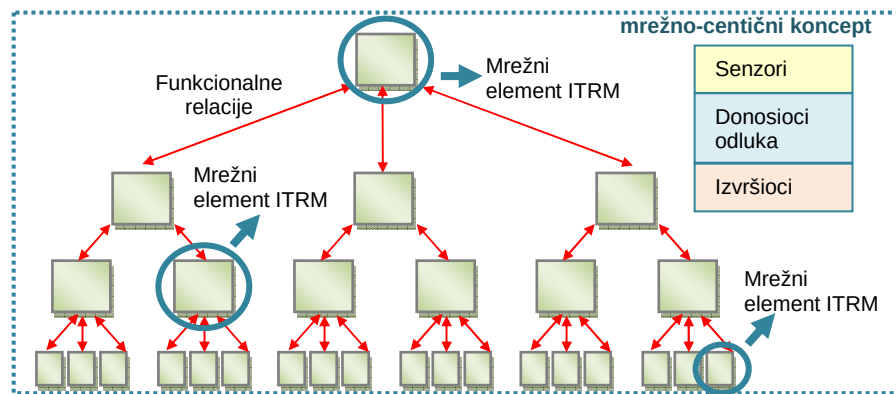
Postupak projektovanja modela ITRM počinje teorijskom obradom modela koja u procesu projektovanja KIS-a treba da bude analiza realnog sistema. Analiza se sprovodi proučavanjem literature i dokumenata kojima se u organizacionoj strukturi vojske definiše ustrojstvo jedne borbene jedinice. Misli se pre svega na literaturu koja definiše organizaciono-formacijsku strukturu jedinice, pravila o taktičkoj borbenoj upotrebi jedinice, pravilo komandovanja i rukovođenja, koncepcijske studije razvoja, uputstva za operativno planiranje i određivanje borbene efikasnosti taktičkih jedinica. Teorijskom analizom izdvajaju se elementi koji ukazuju na *organizacijsku strukturu, funkcije i zadatke, informacione tokove, prostorni raspored elemenata, vremena izvršenja operacija, zastupljene tehničke podsisteme i taktičke komunikacione zahteve*. Analizom se dolazi do odgovora šta treba da obezbedi KIS i kakvu ITRM treba projektovati da bi upotrebom informacionih sistema bili podržani funkcionalni zahtevi korisnika u procesu KiR.

### Organizaciona struktura

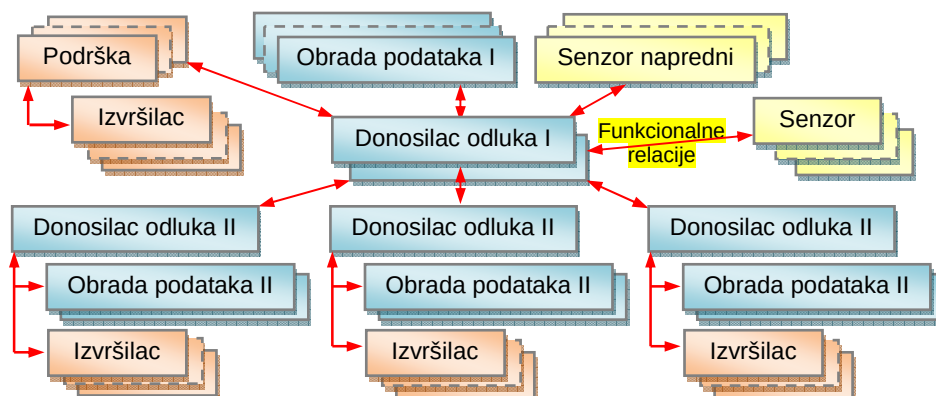
Cilj analize organizacione strukture jeste izdvajanje elemenata bojišta koji bi u modelu ITRM imali ulogu aktivnih mrežnih elemenata. Analiza se sprovodi postupkom dekompozicije strukture primenom principa mre-



žno-centričnog ratovanja po kojem elemente bojišta odnosno čvorove mreže treba definisati prema njihovim ulogama, odgovornostima, zadacima, odlukama koje donose, međusobnim konekcijama i prirodi informacija koju treba razmenjivati, a zatim izvršiti grupisanje čvorova prema tri osnovna moda u kojima se oni kao elementi bojišta mogu naći [3], a to su: **senzorski**, **odlučivanje**, **izvršenje**. Stepenn zastupljenosti moda kod pojedinačnog elementa bojišta zavisi od njegove uloge u vojnoj operaciji. Primenjujući navedeni postupak izdvajanja mrežnih elemenata (slika 2) na načelnu projekciju organizacijske strukture artiljerijskog diviziona za vatrenu podršku, a koja je u skladu sa strukturom sličnih jedinica vojski drugih država, izvedena je osnovna organizaciona funkcionalna šema jedinice prikazana na slici 3.



Slika 2 – Izdvajanje mrežnih elemenata po mrežno-centričnom konceptu  
Figure 2 – Separation of network elements in the network-centric concept



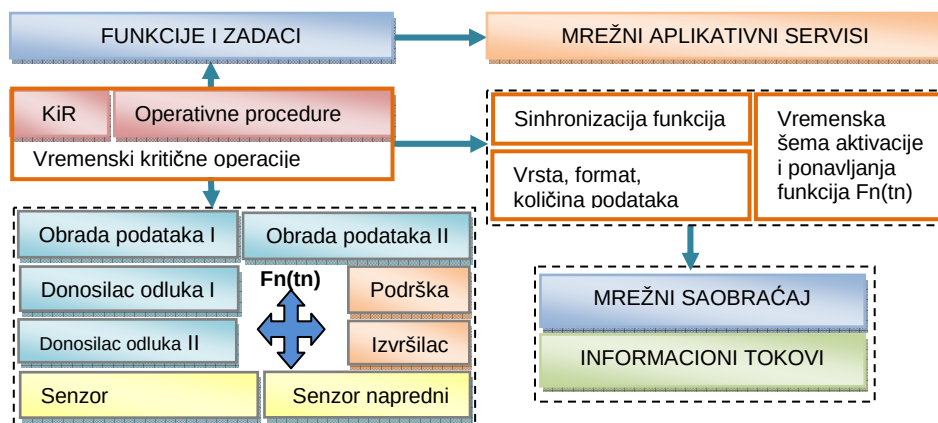
Slika 3 – Organizaciona funkcionalna struktura mrežnih elemenata  
Figure 3 – Organizational structure of the functional elements of the network

Detaljnijom analizom uloga, odgovornosti, zadataka koje obavljaju, odlukama koje donose, međusobnim konekcijama i prirodi informacija koje razmenjuju, izvršena je dodatna pod-klasifikacija elemenata organizacione strukture artiljerijskog diviziona za vatrenu podršku unutar osnovnih mrežnocentričnih modova. To su **senzori** (*senzor i napredni senzor*) za mod senzor, **donosioci odluka** (*donosilac odluka I, donosilac odluka II, obrada podataka I, obrada podataka II*) za mod odlučivanje, **izvršioci** (*podrška i izvršilac*) za mod izvršenje.

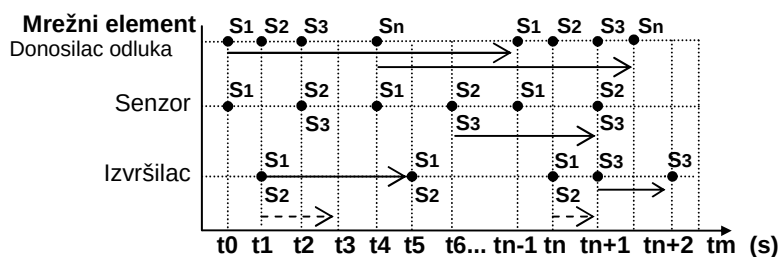
Osnovne funkcionalne relacije između grupisanih mrežnih elemenata izvedene su na osnovu hijerarhije određene procesom KiR-a artiljerijskim divizionom za vatrenu podršku. Navedena podela ima ključnu ulogu u sistematizaciji elemenata mreže prilikom projektovanja mrežne strukture, definisanja radnih stanica, podmreža i mrežnih aplikativnih servisa.

### *Funkcije i zadaci*

Svaki element organizacione strukture koji u modelovanju ITRM dobija ulogu mrežnog elementa izvršava jednu funkciju u skupu funkcija ostalih mrežnih elemenata pri čemu je potrebno ostvariti međusobnu vremensku sinhronizaciju početka, trajanja, završetka i ponavljanja funkcija. Sinhronizacija funkcija određena je relacijama regulisanim pravilima KiR-a, vremenskim trenucima njihove međusobne inicijalizacije i intervalima trajanja određenim u operativnim procedurama. Pored toga, analizom pravila operativnih procedura dolazi se do vrste, formata i količine informacija koja se distribuira u procesu KiR-a za različite vremenski kritične operacije u kojima se artiljerijski divizion može naći, a to su pre svega **priprema borbenog dejstva** i **borbena dejstva**. Navedene funkcionalne i vremenske relacije su neizostavno bitne u metodologiji simulacije mrežnog modela ITRM za opis i implementaciju realnog mrežnog saobraćaja. U postupku modelovanja ITRM funkcije mrežnih elemenata treba posmatrati kao informacione procese kojima će biti pridruženi odgovarajući mrežni aplikativni servisi. Načelne relacije, postupak i rezultat teorijske analize funkcija mrežnih elemenata ilustrativno su prikazani na slici 4. Rezultat analize funkcija i zadataka su vremenske šeme aktivacije i ponavljanja mrežnih aplikativnih servisa za grupe mrežnih elemenata, u odgovarajućoj vremenski kritičnoj operativnoj situaciji. Način izrade i prikaza vremenske šeme aktivacija i ponavljanja za  $F_n(t_n)$  funkcije (servisi  $S_n$ ) načelno je ilustrativno prikazan na slici 5 i predstavlja obrazac za izradu detaljne vremenske šeme, odakle se izdvajaju vremenski elementi potrebni za definisanje saobraćaja mrežnih aplikativnih servisa simulacionog modela.



Slika 4 – Blok šema postupka analize funkcija i zadataka  
Figure 4 – Block diagram of the analysis of functions and tasks



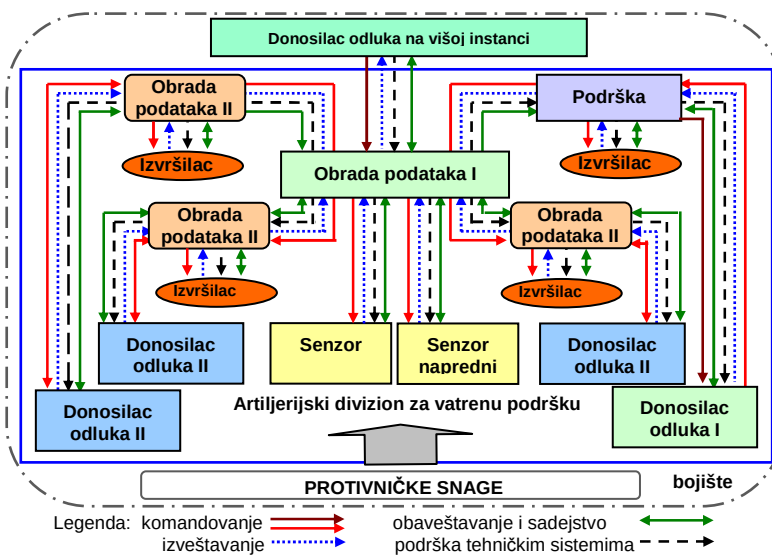
Slika 5 – Načelna šema aktivacije i ponavljanja funkcija (servisa) mrežnih elemenata  
Figure 5 – Basic scheme of the activation and the duplication of functions of network elements

Prema slici 5,  $t_0, t_1, \dots, t_{n+2}$  su vremena aktivacije funkcija  $S_1, S_2, \dots, S_n$  na mrežnim elementima donosilac odluka, senzor, izvršilac,  $t_m$  – vreme do kojeg se aktiviraju sve predviđene funkcije mrežnih elemenata.

## Informacioni tokovi

Realizacija funkcija mrežnih elemenata putem mrežnih aplikativnih servisa u suštini predstavlja distribuciju podataka i informacija od izvora nastajanja do odredišta gde će njihovo značenje biti iskorišćeno za postizanje određenog cilja. Informacioni tokovi su putanje kojima se u organizacionoj strukturi usmereno distribuiraju informacije između njihovih izvora i odredišta, gde vrstu informacija određuje sistem KiR-a koji obuhvata skup međusobno povezanih elemenata borbene jedinice čije se međusobne funkcionalne relacije zasnivaju na zakonitostima funkcionisanja vojne organizacije. Na osnovu tih relacija izvodi se matrica mrežnog saob-

braćaja. Distribucija informacija u artiljerijskom divizionu za vatrenu podršku realizuje se po redosledu predviđenim procedurama procesa KiR-a čime se postiže da svi mrežni elementi spoznaju situaciju na bojištu prikazanu putem ***zajedničke relevantne operativne slike ZROS*** (engl. Common Operational Picture), a u smislu potencijalnih i označenih ciljeva, trenutne borbene moći sopstvenih snaga, kvalitetnijeg i bržeg odlučivanja i pripreme za izvršenje borbenog dejstva. Po izloženom konceptu KiR se posmatra kao organizacioni i informacioni sistem preko kojeg se realizuju funkcije mrežnih elemenata: prijem, slanje i održavanje statusa informacija, procena situacije na bojištu, akvizicija ciljeva i izviđanje protivničkih snaga, priprema i distribucija planova i naređenja, komandovanje potčinjenim snagama. Za distribuciju informacija u organizacionoj strukturi artiljerijskog divizion na bojištu formirani su informacioni tokovi: ***komandovanje, izveštavanje, obaveštavanje i sadejstvo, podrška tehničkim sistemima*** koji su zbog projektovanja topološke i logičke strukture ITRM prikazani na slici 6.



*Slika 6 – Informacioni tokovi u artiljerijskom divizionu za vatrenu podršku*  
*Figure 6 – Information flows in the division artillery for fire support*

*Podaci za prenos*

Količina korisnih podataka, koji će se informacionim tokovima ITRM prenositi od izvora do odredišta, parametar je potreban za izbor tehnike pristupa, tehnologije i medijuma prenosa kao i za implementaciju mre-

žnog saobraćaja u simulacioni model. Analizu je potrebno izvršiti najpre sagledavanjem načina izvornog prikaza tih podataka prilikom njihove upotrebe u procesu KiR (glas, tekst, simbol na karti, slika, video, vreme), transformacijom izvorne informacije u digitalni podatak odnosno u formu elektronskog zapisa i sagledavanjem formata podataka koji se mogu generisati upotrebom aplikacija i hardvera.

Pored toga, potrebno je izračunati minimalne i maksimalne količine informacija koje se distribuiraju pojedinom mrežnom elementu, a zavisno od funkcije KiR koja se tom prilikom realizuje. Prenos informacija u ITRM zahteva primenu zaštitnog kodiranja komunikacionih kanala, te je potrebno u postupku određivanja količine podataka za prenos uzeti u obzir i uvećanje za količinu kodova potrebnih za njihovu zaštitu (rekonstrukciju, kriptovanje, otkrivanje greške) koja se može primeniti na pojedinim slojevima mrežnog OSI (*Open System Interconnection*) modela. Kodna i kriptna zaštita korisnih podataka neizostavni je faktor koji utiče na brzinu prenosa i zahtevani prenosni opseg komunikacionih kanala, a određena je primenjenim tehnikama kodiranja, dužinom, vrstom i načinom distribucije kriptoloških ključeva [4]. Potrebno je postojeće tehnike zaštitnog kodiranja razmatrati u odnosu na efikasnost zaštite koju obezbeđuju, dodatnu količinu unetih podataka, potrebne prenosne kapacitete, zahtevani BER i vremenski ostvarenu taktičku efikasnost.

Memorijske količine izvornih podataka za slanje pojedinom mrežnom elementu prema vrsti informacionog toka kojim se prenosi i funkciji koja se realizuje dobijene su analizom dokumentacije [5]. Pojedinim mrežnim elementima ITRM artiljerijskog diviziona za vatrenu podršku se za istu funkciju KiR može slati različita količina generisanih podataka, što je potrebno implementirati i u simulacioni model. Kroz informacione tokove u organizacionoj strukturi artiljerijskog diviziona mrežnim elementima se šalju digitalizovani podaci za čije su izvorne formate (poruka glasom, poruka alfanumerička, štampani alfanumerički znaci i tabele, štampane karte i simboli na karti, slika i video) izračunate minimalne i maksimalne količine podataka, što je detaljno izvedeno i tabelarno prikazano u [2].

### *Tehnički podsistemi*

Osnovu za realizaciju KIS-a čine tehnički podsistemi koje sačinjavaju svi hardverski i softverski elementi čijom se međusobnom integracijom obezbeđuje komunikaciona fizička struktura neophodna za sprovođenje informacionih procesa i uspostavljanje informacionih tokova. Hardverski i softverski elementi se definišu projektovanjem KIS-a. Tehnički podsistemi KIS-a artiljerijskog diviziona za vatrenu podršku su: ***podsistem ITRM*** kao osnovna fizička infrastruktura KIS-a gde je osnovni segment *telekomunikaciona i računarska mreža* kojom se uvezuju svi mrežni elementi i

vrši distribucija informacija; **podsystem senzora** kao tehničko-tehnoloških sredstava za automatizovano prikupljanje podataka i koji se analiziraju kao izvori informacija prosleđenih mrežnim elementima; **podsystem računara** čiji su elementi (serveri, radne stanice, prenosni računari, operativni sistemi, softverske aplikacije, baze podataka) raspoređeni u prostoru sa načinom rada zasnovanim na distribuiranoj obradi informacija, gde su krajnje tačke serveri i radne stanice sa komunikacijom tipa tačka-tačka, tačka – više tačaka ili difuznoj.

### *Prostorni raspored*

Raspored elemenata artiljerijskog divizionu za vatrenu podršku na prostoru bojišta je pre svega definisan namenom i pravilima taktičke upotrebe jedinice, dimenzionisan prostornom veličinom zone angažovanja i može biti različit zavisno od operacije koja se obavlja u prostoru. U pogledu modelovanja i projektovanja ITRM, prostorni raspored je faktor koji u velikoj meri utiče na topološku i logičku strukturu telekomunikacione i računarske mreže, izbor tehnologije i fizičkog medijuma prenosa. Projektovanje ITRM sa stanovišta prostornog rasporeda mrežnih elemenata sprovodi se definisanjem sledećih činilaca.

**Zona prostornog angažovanja** – dimenziono određen prostor u kojem se raspoređuju mrežni elementi, sa međurastojanjima definisanim borbenom namenom jedinice, vrstom i načinom upotrebe borbene tehnike. Ta rastojanja utiču na izbor i mogućnost upotrebe tehnologije i fizičkog medijuma prenosa. **Raspored mrežnih elemenata u zoni angažovanja** – sprovesti u skladu sa pravilima taktičkog rasporeda organizacionih elemenata artiljerijskog divizionu za vatrenu podršku u propisanim granicama zone njihovog rasporeda vodeći računa o njihovim međurastojanjima i pozicijama. **Projektovanje topološke strukture** – u skladu sa funkcijama i relacijama KiR-a koje treba postići između mrežnih elemenata u komunikaciji tačka-tačka, tačka – više tačaka, odgovarajućom topologijom *stabla*, *zvezde*, nepotpune ili potpune *mesh* strukture uvezujući celokupan raspored ili samo pojedine mrežne elemente. **Projektovanje logičke strukture** – izvršiti uzimajući u obzir realizaciju funkcionalnih relacija KiR, informacionih tokova, i prostornu organizaciju grupa istih mrežnih elemenata. **Analizu i izbor tehnologije i fizičkog medijuma prenosa** – sprovesti u smislu sagledavanja njihovih tehničko-tehnoloških karakteristika i upotrebljivosti za realizaciju definisane topološke i logičke strukture uzimajući u obzir vrednosti međurastojanja. U postupku projektovanja topološke i logičke strukture za dati prostorni raspored potrebno je u što većoj meri implementirati princip mrežnocentričnog ratovanja po kojem treba ostvariti hijerarhijsko povezivanje svih elemenata sa svim elementima.

## Vremena izvršenja

Varijabilnost samih izvora u pogledu količine, brzine, vremenskih trenutaka i intervala trajanja generisanja podataka ukazuje da je vreme izvršenja funkcije KiR jedan od ključnih, a suštinski bitan element za implementaciju mrežnog saobraćaja u simulacioni model. Pravilnim definisanjem izvora i što realnijim opisom toka mrežnog saobraćaja neophodno je pojedinačno za svaku grupu mrežnih elemenata izvršiti analizu scenarija sa stanovišta vremena i redosleda izvršavanja pojedinih funkcija KiR, intervala trajanja i ponavljanja, uključujući sve funkcije koje ti elementi izvršavaju. Rezultat analize saobraćaja opisanog na ovakav način predstavlja **vremenski scenario simulacije** mrežnog modela i treba ga prikazati u vidu vremenske šeme aktivacija i ponavljanja funkcija za scenarije mrežnog saobraćaja u vremenski kritičnim operativnim situacijama (*priprema borbenih dejstava i borbena dejstva*).

## Zahtevi za podsistem ITRM

Krajnji domet projektovanja ITRM kao podsistema KIS-a artiljerijskog divizionu za vatrenu podršku jeste dostizanje kvaliteta kojim se u realnom vremenu obezbeđuje otkrivanje ciljeva i dejstvo po njima. Pod realnim vremenom KIS-a podrazumeva se da je odziv sistema brži od promene ulazne pobude sistema. Data definicija generalno predstavlja projektni cilj i osnovni kriterijum za definisanje zahteva koje treba ispuniti projektovanjem modela ITRM, a to su: **funkcionalnost** – sposobnost ispunjavanja kriterijuma u različitim uslovima rada uz prisustvo elektronskog ometanja, **integracija** – komunikacionih linkova i računarskih čvorova u jednu celinu radi upotrebe više modova za prenos podataka i više tipova linkova čime se povećava fleksibilnost i efikasna upotreba senzora, **skalabilnost** – kojom se omogućava umanjeње ili uvećanje funkcionalne sposobnosti KIS-a bez promene postojeće strukture, **multiservisnost** – mogućnost implementacije više tipova različitih mrežnih aplikativnih servisa, **kvalitet servisa** – tehnološki uslovi za ispunjenje kvaliteta servisa QoS (*Quality of Service*) zasnovanih na IP (*Internet Protocol*), **pouzdanost mreže** – sposobnost funkcionisanja ITRM u slučaju vitalnih delova mreže, **kapacitet i brzina** – sposobnost prenosa informacija velikom brzinom sa malim vremenskim kašnjenjem koje je za jedinice sa do 100 mrežnih elemenata veličine reda sekundi [3]. Ostvarenje efikasnosti artiljerijskog divizionu za vatrenu podršku sa aspekta prisustva KIS-a, navedene u [6],

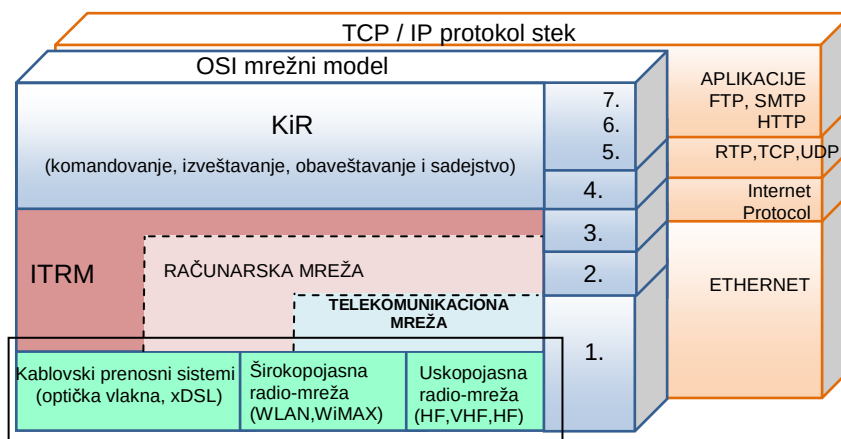
određuje i zahtev koji ITRM treba da ispuni u pogledu kriterijuma vremena i tačnosti distribucije informacija. On se odnosi na vreme potrebno da informacija od trenutka njenog generisanja na izvoru *celokupna* stigne kroz sistem na određeno odredište, *potpuno tačno*, *verodostojno* i *pravovremeno* bude dostupna organizacionom elementu koji je koristi za izvršavanje zadatka. Ovakvi zahtevi nazivaju se **taktički komunikacioni zahtevi** i potrebno ih je iskazati numeričkim vrednostima komunikacionih parametara koji se u projektovanju ITRM koriste kao pragovi kriterijuma čija se ispunjenost proverava simulacijom. Komunikacioni parametar kojim se najbliže mogu definisati vremena pristizanja i raspolaganja informacijama na prostornim pozicijama mrežnih elemenata je **srednje vreme kašnjenja** paketa kao osnovnog kriterijuma za vrednovanje mreža zasnovanih na komutaciji paketa. Matematička relacija srednjeg vremena kašnjenja  $T$  sa komunikacionim parametrima brzinom generisanja saobraćaja ( $\lambda_i$ ), srednjom veličinom paketa ( $b$ ), kapacitetom linka ( $C_i$ ), koja u dovoljnoj meri odražava stanje projektovane mreže sa  $M$ -izvora i koja je dovoljna kao osnovni kriterijum za ocenu efikasnosti izvedena je u [7] i data sa:

$$T = \sum_{i=1}^M \lambda_i / (\gamma (\eta_i C_i - \lambda_i)) \quad (1)$$

## Tehnologije prenosa

Razmatranje telekomunikacione i računarske mreže sa aspekta tehnika višestrukog pristupa i implementacije različitih tehnologija prenosa u ITRM je neophodan korak potreban da bi se odredile mogućnosti za realizaciju zahtevane funkcije. Izbor tehnike pristupa i tehnologije prenosa predstavlja jedan od ključnih faktora koji određuju da li će i u kojoj meri biti postignuta efikasnost telekomunikacione i računarske mreže, a potrebno ga je sprovesti u odnosu na OSI mrežni model s ciljem ostvarivanja kompatibilnosti usled povezivanja različitih telekomunikacionih mreža i mrežne opreme [4]. Modelovanje ITRM i analiza kroz simulacioni model upravo treba da pokaže i da smernice za izbor tehnologije prenosa i način optimizacije njenih karakteristika, čime se postiže prednost u planiranju zadataka koje telekomunikaciona i računarska mreža treba i može da ispuni. Odnos tehnologije prenosa, ITRM i mrežnih aplikativnih servisa razmatra se sa aspekta OSI mrežnog modela i TCP/IP protokol steka upotrebom Ethernet tehnologije, što je ilustrativno prikazano na slici 7 [2].





Slika 7 – Tehnologije prenosa ITRM u artiljerijskom divizionu za vatrenu podršku  
Figure 7 – ITCN technology transfer in the artillery battalion for fire support

## Mrežni aplikativni servisi

Realizacija funkcija KiR-a ostvaruje se distribucijom tačno određene vrste informacija i uspostavljanjem informacionog toka od izvora do odredišta. Proces razmene informacija realizuje se izvršavanjem aplikacija tipa klijent–server na serverima i radnim stanicama kojima su aplikacije potrebne da se na njihovim lokacijama u prostornom rasporedu sprovodi predviđena funkcija KiR-a. Svaka aplikacija ima svoju pojedinačnu ulogu u distribuciji informacije i u tom pogledu smatra se mrežnim aplikativnim servisom u koji je preslikana funkcija KiR-a pri čemu servis može formirati jedna ili više aplikacija. Uvođenje servisa u projektovanju ITRM je neophodno sa stanovišta definisanja mrežnog saobraćaja i postavljanja zahteva za telekomunikacionu mrežnu strukturu.

Pojedini servisi zahtevaju komunikaciju u realnom vremenu (interaktivne aplikacije), pouzdanu distribuciju informacija (distributivni servisi) odnosno servise po zahtevu (e-mail, video, audio, transfer fajlova). Raznovrsnost zahteva za kvalitetom servisa (QoS) uz količinu saobraćaja koji generiše sama aplikacija u okviru servisa, određuje i različite zahteve za potrebnim propusnim opsegom. Za realizaciju funkcija i procesa KiR-a artiljerijskim divizionom za vatrenu podršku i za implementaciju mrežnog saobraćaja u simulacioni model ITRM predloženi su sledeći mrežni aplikativni servisi: **VoIP** – interaktivan servis koji omogućava prenos glasa i poruka preko IP saobraćaja, **Email** – servis predviđen za slanje poruka, naređenja i izveštaja informacionim tokom komandovanja i izveštavanja, **GIS** – servis namenjen za prikupljanje podataka od mrežnih elemenata

dobijenih putem senzora i na osnovu kojih se u centrima za fuziju podataka formira ZROS koja se distribuira mrežnim elementima, **DBASE** – servis predviđen da se po zahtevu mrežnog elementa pristupi određenoj bazi podataka i preuzme ili upiše pomoćni podatak potreban za realizaciju funkcije KiR-a, **VIDEO** – interaktivan servis predviđen da se po zahtevu određenih mrežnih elemenata uspostavi prenos video podataka u realnom vremenu odnosno uspostavi video-konferencija, **PTS** – servis distributivnog tipa predviđen da mrežnim elementima difuzno ili po zahtevu šalje podatke za korekciju prostorne pozicije i sistemskog vremena za izvođenje operacija.

### *Protokoli*

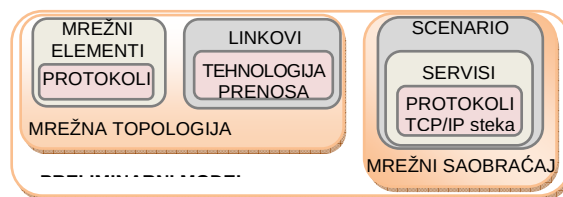
Realizaciju mrežnih aplikativnih servisa sa različitim zahtevima i distribucijom različitih tipova podataka (glas, podaci, audio, video) preko iste mrežne strukture omogućavaju aplikacije zasnovane na IP paket-skom mrežnom saobraćaju i primeni protokola TCP/IP protokol steka. Navedene karakteristike IP zasnovanih servisa upućuju na njihovu implementaciju u simulacioni model i analizu razmatranjem parametara mrežnog saobraćaja (brzina prenosa, kašnjenje i gubitak paketa, bitska greška, vršni protok). Projektovanje rešenja servisa zahteva definisanje aplikacija sa stanovišta protokola koji se koriste za generisanje paketa počevši od protokola aplikativnog nivoa, transportnih (npr. TCP, UDP), mrežnog IP do protokola za prenos preko fizičkog medijuma (Ethernet).

### *Veličine paketa i fajlova*

Memorijska veličina informacije koju treba preneti do mrežnog elementa odražava vrstu i količinu korisne informacije, servis, način zaštite sadržaja, protokolski mehanizam, brzinu generisanja na fizički medijum i kao takva je neizostavan uslov koji utiče na vremena kašnjenja odnosno odziv mrežnog aplikativnog servisa. Pored određivanja količine korisnih podataka koje treba preneti, neophodno je izvršiti formiranje IP odnosno Ethernet paketa procesom **enkapsulacije** kako bi se dobila veličina fajla koji se prenosi i koja zavisi od broja potrebnih paketa. Veličina paketa uslovljena je i definicijom zaglavlja upotrebljenih protokola. Količina korisnih podataka koji ulaze u sastav paketa zavisi od odluke da li se želi brži prenos informacija i manji broj paketa ili sporiji pouzdan prenos i veći broj paketa vodeći računa o tome da li se prenos kroz mrežu vrši uz uticaj elektronskog ratovanja koje može dovesti do degradacije paketa čime se inicira njihov gubitak i ponovno slanje, a time i veće kašnjenje odnosno dobijanje nepotpune informacije.

## Preliminarni model

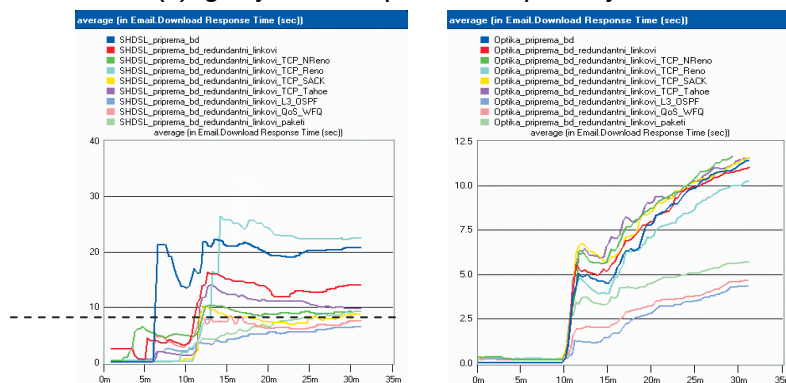
Projektovanje rešenja modela ITRM je postupak u okviru kojeg se na osnovu svih rezultata i postavljenih zahteva proisteklih prethodnom analizom i uz postavljanje potencijalno mogućih dodatnih ograničenja definišu elementi modela i njihovi međusobni odnosi. Predlog osnovnog modela ITRM je preliminarni model čija je struktura prikazana na slici 8.



Slika 8 – Struktura preliminarnog modela ITRM  
Figure 8 – The structure of the ITCN preliminary model

Varijacijom elemenata ove strukture kao i njihovih parametara vrši se **optimizacija** i izvede različite varijante rešenja modela s ciljem ostvarenja postavljenih komunikacionih zahteva. Upotrebom simulacionog alata OPNET IT Guru i primenom metodologije projektovanja simulacionog modela opisane u [8] vrši se preslikavanje modela ITRM u simulacioni model, izvršavaju simulacije i dobijaju grafički prikazani rezultati.

Za potrebe ovog rada su na slici 9 (a) i (b) kao primer prikazani rezultati simulacije, tj. vremena odziva prenosa *Email* servisa za vremenski scenario *priprema b/d* i *borbena dejstva*, na nivou cele ITRM artiljerijskog divizionu za vatrenu podršku. Rezultati na slici 9 (a) pokazuju da se upotrebom SHDSL tehnologije i bakarne parice za realizaciju glavnih linkova delimično ispunjavaju vremenski kriterijumi ali prostorno ograničava manevarska taktička efikasnost u odnosu na mnogo efikasniju upotrebu optičkog kablja prikazanu rezultatima na slici 9 (b), gde je i domet prostorne upotrebljivosti veći.



Slika 9 (a), (b) – Vremena kašnjenja Email servisa u ITRM  
Figure 9 (a), (b) – Time delays in the Email service of the ITCN

## Zaključak

Primena načelno opisane metodologije u postupku projektovanja modela ITRM predstavlja jedan od načina da se metodološki sagledaju i uključe svi faktori koji utiču na opis realnog modela i sprovede postupak njegove optimizacije. Primena postupka simulacije omogućava dobijanje rezultata koji su adekvatna osnova za izvođenje zaključaka o taktičkoj efikasnosti borbene jedinice postignute pravovremenom i kvalitetnom distribucijom informacija u telekomunikacionoj i računarskoj mreži.

Projektovanjem simulacionog modela ITRM posebno se ostvaruje prednost u planiranju i ispravnoj implementaciji tehnologije i fizičkog medijuma prenosa za realizaciju komunikacione strukture KIS-a taktičkih jedinica vojske.

## Literatura

- [1] Manjak, M., Miletić, S., *Komandno informacioni sistem brigade KoV (koncept)*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 2, pp. 78–93, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.
- [2] Miletić, S., *Modeliranje i optimizacija integrisane telekomunikacione i računarske mreže komandno informacionog sistema jedne borbene taktičke jedinice*, magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2010.
- [3] Alberts, D., Garstka, J., Stein, F., *NETWORK CENTRIC WARFARE: Developing and Leveraging Information Superiority, 2nd Edition (Revised)* DoD C4ISR Cooperative Research Program, 2000.
- [4] Dukić, M., *Principi telekomunikacija*, Akademska misao, Beograd, 2008.
- [5] GŠ VS „Uputstvo za operativno planiranje i rad komandi u VS – privremeno“, 2008.
- [6] Kovač, M., Batinić, S., Kokelj, T., *Uputstvo za određivanje borbenih mogućnosti jedinica KoV*, GŠ VSCG, Sektor KoV; OpU-68, Beograd, 2004.
- [7] Sinkovic, V., „Informacijske mreže“, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [8] OPNET IT Guru “Product Documentation: IT Guru User Guide”, OPNET Technologies, 2005.

METHODOLOGY OF THE DESIGN OF AN INTEGRATED  
TELECOMMUNICATIONS AND COMPUTER NETWORK  
IN A CONTROL INFORMATION SYSTEM FOR ARTILLERY  
BATTALION FIRE SUPPORT

FIELD: Telecommunications and Computer network  
ARTICLE TYPE: Professional Paper

### Summary:

*A Command Information System (CIS) in a broader sense can be defined as a set of hardware and software solutions by which one achieves real-time integration of organizational structures, doctrine, techni-*

cal and technological systems and facilities, information flows and processes for efficient and rational decision-making and functioning. Time distribution and quality of information directly affect the implementation of the decision making process and criteria for evaluating the effectiveness of the system in which the achievement of the most important role is an integrated telecommunications and computer network (ITCN), dimensioned to the spatial distribution of tactical combat units connecting all the elements in a communications unit. The aim is to establish the design methodology as a way of the ITCN necessary to conduct analysis and extract all the necessary elements for modeling that are mapped to the elements of network infrastructure, and then analyzed from the perspective of telecommunications communication standards and parameters of the layers of the OSI network model. A relevant way to verify the designed model ITCN is the development of a simulation model with which adequate results can be obtained. Conclusions on the compliance with the requirements of tactical combat and tactical communication requirements are drawn on the basis of these results.

#### Introduction

##### *The methodology of ITCN model design*

*The methodology of designing CIS ITCN models in a tactical combat unit involves implementing a series of analytical steps within which the implementation of specific actions leads to the elements needed to design the network model.*

##### *Theoretical analysis model*

*Theoretical analysis to distinguish elements that indicate the organizational structure, functions and tasks, information flows, the spatial arrangement of elements, the time of execution of operations, represent the technical sub-systems and tactical communications requirements. Each element of the organizational structure the ITCN modeling gets the role of a network element and performs a function in a set of functions. Information flows are paths where the organizational structure aims to distribute information between their source and destination, which determines the type of information system of command. A data transmission network is one of the parameters necessary for the subsequent choice of technology access, technology and transmission medium for the realization of information flows and the deployment of network traffic into the simulation model. In terms of modeling and designing, ITCN spatial distribution is a factor that greatly influences the topology and the logical structure of ITCN, the choice of technology and the physical medium of transmission. The basic requirements in designing ITCN models are functionality, integration, scalability, multiservice, QoS, reliability, transmission capacity and speed. A requirement relating to the time it takes for information from the moment of its generation at source to arrive through the entire system to a specified destination, entirely accurate, credible and timely, is an available organizational structure used to execute the task.*

#### Technology transfer

*The choice of a technique for access and transmission technology is one of the key factors that determine whether and to what extent efficiency of telecommunications and computer networks can be achieved.*

#### Network Application Services

*The implementation of the Application Service IP-based packet transport network allows transparent transmission of different types of traffic (voice, data, audio, video, multimedia) over the same network structure.*

#### Preliminary model

*The ICTN basic model is presented in the form of a preliminary model. Variations of its structure elements and their parameters optimization are performed resulting in different versions of the model solutions which meet the requirements.*

#### Conclusion

*The application of the principle of the methodology described in the process of designing ICTN models is one way to look at methodology and include all factors that affect the description of a real model and implement the procedure of its optimization. The application of the simulation enabled obtaining the results that were an adequate basis for drawing conclusions about the effectiveness of tactical combat units.*

*Key words: Command Information System (CIS), integrated telecommunications and computer network (ICTN), methodology, information flow, OSI network model, network element, network-centric, simulation model, latency time, artillery battalion for fire support*

Datum prijema članka: 06. 05. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 15. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 16. 10. 2011.

# ODREĐIVANJE MOGUĆNOSTI ODREDA ZA OTKLANJANJE POSLEDICA HEMIJSKOG UDARA U ZONI ODBRANE BRIGADE

Indić R. *Dejan*, Univerzitet odbrane u Beogradu,  
Vojna akademija

DOI: 10.2298/vojtehg1202275I

OBLAST: hemijske tehnologije  
VRSTA ČLANKA: stručni članak

## Sažetak:

*U radu je prikazan jedan o mogućih načina upotrebe odreda za otklanjanje posledica hemijskog udara u zoni odbrane brigade. Navedeni sastav je privremen i formira se u zavisnosti od procene da li će neprijatelj u predstojećim borbenim dejstvima koristiti oružje za masovno uništavanje. Odred je sastavljen od nekoliko organizacijskih celina: snage za sanitetsko zbrinjavanje, snage za hemijsko izviđanje, snage za uspostavljanje borbene sposobnosti jedinica i snage za hemijsku dekontaminaciju. Mogućnosti navedenih snaga uslovljene su njihovom brojnom veličinom, opremljenošću, stepenom obučenosti, obimom nastalih posledica i borbenim uslovima. Rad ukazuje na moguće prevazi-  
laženje problema njegovog formiranja zbog praznine u pravilskim odredbama nakon rasformiranja korpusa kopnene vojske.*

Ključne reči: *odred, mogućnost, otklanjanje posledica.*

## Uvod

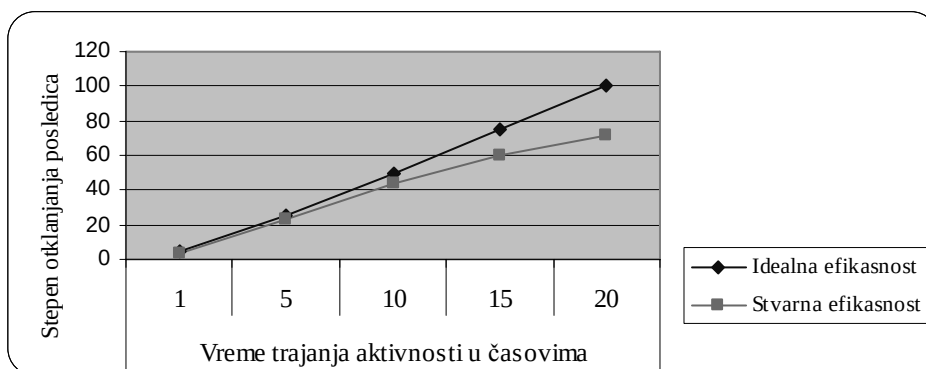
Od samog početka upotrebe hemijskog oružja pristupilo se i pred-  
uzimanju mera otklanjanja posledica njegove primene. U skoro  
svim armijama sveta formiraju se odredi za otklanjanje posledica nuklear-  
nih (N) i hemijskih (H) udara. U našoj vojsci odred se formirao i postojao  
u borbenom rasporedu korpusa Kopnene vojske (korpus KoV), ali je nji-  
hovim rasformiranjem nastao vakuum. Navedeni problem može se pre-  
vazići u brigadama KoV, koje bi od dela postojećih jedinica (inžinjerijske,  
oklopne, sanitetske i dr.) i ojačanjem jedinicama ABH službe od pretposta-  
vljene komande mogle formirati odred za otklanjanje posledica (OdZOP)  
u slučaju primene oružja za masovno uništavanje.

Sastav odreda nije precizno određen i najčešće je uslovljen nastalim  
posledicama i mogućnostima jedinica brigade u datim okolnostima. Bri-  
gada KoV u odbrani može biti u različitim stepenima gotovosti za odbra-

nu, što zahteva konkretizaciju stanja brigade. Borbeni, prostorni i vremenski uslovi neposredno utiču, kako na posledice dejstva, tako i na način i brzinu otklanjanja posledica. Takođe, treba napomenuti da jedinice brigade izvode borbena dejstva i da svaka jedinica ima svoj zadatak, te da je izdvajanje delova ili cele jedinice veoma složeno.

Odred za otklanjanje posledica prilikom NH udara je, po dosadašnjim načelima, privremeni sastav koji se formira od različitih jedinica radi brzog i sveobuhvatnog otklanjanja posledica primene NH oružja. U svom sastavu ima snage za: sanitetsko zbrinjavanje ljudi, hemijsko i radiološko izviđanje, uspostavljanje borbene sposobnosti jedinice, izvođenje dekontaminacionih radova i dr.

Neophodno je imati u vidu da, u zavisnosti od borbenih uslova, efikasnost (sposobnost delova i odreda u celini za obavljanje određene aktivnosti u jedinici vremena) opada u zavisnosti od trajanja aktivnosti, tako da je efikasnost u početku izvršenja zadatka maksimalna (uticaj borbenih uslova minimalan, a koeficijent borbene situacije jednak jedinici), a da tokom vremena opada, a uticaj borbenih i drugih uslova raste. Grafički prikaz uticaja borbenih uslova i dužine trajanja aktivnosti na efikasnost dat je na *grafikonu 1*, gde je predstavljen odnos efikasnosti odreda u idealnim i stvarnim uslovima u zavisnosti od trajanja realizacije zadatka [1].



Grafikon 1 – Uticaj borbenih uslova i dužine trajanja aktivnosti na efikasnost odreda za otklanjanje posledica

Figure 1 – Impact of combat conditions and duration of activity on the efficiency of a detachment for the neutralisation of NBC effects

Borbeni uslovi različito utiču na efikasnost pojedinih delova odreda i prilikom izračunavanja ukupnih mogućnosti moraju se izračunati mogućnosti za svaki od pojedinih delova odreda za izvršenje namenskih zadataka u uslovima primene hemijskog oružja, a zbir njihovih mogućnosti predstavlja ukupne mogućnosti odreda. Pri dejstvu visokotoksičnih materija potrebno je izvršiti potpunu hemijsku zaštitu angažovanog ljudstva, što dodatno može umanjiti mogućnosti odreda [2].



## Mogućnosti odreda za sanitetsko zbrinjavanje ljudi

Sanitetsko zbrinjavanje ljudi predstavlja jedan od najvažnijih zadataka odreda za otklanjanje posledica. Čine ga mere i postupci za brzo i pravovremeno pružanje pomoći povređenim i zatrovanim, hitno pronalaženje poginulih i povređenih (zatrovanih), izvlačenje iz kontaminiranog rejonu i zbrinjavanje u medicinskim ustanovama (ili sahranjivanje poginulih).

Zbog kratkog vremena za pružanje prve pomoći zatrovanim toksičnim hemijskim supstancama (3 do 5 minuta) te aktivnosti neće moći da realizuje ljudstvo iz sastava odreda za otklanjanje posledica, već pripadnici jedinice zahvaćene hemijskim udarom u vidu samopomoći i uzajamne pomoći. Zbog toga ovaj segment nije obrađen u radu.

Nakon izvršenog hemijskog udara, usled dejstva parčadi projektila i nastanka hemijske kontaminacije, neminovno će doći do različitih povreda, intoksikacije i kontaminacije ljudi. Zbog toga je neophodno hitno pronaći nesrećene i, u skladu sa situacijom, pripremiti ih za evakuaciju.

*Prilikom pronalaženja unesrećenih* potrebno je detaljno pretražiti teren i pronaći sve povređene koji mogu biti i u besvesnom stanju, čime će njihovo pronalaženje biti znatno otežano. Odmah po pronalaženju povređenih i zatrovanih pristupa se merama prve pomoći na mestu povređivanja, ukoliko nisu pružene u vidu samopomoći ili uzajamne pomoći (samih pripadnika zahvaćene jedinice) i sastoje se u stavljanju zaštitne maske povređenima (kako bi se zaštitilo lice i nastajanje unutrašnje kontaminacije), ubrizgavanju antidota, zaustavljanju eventualnih krvarenja i sprečavanju ugušenja. Zbog visoke toksičnosti pojedinih toksičnih hemijskih supstanci (THS) pružanje prve pomoći traje veoma kratko i obavlja se sa licima čije su povrede takvog karaktera da bi čekanje sa pružanjem medicinske pomoći imalo tragične posledice. Od velikog značaja mogu biti blagovremeno sprovedene pripreme i obučavanje ljudstva u sprovođenju mera samopomoći i uzajamne pomoći u slučaju trovanja određenim THS. Deo mera prve pomoći može se sprovesti i u toku evakuacije povređenih.

Odmah po pronalaženju i pružanju prve pomoći (teže povređenim licima) pristupa se *evakuaciji povređenih*. Povređeni se prenose do prihvatnice gde se obavlja trijaž i pruža medicinska pomoć. Po pronalaženju i izvlačenju povređenih pristupa se izvlačenju poginulih i njihovom transportu na za to određeno mesto (sabitralište).

*Trijaž* obuhvata izdvajanje onespособljenog ljudstva i njegovo razvrstavanje prema stepenu kontaminacije i povreda. Naravno da će deo trijaža izvršiti komandiri osnovnih jedinica (samostalno ili uz pomoć organa ABHSI, sanitetske i drugih službi). Međutim, u zavisnosti od kompleksnosti situacije deo trijaža povređenog i obolelog (zatrovanog) ljudstva izvršiće se u sanitetskoj prihvatnici od strane stručnih lica.

Trijaž treba da obezbedi redosled u pružanju prve pomoći i prvenstvo pri evakuaciji onih povređenih i obolelih (p/o) čiji je život u opasnosti kako bi im se pravovremeno omogućilo pružanje specijalističke pomoći. Prioritet u zbrinjavanju imaju lica kod kojih su ugrožene vitalne životne funkcije.

Zbog velike toksičnosti otrova i brzine ispoljavanja dejstva trijaž se izvodi posle prve pomoći i pojedinačne dekontaminacije. Pri trijažu se mora imati u vidu način kontaminacije, tj. ustanoviti da li je ona unutrašnja ili spoljna. Pri unutrašnjoj kontaminaciji (trovanju) ljudstva najčešće se odmah javljaju i simptomi trovanja, te ovakvo ljudstvo treba odmah posle ukazane prve pomoći evakuisati. Zatrovano ljudstvo sa ispoljenim simptomima trovanja, a istovremeno i ranjeno, evakuise se odmah posle ukazane prve pomoći, dok se ranjeno ljudstvo i istovremeno kontaminirano spoljnom kontaminacijom evakuise posle pojedinačne dekontaminacije. Prilikom trijaža na stranu treba izdvojiti lakše povređene i lica koja nisu kontaminirana, odnosno one koji se posle ukazane medicinske pomoći mogu vratiti u jedinicu.

U ovoj fazi sprovodi se i delimična dekontaminacija radi umanjenja stepena kontaminacije otkrivenih delova tela i lica, odeće i ličnog naoružanja. Dekontaminacija se vrši upotrebom ličnih pribora (LPD), a kada ih nema izvodi se priručnim sredstvima (tamponi od vate ili gaze, maramice, peškir, krpe, voda, sapun i dr.). Osnovno pravilo je da se kapljice otrova ne razmažu po mestu kontaminacije, već upiju, a zatim se kontaminirana mesta peru vodom i sapunom. Da bi dekontaminacija bila efikasna mora se izvršiti odmah nakon kontaminacije, a najkasnije 3 do 5 minuta od momenta kontaminacije. Odeća i lično naoružanje dekontaminiraju se na sličan način, s tim da se kontaminirana odeća može u određenim slučajevima skinuti i izložiti prirodnoj dekontaminaciji. Navedene aktivnosti izvode se uz korišćenje ličnih zaštitnih sredstava.

*Mere medicinske pomoći* u sanitetskoj prihvatnici svode se na dopunu već preduzetih mera prve pomoći, pružanje pomoći licima kojima nije pružena i eventualno pružanje nekih elemenata opštemedicinske pomoći u zavisnosti od uslova i mogućnosti.

Zbog specifičnih povreda različitog porekla medicinsko zbrinjavanje i oporavak povređenih je dugotrajan proces. Zbog toga se delokrug sanitetskog zbrinjavanja povređenih od strane snaga iz sastava odreda za otklanjanje posledica završava odmah po evakuaciji, odnosno predavanju povređenih u nadležne medicinske ustanove.

Posle pružene pomoći svi povređeni i oboleli, osim onih koji se vraćaju u jedinicu, treba da se *evakušu* transportnim sredstvima u sanitetsku ili zdravstvenu ustanovu na definitivno zbrinjavanje. Za ovu aktivnost prevashodno se koriste transportna sredstva snaga za zbrinjavanje ljudi iz odreda za otklanjanje posledica.

## Struktura snaga za sanitetsko zbrinjavanje ljudi

Za sanitetsko zbrinjavanje ljudi angažuje se deo snaga odreda za otklanjanje posledica, sledećeg sastava i namene:

– *sanitetska grupa* – namenjena za pronalaženje p/o, pružanje pomoći na mestu povređivanja, trijaž p/o, delimičnu dekontaminaciju (licima kojima to nije urađeno na mestu H udara), pružanje medicinske pomoći u sanitetskoj prihvatajici i pripremi za evakuaciju u sanitetske etape ili ustanove zdravstvene službe na definitivno zbrinjavanje. Grupa je sastavljena od lekara, medicinskih tehničara, bolničara i ostalih lica (stomatolozi, tehničari, vozači);

– *auto-odeljenje (sa potrebnim brojem vozila)* – namenjeno za transport povređenih, zatrovanih i poginulih od mesta prikupljanja do sanitetskih ustanova i sabirališta;

– *vod (streljački, mehanizovani)* – namenjen za pronalaženje, izvlačenje, prikupljanje i prenošenje do sanitetske prihvatnice, a zatim i do transportnih sredstava i sabirališta, povređenih (zatrovanih) i poginulih.

## Mogućnosti snaga za sanitetsko zbrinjavanje ljudi

Delovi odreda za otklanjanje posledica koji čine snage za sanitetsko zbrinjavanje ljudi na osnovu svoga sastava (ljudskih i materijalnih resursa) izvršavaju namenske zadatke u obimu koji je limitiran upravo tim sastavom i uslovima u kojima se realizuje zadatak. Na njihovu efikasnost utiču i: obučenost i pripremljenost ljudstva za izvršenje konkretnog zadatka (rad u uslovima povišenih doza THS), moral ljudstva, poverenje između ljudi i jedinica (zadatak se izvršava u uslovima izuzetno opasnim po život) i dr.

Radi pravilnog i potpunog izračunavanja stvarnih mogućnosti treba imati u vidu da se zadatak izvršava na kontaminiranom zemljištu (KonZ) i da je zadržavanje ljudi u navedenoj sredini vremenski ograničeno. Mogućnosti snaga za sanitetsko zbrinjavanje ljudi predstavljaju zbir mogućnosti snaga za zbrinjavanje povređenih i zatrovanih i snaga za zbrinjavanje poginulih. Mogu se prikazati sledećim matematičkim izrazom:

$$M_z = M_{zpov} + M_{zpog} \quad (1)$$

gde je:

$M_z$  – ukupne mogućnosti snaga za zbrinjavanje ljudi,

$M_{zpov}$  – mogućnosti snaga u zbrinjavanju povređenih i zatrovanih,

$M_{zpog}$  – mogućnosti snaga u zbrinjavanju poginulih.

### *Mogućnosti snaga za sanitetsko zbrinjavanje povređenih*

Radi potpunog i preciznog iznalaženja mogućnosti *snaga za sanitetsko zbrinjavanje povređenih* treba uzeti u obzir sve poslove koje obavljaju i potrebno vreme za njihovu realizaciju. Osnovni poslovi koji se realizuju su: pronalaženje povređenih i zatrovanih, izvlačenje iz rovova, m/v, skloništa, pružanje prve pomoći na mestu povređivanja, iznošenje povređenih i zatrovanih iz kontaminiranog rejonu do sanitetske prihvata, trijaž p/o, delimična dekontaminacija, medicinska pomoć, vraćanje lakše povređenih u jedinicu i evakuacija teže p/o.

Pored navedenih poslova koje treba obaviti prilikom zbrinjavanja povređenih potrebno je imati u vidu da se sve navedene aktivnosti izvode u toku izvođenja borbenih dejstava i u uslovima latentne opasnosti od hemijske kontaminacije (sve aktivnosti se izvode uz preduzimanje punih mera zaštite i korišćenje ličnih zaštitnih sredstava). U idealnim uslovima za jedan čas rada može se zbrinuti do deset povređenih osoba [3].

Ukupne mogućnosti snaga za zbrinjavanje povređenih i zatrovanih predstavljaju proizvod između broja povređenih koji se mogu zbrinuti u jedinici vremena, koeficijenta borbenih uslova i raspoloživog vremena za izvršenje zadatka. Mogu se izračunati sledećim matematičkim izrazom:

$$M_{zpov} = N_{pov} \cdot k_{bu} \cdot t \quad (2)$$

gde je:

$N_{pov}$  – broj povređenih koji se mogu zbrinuti u jedinici vremena,

$k_{bu}$  – koeficijent koji predstavlja uticaj borbenih i drugih uslova na efikasnost snaga za zbrinjavanje povređenih i poginulih. Može imati vrednost od 0 do 1.

$t$  – raspoloživo vreme za izvršenje zadatka.

### *Mogućnosti snaga za sanitetsko zbrinjavanje poginulih*

Na osnovu raspoloživih podataka i kriterijuma za rad u uslovima primene hemijskog oružja *snaga za sanitetsko zbrinjavanje poginulih* mogu da pronađu, izvuku i prenesu do sabirališta do deset poginulih osoba za jedan čas rada [3]. Otežavajuća okolnost je pronalaženje i izvlačenje poginulih iz zarušenih rovova i skloništa, što znatno može uticati na brzinu izvršenja zadatka. Dalji postupak sa poginulima je isti kao sa poginulima od klasičnog naoružanja (uz upotrebu zaštitnih sredstava). Za realizaciju ovih zadataka potrebno je prethodno pripremiti ljudstvo za adekvatno iz-

vršenje zadatka, sa ciljem da se omogući identifikacija poginulih i da se svi potrebni podaci i materijalni dokazi evidentiraju i sačuvaju. U svim proračunima neophodno je imati u vidu specifičnost uslova u kojima se izvršava zadatak, pre svega neposrednu opasnost po zdravlje ljudi od hemijske kontaminacije (upotreba zaštitnih sredstava umanjuje fizičke mogućnosti ljudi).

Ukupne mogućnosti snaga za zbrinjavanje poginulih predstavljaju proizvod broja poginulih koji se mogu zbrinuti u jedinici vremena, koeficijenta borbenih uslova i raspoloživog vremena za izvršenje zadatka. Mogu se izračunati sledećim matematičkim izrazom:

$$M_{zpog} = N_{pog} \cdot k_{bu} \cdot t \quad (3)$$

gde je:

$N_{pog}$  – broj poginulih koji se mogu zbrinuti u jedinici vremena,

$k_{bu}$  – koeficijent koji predstavlja uticaj borbenih i drugih uslova na efikasnost snaga za zbrinjavanje povređenih i poginulih. Može imati vrednost od 0 do 1,

$t$  – raspoloživo vreme za izvršenje zadatka.

## Mogućnosti odreda za hemijsko izviđanje

Odmah po izvršenju hemijskog udara, izviđačke jedinice ABHSI koje se nalaze u neposrednoj blizini pogođenog rejonu vrše osmatranje i određuju osnovne parametre hemijskog udara. Prikupljene parametre i meteorološke podatke dostavljaju organu ABHSI pretpostavljene komande, koji vrši procenu hemijskog udara i pravac širenja kontaminiranog oblaka. Da bi se obezbedili pouzdani podaci o stvarnoj kontaminaciji i granicama KonZ-a, potrebno je izvršiti hemijsko izviđanje kontaminiranog rejonu i pravaca u okviru njega.

Pri hemijskom udaru izviđanje ima za cilj da se: utvrdi vrsta upotrebene toksične hemijske supstance,<sup>1</sup> obeleže granice kapljičaste kontaminacije, utvrde pravci prilaza povređenima, mogućnosti i pravci izvlačenja povređenih i zatrovanih, i uzmu uzorci kontaminiranog zemljišta. Navedene zadatke izvršavaju izviđači osnovnih jedinica, izviđački organi ABHSI pretpostavljene komande ili izviđački organi susednih jedinica [4].

Potpuno izviđanje pravaca i hemijskog KonZ-a u celini izvršiće jedinica ABHSI za izviđanje iz sastava odreda za otklanjanje posledica.

<sup>1</sup> Zbog velikog broja THS (više miliona) neophodno je što preciznije utvrditi njen sastav radi lakšeg rada OdZOP.

## *Struktura snaga za hemijsko izviđanje*

Za realizaciju zadataka iz domena hemijskog izviđanja u odredu za otklanjanje posledica angažovaće se specijalizovani deo – odeljenje ABHSI za izviđanje (oABHOi). Odeljenje je istovrsnog sastava i čine ga: komandir, 8 vojnika sa pripadajućom opremom i tri specijalna izviđačka vozila – AR 55RH (koja su prilično zastarela imajući u vidu savremena rešenja nekih armija<sup>2</sup>). Zadatak izvršavaju formirajući tri izviđačke patrole.

## *Mogućnosti snaga za hemijsko izviđanje*

Osnovni zadaci koje izvršava odeljenje ABHSI za izviđanje, u sastavu odreda za otklanjanje posledica pri hemijskom udaru, jesu:

- izviđanje hemijski kontaminiranog zemljišta, u celini ili pojedinih delova, rejona, pravaca i objekata na njemu;
- izviđanje u naseljenom mestu;
- praćenje hemijske kontaminacije.

Na osnovu realizovanog hemijskog izviđanja, prilikom izvršenja navedenih zadataka, komandir odeljenja ABHSI dostavlja izveštaj komandi odreda, sa detaljnim podacima o granicama kontaminiranog zemljišta, mestima sa izraženom kontaminacijom, pravcima kojima se na najlakši način i najbezbednije može prići povređenima i zatrovanima i druge podatke koji su značajni za izvršenje zadataka drugih delova odreda.

Potrebno je imati u vidu da se celokupno izviđačko odeljenje ABHSI angažuje na izviđanju, radi pravilnog planiranja i angažovanja. Ukupne mogućnosti delova za hemijsko izviđanje predstavljaju zbir mogućnosti za izviđanje hemijskog KonZ-a u celini i pravaca na njemu. Mogu se izračunati sledećim matematičkim izrazom:

$$M_{hi} = M_{hik} + M_{hip} \quad (4)$$

gde je:

$M_{hi}$  – ukupne mogućnosti snaga za hemijsko izviđanje,

$M_{hik}$  – mogućnosti snaga u hemijskom izviđanju KonZ-a u celini,

$M_{hip}$  – mogućnosti snaga u hemijskom izviđanju pravaca.

<sup>2</sup> Tipičan predstavnik je laserski sistem za daljinsko hemijsko izviđanje sa zemlje KDHR-1N uveden u opremu OS RF. On u realnom vremenu registruje hemijski napad, određuje koordinate i parametre oblaka aerosolnih otrovnih materija, daje signal za hemijsku uzbunu i prenosi signale u automatizovni sistem komandovanja. Slične karakteristike ima RHB vozilo za izviđanje FOX/FUCHS M-93, u upotrebi u armijama SAD, Velike Britanije, Nemačke i Saudijske Arabije.

## Mogućnosti snaga za hemijsko izviđanje pravaca

Izviđačka patrola ABHSI (IP ABHSI) predstavlja „etalon“ za određivanje mogućnosti ostalih jedinica za izviđanje efekata hemijskog udara. Na mogućnosti IP ABHSI utiču mnogi činioci: vrsta i stepen kontaminacije, zaštitni faktor vozila i zaštitnih sredstava, TT karakteristike sredstava detekcije, veze, meteorološki uslovi, konfiguracija i pokrivenost zemljišta, tehnika izviđanja, obučenost, itd.

Ovde ćemo prikazati maksimalne mogućnosti IP ABHSI, u odnosu na postojeća sredstva i propisanu tehnologiju rada, uz primenu normi za ocenjivanje praktičnih radnji i postupaka i empirijskog saznanja.

Efektivno vreme izviđanja pravca na hemijski kontaminiranom zemljištu dužine 1 km ( $L_k$ ), uključujući rad na polaznoj tački i dolazak na prednju granicu, bez vremena dolaska do KonZ-a, završne dekontaminacije, dostavljanja uzoraka i vraćanja u rejon rasporeda je:

$$t_{eh(1)} = 110 \text{ min} \approx 2 \text{ h}, \quad (5)$$

iz čega sledi efektivno vreme izviđanja pravca dužine 0,5 km:

$$t_{eh(0,5)} \approx 1 \text{ h} \quad (6)$$

To znači da za jedan čas IP ABHSI može da izvidi pravac na hemijskom KonZ-u dužine 0,5 km, odnosno brzina izviđanja pravca na hemijskom KonZ-u:

$$v_h = 0,5 \text{ km/h} \quad (7)$$

Prema tome, za dnevno angažovanje IP ABHSI na efektivnom izviđanju u trajanju od 8 časova moguće je izvideti sledeću dužinu hemijski kontaminiranog zemljišta ( $L_{Hde}$ ) na pravcu izviđanja:

$$L_{Hde} = v_h \cdot t \quad (8)$$

$$L_{Hde} = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ km}$$

Izraz (8) koriguje se sa koeficijentima borbenih uslova ( $k_{bu}$ ) i izračunavaju mogućnosti u konkretnim uslovima.

Kada u toku dana treba izvideti više pravaca na hemijskom KonZ-u primenjujemo sledeći izraz za određivanje dnevnih mogućnosti:

$$L_{Hd} = L_{Hde} - n \cdot 0,5(\text{km}), \quad (9)$$

pri čemu je  $n$  – broj izviđanja na različitim pravcima, a dobijeni rezultat dužina pravca izviđanja u kilometrima.

### *Mogućnosti snaga za hemijsko izviđanje KonZ-a u celini*

Za izviđanje hemijski kontaminiranog zemljišta u celini potrebno je mnogo više vremena, jer osim određivanja granica KonZ-a na pravcu izviđanja, treba obeležiti celokupnu „periferiju“ KonZ-a.

Za praktične potrebe možemo primeniti izraz (9), tako što za dužinu KonZ-a uzimamo njegov obim (L).

a) Za KonZ kružnog oblika primenjujemo izraz  $L = 2r\pi$ , pri čemu je  $r$  – poluprečnik KonZ-a.

b) Za KonZ u obliku kvadrata primenjujemo izraz  $L = 4a$ , pri čemu je  $a$  – dužina stranice kvadrata.

c) Za KonZ u obliku pravougaonika primenjujemo izraz  $L = 2(a+b)$ , pri čemu su  $a$  i  $b$  stranice pravougaonika.

Primenom izraza (9) možemo izračunati dnevne mogućnosti IP ABHSI za izviđanje KonZ-a u celini.

*Za izviđanje spoljnih granica* (oboda) KonZ-a kružnog oblika koristimo izraz:

$$L = 2r\pi \Rightarrow r = L / 2\pi \approx 4 : 6,28 \approx 0,64 \text{ km} \quad (10)$$

Određivanje granica hemijske kontaminacije po periferiji KonZ-a sporije se odvija od izviđanja pravca, jer se pri tome duž periferije KonZ-a mora neprekidno određivati granica kontaminacije, što uslovljava bočno izviđanje u zahvatu pravca prostiranja granica kontaminacije. Zbog toga se dužina (obim) periferije izviđanog KonZ-a mora umanjiti za 20%, odnosno množiti faktorom 0,8. Tako se dobija:

$$0,8 \cdot L = 2r\pi \Rightarrow r = (0,8 \cdot 4) : 2\pi \approx 3,2 : 6,28 \approx 0,51 \text{ km} \quad (11)$$

Dakle, za jedan dan jedna IP ABHSI može izvideti periferiju KonZ-a kružnog oblika čiji je poluprečnik 0,51 km.

Površina kontaminiranog rejona kružnog oblika čije se spoljne granice mogu izvideti u toku efektivnog dnevnog angažovanja u trajanju od 8 časova iznosi:

$P_{HSD} = r^2\pi = 0,51^2 \cdot 3,14 \approx 0,816 \approx 0,8 \text{ km}^2$ , na osnovu čega zaključujemo da su dnevne mogućnosti izviđanja spoljnih granica KonZ-a u celini:

$$PHSD = 0,8 \text{ km}^2, \text{ odnosno } 80 \text{ ha} \quad (12)$$

U slučaju da je, osim spoljnih granica KonZ-a, potrebno izvideti i *unutrašnje pravce* KonZ-a (pravci u KonZ-u) izraz (12) umanjujemo zavisno od broja i dužine tih unutrašnjih pravaca. Uz pretpostavku da se „unutrašnji pravci“ izviđaju većom brzinom nego spoljašnje granice, za praktične potrebe, dnevne mogućnosti efektivnog izviđanja KonZ-a u celi-



ni ( $P_{HSD}$ ) možemo umanjiti tako što ćemo dužinu obima KonZ-a smanjiti na račun unutrašnjih pravaca (za 20% odnosno množićemo faktorom 0,6). Prema tome, izraz (12) modifikujemo i dobijamo izraz za određivanje poluprečnika KonZ-a koji se može efektivno izvideti u celini (uključujući i unutrašnje pravce kontaminacije):

$$r = (0,6 \cdot L) : 6,28 = (0,6 \cdot 4) : 6,28 \approx 0,38 \text{ km} \quad (13)$$

na osnovu čega sledi da su dnevne mogućnosti IP ABHSI na izviđanju hemijskog KonZ-a u celini:

$$P_{HcD} = 0,38^2 \cdot \pi \approx 0,45 \text{ km}^2 \approx 45 \text{ ha} \quad (14)$$

Naravno, ako želimo mogućnost jedne IP ABHSI u toku efektivnog angažovanja na izviđanju hemijskog KonZ-a u celini u trajanju od 1 časa, onda izraz (14) umanjujemo 8 puta i dobijamo idealnu jednočasovnu mogućnost IP ABHSI na izviđanju KonZ-a u celini:

$$PHcD = 5,6 \text{ ha} \quad (15)$$

S obzirom na to da KonZ može imati različite geometrijske oblike (krug, elipsa, kvadrat, pravougaonik), za praktične proračune najpre se odredi površina datog KonZ-a, a zatim primenom izraza (11) odredi broj IP ABHSI potrebnih za izviđanje tog KonZ-a.

## Mogućnosti odreda za uspostavljanje borbene sposobnosti jedinice

Kod jedinica zahvaćenih hemijskim udarom, usled nastalih posledica, za očekivati je da dođe do narušavanja komandovanja (na nižim nivoima) i određenih oblika neprilagođenog ponašanja pojedinca i grupa podleglih štetnom dejstvu THS (strah, panika, neuračunljivost i sl.). U takvim okolnostima veoma je bitno što pre uspostaviti sistem komandovanja, sprečiti pojavu panike i osipanja jedinica, odnosno omogućiti ponovno uspostavljanje borbene sposobnosti jedinice.

Na realizaciji ovih zadataka može se angažovati pretpostavljena komanda na jedan od sledećih načina:

- formiranjem nove komande od određenog broja starešina iz sastava komande i angažovanjem preživelih starešina iz jedinice;
- preuzimanjem neposrednog komandovanja nad zahvaćenom jedinicom;
- postavljanjem zadataka susednim jedinicama (komandama) da preuzmu komandu nad delovima zahvaćene jedinice.

U slučaju da pretpostavljena komanda nije u mogućnosti da se angažuje, odgovornost za uspostavljanje borbene sposobnosti jedinice preuzimaju preživeli starešine iz jedinice koja je pretrpela hemijski udar.

Uključivanje dela snaga odreda za otklanjanje posledica na uspostavljanju borbene sposobnosti jedinica zahvaćenih H udarom je veoma otežano, a mogućnosti relativno male.

### *Struktura snaga za uspostavljanje borbene sposobnosti jedinice*

Snage koje bi se angažovale na zadacima uspostavljanja borbene sposobnosti jedinice u odnosu na mogući obim poslova i druge zadatke koje će prioritetno rešavati (sanitetsko zbrinjavanje ljudi, hemijsko izviđanje), veoma je teško precizno odrediti. Kada se razmatraju zadaci ovih snaga, treba imati u vidu da se aktivnosti ostalih delova odreda odvijaju istovremeno i da je velika međuzavisnost pojedinih aktivnosti (na primer, sređivanje jedinice i sanitetsko zbrinjavanje). Situacija se posebno usložava u slučaju pojave neprilagođenog ponašanja većeg broja ljudi u zahvaćenoj jedinici.

### *Mogućnosti snaga za uspostavljanje borbene sposobnosti jedinice*

U postojećoj literaturi gotovo da nema podataka koji tretiraju ovu problematiku. Stvarne mogućnosti snaga iz sastava odreda za otklanjanje posledica mogu se izračunati samo ako se u potpunosti poznaju nastale posledice u zahvaćenoj jedinici (u kom stepenu je narušeno komandovanje i koji je broj ljudi sa neprilagođenim ponašanjem). Naravno, to će biti moguće samo u stvarnoj borbenoj situaciji na mestu hemijskog udara.

Međutim, za potrebe rada, mogućnosti odreda na uspostavljanju borbene sposobnosti jedinice izračunavaće se pomoću izraza:

$$M_{ubs} = M_{unk} + M_{sj}, \quad (16)$$

gde je:

$M_{ubs}$  – mogućnosti snaga na uspostavljanju borbene sposobnosti jedinice;

$M_{unk}$  – mogućnosti snaga na uspostavljanju narušenog komandovanja;

$M_{sj}$  – mogućnosti snaga na sređivanju jedinica.

## *Mogućnosti snaga u uspostavljanju narušenog sistema komandovanja*

Osnovni zadatak koji se nameće jeste da se od preživelih starešina i starešina pretpostavljene komande za što kraće vreme formiraju nove jedinice koje će nastaviti sa izvršenjem namenskih zadataka. Zbog toga se mora poznavati gubitak jedinica u starešinskom kadru. Snage odreda moći će samo delimično da se angažuju na ovom zadatku, imajući u vidu njihov sastav i rad na drugim zadacima.

Mogućnosti delova odreda u uspostavljanju narušenog sistema komandovanja (K) mogu se izračunati pomoću izraza:

$$M_{unk} = \frac{N_{ank}}{N_{pnk}} \cdot 100 \% , \quad (17)$$

gde je:

$M_{unk}$  – mogućnosti snaga u uspostavljanju narušenog K;

$N_{ank}$  – broj starešina koji se angažuje na uspostavljanju narušenog K;

$N_{pnk}$  – broj starešina potreban za uspostavljanje narušenog K.

## *Mogućnosti snaga za sređivanje jedinica*

Prilikom angažovanja snaga odreda za otklanjanje posledica na sređivanju jedinica mora se približno znati broj ljudi sa neprilagođenim ponašanjem i opšte stanje u zahvaćenoj jedinici. Takođe, ovaj zadatak će delimično uticati i na sanitetsko zbrinjavanje povređenih i zatrovanih, što će dodatno usložiti realizaciju navedenih aktivnosti.

Mogućnosti delova odreda za sređivanje jedinica mogu se izračunati pomoću izraza:

$$M_{sj} = N_{np} \cdot n_s \cdot k_{bu} \cdot t , \quad (18)$$

gde je:

$M_{sj}$  – mogućnosti snaga u sređivanju jedinica (neprilagođenog ponašanja);

$N_{np}$  – broj lica sa neprilagođenim ponašanjem koji se može zbrinuti za 1h;

$n_s$  – broj stručnjaka koji se angažuje na zbrinjavanju;

$k_{bu}$  – koeficijent borbenih uslova (može imati vrednost od 0 do 1).

$t$  – vreme angažovanja na saniranju posledica neprilagođenog ponašanja.

## Mogućnosti odreda za izvođenje hemijske dekontaminacije

Posledice hemijske (H) kontaminacije su u direktnoj vezi sa vremenom provedenim u neposrednom kontaktu sa toksičnom hemijskom supstancom [5]. Taj kontakt se ogleda u: izloženosti delova ili celog tela neposrednom uticaju THS, udisanju vazduha koji sadrži otrovne materije, taloženju otrova na otkrivene delove tela i taloženju THS na delove odeće, opreme, oružja, oruđa, objekata, hrane i vode u neposrednom dodiru sa ljudstvom. Da bi se ovakav kontakt sveo na minimalan vremenski interval, pristupa se evakuaciji iz kontaminiranog rejonu i izvodi se hemijska dekontaminacija.

Proces dekontaminacije započinje ličnom dekontaminacijom (svakog pojedinca), a završava se na dekontaminacionoj stanici (DkSt). Po obimu dekontaminacionih radova dekontaminacija može biti delimična i potpuna, a prema izvršiocima i sredstvima: pojedinačna, grupna, na DkSt jedinica rodova i službi i na DkSt jedinica ABHSI.

Pojedinačna dekontaminacija podrazumeva samodekontaminaciju, pre svega otkrivenih delova tela, odeće i obuće koji su u neposrednom dodiru sa kožom, a zatim i ličnog naoružanja. Metode pojedinačne dekontaminacije su fizičke, hemijske ili kombinovane, a izvode se ličnim priborom za dekontaminaciju (LPD), koji poseduje svaki pripadnik vojske. Grupnu dekontaminaciju izvode posluge (posade) oruđa, borbenih i neborbenih vozila, i realizuje se odmah nakon pojedinačne dekontaminacije.

Opšte mere dekontaminacije sprovode svi pojedinci, jedinice i ustanove Vojske Srbije sopstvenim snagama i sredstvima. Posebne mere RHB dekontaminacije sprovode jedinice ABHSI sopstvenim snagama i sredstvima i uz pomoć drugih rodova i službi. Za izvršenje dekontaminacije povređenih i obolelih angažuju se jedinice i ustanove sanitetske službe.

### *Struktura snaga za hemijsku dekontaminaciju*

Na osnovu ukazane potrebe za brzo i efikasno otklanjanje posledica upotrebe hemijskog oružja, a imajući u vidu štetnost i tragične posledice koje hemijska kontaminacija može imati po ljude, borbenu i neborbenu tehniku, objekte i zemljište, neophodno je pravovremeno pristupiti hemijskoj dekontaminaciji. Za zadatke hemijske dekontaminacije ljudi, naoružanja i opreme, borbenih i neborbenih vozila i oruđa, objekata, puteva i prolaza na zemljištu iz odreda za otklanjanje posledica pri hemijskom udaru angažuju se delovi za dekontaminaciju.

Snage za dekontaminaciju u odredu za otklanjanje posledica čini vod ABHSI za dekontaminaciju sa formacijskim sredstvima za izvršavanje namenskih zadataka. Vod se sastoji od tri odeljenja za dekontaminaciju, koja izvršavaju zadatke u okviru dekontaminacione stanice voda ABHSI ili u određenim slučajevima i samostalno.

### *Mogućnosti snaga za hemijsku dekontaminaciju*

Snage za dekontaminaciju iz odreda za otklanjanje posledica pri hemijskom udaru izvršavaju sledeće zadatke: dekontaminaciju ljudi, dekontaminaciju naoružanja i opreme, dekontaminaciju borbenih i neborbenih vozila i oruđa, dekontaminaciju puteva i izradu prolaza na kontaminiranom zemljištu.

U odnosu na postavljene zadatke potrebno je odrediti prioritete u angažovanju snaga. To se, pre svega, odnosi na vremenska ograničenja u smislu potrebe za hitnom izradom prolaza na kontaminiranim površinama (putevi i zemljište). Dekontaminirane komunikacije su neophodne radi što bržeg uspostavljanja narušenog sistema odbrane i stvaranja bezbednih uslova za rad sanitetskim ekipama. Prioritet angažovanja, za svaki konkretan slučaj, određuje komandant odreda u skladu sa dobijenim zadatkom i stvarnim mogućnostima snaga za dekontaminaciju. Načelno, snage za hemijsku dekontaminaciju iz sastava odreda razvijaju DkSt ABHSI na kojoj vrše dekontaminaciju ljudi, naoružanja, opreme, oruđa i vozila, a upućuju deo snaga za dekontaminaciju puteva i prolaza na kontaminiranom zemljištu. Vod ABHSI je u potpunosti opremljen i osposobljen za razvijanje i uređenje DkSt.

### *Mogućnosti snaga za hemijsku dekontaminaciju ljudi*

Snage za dekontaminaciju, odreda za otklanjanje posledica, izvode dekontaminaciju kontaminiranog ljudstva na prostoru za dekontaminaciju ljudi, koji je sastavni deo DkSt.

Prostor za dekontaminaciju ljudi namenjen je za dekontaminaciju ljudi i delova opreme koja se ne zamenjuje (zaštitna maska, zaštitne rukavice i cipele sa povišenom sarom). Razvija se i uređuje tako da omogućava jednovremenu dekontaminaciju 32 čoveka. Materije koje se najčešće koriste pri hemijskoj dekontaminaciji su hloraktivne: hlorni kreč, kalcijum-hipohlorit (kaporit), natrijum-hipohlorit i dr.

Postupak dekontaminacije na prostoru za dekontaminaciju ljudi je detaljno razrađen i ima sledeći redosled aktivnosti: prihvatanje kontaminiranog ljudstva, dekontaminacija lične opreme, pregled i trijaž kontaminiranog ljudstva, svlačenje i pakovanje kontaminirane odeće i dalji postupak sa njom, postupak sa ličnom opremom i stvarima, prethodna obrada ljudstva, dekontaminacija ljudstva, kontrola izvršene dekontaminacije, oblačenje dekontaminiranog ljudstva. Osnovni problem koji se javlja u toku dekontaminacije ljudi jeste potreba da se sve navedene aktivnosti realizuju za vreme od 10 minuta, koliko se tura od 32 čoveka zadržava na prostoru za dekontaminaciju ljudi.

Izvođenje dekontaminacije usložavaju i: meteorološki uslovi, doba dana, broj ljudi iz kontaminirane jedinice koji se mogu angažovati za ispomoc, obezbeđenje dovoljne količine vode, kao i taktički uslovi u kojima se realizuje dekontaminacija.

Na osnovu opšteprihvaćenih i opitovanih normi za dekontaminaciju, na DkSt voda za dekontaminaciju ABHSI u okviru prostora za dekontaminaciju ljudi moguće je izvršiti dekontaminaciju bataljona za vreme 3 do 4 časa.

### *Mogućnosti snaga za hemijsku dekontaminaciju naoružanja i MTS*

Snage za dekontaminaciju naoružanja, oruđa, vozila i materijalno-tehničkih sredstava odreda za otklanjanje posledica izvode dekontaminaciju navedenih sredstava na dva prostora za dekontaminaciju – prostoru za dekontaminaciju naoružanja i opreme i prostoru za dekontaminaciju vozila i oruđa.

*Prostor za dekontaminaciju naoružanja i opreme* namenjen je za dekontaminaciju ličnog i zajedničkog pešadijskog naoružanja, opreme koja se ne zamenjuje (šlem, ašovčić, opasač sa uprtačem, torbica ZM...), optičkih instrumenata i sredstava veze. Osnovna materija za hemijsku dekontaminaciju je 5-10%-tni rastvor kalcijum-hipohlorita (koji se po potrebi može zagreјati).

Redosled aktivnosti na prostoru za dekontaminaciju naoružanja i opreme je unapred razrađen i planira se po sledećem: prihvrat kontaminiranog naoružanja i opreme, dekontaminacija opreme, dekontaminacija ličnog naoružanja, dekontaminacija optičkih instrumenata i elektronskih uređaja, dekontaminacija lične opreme koja se ne zamenjuje, kontrola uspešnosti dekontaminacije i rad po izvršenoj dekontaminaciji. Osnovni problem koji se javlja prilikom izvršenja dekontaminacije naoružanja i opreme je stepen efikasnosti dekontaminacionih radova u odnosu na raspoloživo vreme i resurse.

Vreme potrebno za dekontaminaciju, na DkSt voda ABHSI, u okviru prostora za dekontaminaciju naoružanja i opreme kontaminiranog bataljona podudara se sa vremenom potrebnim za dekontaminaciju ljudi i iznosi 3 do 4 časa (dekontaminacija se izvodi istovremeno).

*Prostor za dekontaminaciju vozila i oruđa* je deo DkSt namenjen za dekontaminaciju vozila i artiljerijskih oruđa iz kontaminirane jedinice. Osnovna materija za hemijsku dekontaminaciju je 5–10%-tni rastvor kalcijum-hipohlorita.

Redosled aktivnosti na prostoru za dekontaminaciju vozila i oruđa je sledeći: prihvrat kontaminiranih vozila i oruđa, dekontaminacija vozila, dekontaminacija artiljerijskih oruđa, dekontaminacija optičkih sprava i kabina, kontrola uspešnosti dekontaminacije, pakovanje i transport ceradnog platna i rad po izvršenoj dekontaminaciji.

Osnovni problemi pri izvršenju dekontaminacije vozila i oruđa javljaju se pri dekontaminaciji specijalnih vozila većih gabarita i dekontaminaciji osetljivih optičkih i drugih sklopova. Vreme potrebno za izvršenje dekontaminacije, na DkSt voda ABHSI, u okviru prostora za dekontaminaciju vozila i oruđa kojima raspolaže bataljon identično je vremenu potrebnom za dekontaminaciju ljudi i dekontaminaciju oruđa i opreme i iznosi 3 do 4 časa.

## *Mogućnosti snaga za hemijsku dekontaminaciju puteva, zemljišta i objekata*

Dekontaminacija puteva, zemljišta i objekata je složena radnja, pre svega zato što se izvodi na kontaminiranom zemljištu, u uslovima oštećenih komunikacija i u situaciji kada se prohodnim komunikacijama kreću jedinice koje su zahvaćene efektima hemijskog udara. Izvodi se samo u potrebnom obimu za konkretnu situaciju i to kada je neophodno obezbediti uslove za bezbedno izvršenje zadatka. To se, pre svega, odnosi na izradu prolaza za kretanje jedinica peške ili na vozilima, kada ne postoje uslovi za obilazak kontaminiranog zemljišta. Najčešće se izvodi dekontaminacija objekata – komandnih mesta, centara veze, poletno-sletnih staza, vatrenih položaja lansirnih rampi i oruđa za vatrenu podršku, mostova i raskrsnica uz angažovanje jedinica ABHSI i drugih jedinica vidova, rodova i službi.

Da bi se zadatak uspešno realizovao potrebno je urediti rejon neposredne pripreme, koji se nalazi van kontaminiranog zemljišta. U njemu se vrši popuna vodom i materijama za hemijsku dekontaminaciju, priprema se i odmara ljudstvo i obavljaju ostale pripremne radnje.

U zavisnosti od objekta (puta, prolaza) koji treba dekontaminirati i raspoloživih resursa za dekontaminaciju, ona može biti jednovremena, postupna i po sektorima. Načelno, kada je kontaminacija manjeg obima, dekontaminacija puteva i prolaza vrši se jednovremeno.

Raspoloživi resursi za dekontaminaciju puteva, zemljišta i objekata iz sastava odreda za otklanjanje posledica limitirani su težištem upotrebe voda za dekontaminaciju. Imajući u vidu vreme od hemijskog udara do dolaska jedinice na DkSt voda ABHSI, jedan od mogućih načina za izvršenje zadatka jeste dekontaminacija puta po etapama uz upotrebu svih raspoloživih resursa (upotreba tri automobil-cisterne za dekontaminaciju), dok ostale snage za dekontaminaciju pripremaju prostore na DkSt. Mogućnosti delova odreda za hemijsku dekontaminaciju puteva i zemljišta na osnovu opšteprihvaćenih i opitovanih normi kreću se od 0,8 do 1h<sub>a</sub>/h [6].

U okviru izvršenja hemijske dekontaminacije mogu se uključiti i drugi delovi odreda, pre svih inženjerski vod. Jedan od načina njegovog angažovanja je nasipanje kontaminirane komunikacije rastresitim materijalom (zemlja, pesak, šljaka itd.) visine 5 do 6 cm.

## *Mogućnosti snaga za H dekontaminaciju u uspostavljanju kontrolno-zaštitne službe*

Organe kontrolno-zaštitne službe (KZS) neophodno je postaviti na prilazu kontaminiranim deonicama puta. U skladu sa pravilskim odredbama za jedan kontaminirani pravac potrebno je postaviti jednog starešinu i 4 do 5 vojnika, odnosno oko 10 lica za dva kontaminirana pravca.

Dužnosti organa KZS precizirane su važećim pravilima, a vreme njihovog zadržavanja zavisiće od konkretnih borbenih uslova. Mogućnosti *odreda* u KZS mogu se izračunati prema obrascu:

$$M_{KZS} = \frac{N_m}{N_{KZS}} \cdot \frac{t_m}{t_{KZS}} \cdot 100 \% \quad (19)$$

gde je:

$M_{KZS}$  – mogućnosti *odreda* u uspostavljanju KZS,

$N_m$  – broj ljudi koje je moguće angažovati na uspostavljanju KZS,

$N_{KZS}$  – broj ljudi koje je potrebno angažovati na uspostavljanju KZS,

$t_m$  – vreme za koje se može angažovati ljudstvo na uspostavljanju KZS,

$t_{KZS}$  – potrebno vreme za angažovanje ljudstva na uspostavljanju KZS.

Iz sastava voda za dekontaminaciju, za realizaciju zadataka KZS, može se angažovati veoma mali broj ljudi i to za relativno kratko vreme, imajući u vidu njihovo angažovanje na drugim zadacima (pre svega hemijska dekontaminacija).

## Zaključak

U radu je predstavljen jedan od mogućih načina za objektivnu i potpunu spoznaju svih aktivnosti, procesa, odnosa i veza koji se uspostavljaju i prepliću u toku realizacije složenog zadatka, kakav je određivanje mogućnosti OdZOP pri hemijskom udaru.

Jedan od osnovnih problema koji utiče na smanjenje mogućnosti *odreda* odnosi se na utrošak vremena od momenta izvršenja hemijskog udara do trenutka kada *odred* počinje da izvršava dobijene zadatke (vreme ulaska u rejon H udara). Ovaj utrošak vremena, u nekim situacijama, može dovesti u pitanje i svrsishodnost formiranja *odreda*.

Prevazilaženje problema koji su navedeni u radu, može se postići preduzimanjem određenih koraka koje iznosimo u vidu predloga:

1. U postojećim doktrinarnim dokumentima (pravila, uputstva i dr.) regulisati upotrebu *odreda* za *otklanjanje posledica nuklearnih i hemijskih udara*, odnosno način njegovog organizovanja, osposobljavanja i pripreme za izvršavanje namenskih zadataka.

2. Razmotriti mogućnost da *odred*, kao stalni sastav, uđe u formaciju Komande KoV, specijalne brigade ili bataljona ABHO. Bio bi interrodovskog sastava (koji bi odredili predstavnici rodova i službi) i u potpunosti bi mogao da realizuje postavljene zadatke, kako u miru, tako i u ratu.

3. U sastav *odreda* potrebno je ugraditi određeni broj stručnjaka (naročito psihologa) za obradu lica sa neprilagođenim ponašanjem (strah, panika, anksioznost i sl.) do kojeg je došlo usled upotrebe oružja za masovno uništavanje.



4. Efikasnost pojedinih delova *odreda za otklanjanje posledica* znatno bi se povećala opremanjem savremenim sredstvima, kao što su: specijalna vozila za daljinsko izviđanje (FUKS, KDHR-1N), specijalna sredstva NHB zaštite (na bazi tyvek materijala), savremena sredstva za dekontaminaciju (SANIJET) i dr. [7].

5. U školama za usavršavanje oficira Vojske Srbije (KŠU, GŠU, PDS) uvesti izučavanje uslova u kojima se *odred* formira, kao i načela njegove upotrebe. To je značajno sa stanovišta formiranja i angažovanja *odreda*, jer o tome odlučuju upravo komandanti jedinica u čijem su sastavu matične jedinice pojedinih njegovih delova.

6. U procesu donošenja odluke, u komandama brigada, neophodno je predvideti mogućnost upotrebe i sastav *odreda* (na osnovu procene o mogućoj upotrebi nuklearnog i hemijskog oružja ili oštećenja i rušenja postrojenja sa opasnim hemijskim materijama). Svakako da organ ABHO do detalja mora da predvidi upotrebu *odreda*.

7. Zbog obima posledica koje mogu nastati nakon upotrebe hemijskog oružja izvesno je da neće biti ugrožene samo borbene jedinice, već i stanovništvo i životna sredina. Radi uspešnog obavljanja namenskih zadataka *odred* mora uspostaviti blisku saradnju sa jedinicama *Civilne zaštite*. U delu saradnje sa ovim jedinicama moglo bi se naći i rešenje za formiranje i rad KZS, koju *odred* objektivno ne može kvalitetno da organizuje. Povezivanje ovih snaga odbrane na zajedničkom zadatku zaštite života i zdravlja ljudi i očuvanja životne sredine moguće je samo u okviru *jedinstvenog sistema ABHO Republike Srbije* [8].

### Literatura

- [1] Pjavka, N., *Spasilački radovi u rejonima nuklearnih i hemijskih udara*, prevod sa ruskog, Vojni glasnik broj 2, Beograd, 1980., str. 78–81.
- [2] Karkalić, R., Popović, R., Radaković, S., *Ispitivanje fiziološke sposobnosti filtrisorpcione zaštitne odeće u laboratorijskim uslovima*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 56, No. 4, pp. 56-69, ISSN 0042-8469, UDC 623 +355/359, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Belgrade, 2008.
- [3] Tomić, M., *Mogućnosti odreda za otklanjanje posledica nuklearne eksplozije u zoni odbrane brigade (magis. rad)*, Sektor ŠONID, Beograd, 2001.
- [4] Đukić, V., *Izviđanje hemijski kontaminiranog zemljišta u osnovnim taktičkim jedinicama*, Prilozi uz Taktiku roda ABHO-skripta, ŠC ABHO, Kruševac, 1998.
- [5] Dwyer, A., Eldridge J., Kernan M., *Jane's Chem-Bio Handbook*, London, UK, 2002.
- [6] Milenković, Z., *Određivanje borbenih mogućnosti jedinica ABHO*, Bilten broj 14, CUK ABHO, Kruševac, 2003., str. 36–56.
- [7] Rajić, D., *Metoda ispitivanja kompatibilnosti sredstava lične NHB zaštite*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 3, pp. 43–57, ISSN 0042-8469, UDC 623 +355/359, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Belgrade, 2009.
- [8] Amidžić, B., Biočanin, R., *Efekti i posledice nuklearnih udesa i mere zaštite*, IMK-14 Istraživanje i razvoj, vol.11, br. 3–4, str.135–144, Beograd, 2005.

## DETERMINATION OF THE CAPABILITIES OF A DETACHMENT FOR NEUTRALIZING CHEMICAL ATTACK EFFECTS IN THE BRIGADE DEFENCE ZONE

FIELD: Chemical Technology  
ARTICLE TYPE: Professional Paper

### Summary:

*This paper presents one possible way of deploying detachments for neutralizing the effects of chemical attacks in a brigade defense zone. The detachment composition is provisional and depends on the assessment of whether the enemy in the incoming combat will use weapons of mass destruction. A detachment consists of several organizational units: medical care forces, chemical reconnaissance forces, forces for the establishment of combat efficiency and chemical decontamination forces. The capabilities of the mentioned forces depend on their size, equipment, training level, extent of effects and combat conditions. The paper indicates a potential to overcome the gap in the provisions after disbanding the Army Corps.*

### Introduction

*A detachment for neutralising effects of nuclear and chemical attacks in the Serbian Army existed as a temporary structure in the combat schedule of Army Corps, but their dissolution created a vacuum. This problem could be overcome at the Brigade level, where such units could be formed from the parts of existing units together with NBC units in case of attacks with weapons of mass destruction. The capabilities of such detachments are limited as they represent the sum of capabilities of their constitutional parts. Depending on combat conditions, their efficiency decreases with the duration of their activities and the impact of combat and other conditions becomes stronger with time.*

### Detachment capabilities in medical care

*Medical care involves measures and procedures for quick and timely help to the injured and poisoned, immediate search for the casualties, evacuation from the contaminated areas and treatment in medical institutions (or burying the dead). The structure of the forces engaged in this task is as follows: a medical team, a car division and an infantry platoon. Overall capabilities of the unit for medical care are determined through individual capabilities of forces for the care of injured and poisoned and the forces for casualties.*

### Detachment capabilities in chemical reconnaissance

*Chemical reconnaissance aims at determining the type of toxic chemical substances used, marking the boundaries of droplet contamination, determining road directions for access and evacuation of the in-*

*jured, poisoned and killed, and taking samples of contaminated soil. An NBC division of reconnaissance services is engaged in these tasks. Overall capabilities of chemical reconnaissance detachments are determined through individual capabilities of forces for chemical reconnaissance of routes and chemical reconnaissance of contaminated soil.*

#### Detachment capabilities for establishing combat efficiency of units

*During a chemical attack, irregularities in the chain of command and in overall behaviour in the affected unit are expected to occur due to resulting consequences. In such circumstances, it is very important to re-establish unit combat efficiency as soon as possible. For the realization of this task, there is not a specially designed unit but a part of personnel after medical care is engaged. Detachment capabilities in establishing combat efficiency of units are determined through individual possibilities of forces to restore the chain of command and overall discipline.*

#### Detachment capabilities in chemical decontamination

*Individual chemical decontamination is carried out immediately, while the decontamination of the unit is done at the decontamination point of NBC service after creating conditions for pulling troops out of combat. An NBC decontamination platoon is engaged for this task. Detachment capabilities for NBC decontamination are determined through individual capabilities of forces for the decontamination of human resources, material and technical resources, terrains and engineering structures as well as for the establishment of control and protection services.*

#### Conclusion

*The purpose of forming such detachments depends largely on the time elapsed from a chemical attack to the moment of detachment's deployment. In order to deal with issues of forming and deploying such detachments, they should be defined in valid military doctrinal documents. Efficiency of particular parts of detachments for the neutralisation of chemical attack effects would be significantly improved with modern equipment for remote detection and identification of toxic chemicals, chemical protection and decontamination. In order to perform successfully its tasks, the detachment should establish close cooperation with civilian structures, and above all with the Civil Protection units. Solving these problems will certainly increase the overall capabilities of the detachment and facilitate its engagement in neutralizing chemical attack consequences.*

**Key words:** *detachment, capability, neutralization of effects.*

Datum prijema članka: 20. 09. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 17. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 18. 10. 2011.

# METODOLOGIJA UPRAVLJANJA EKOLOŠKIM RIZIKOM I PROCENE RIZIKA

Bakrač T. Saša, Vojska Srbije, Vojnogeografski institut,  
Beograd,

Vuruna M. Mladen, Univerzitet odbrane u Beogradu,  
Vojna akademija,

Milanović M. Miško, Geografski fakultet, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202296B

OBLAST: geonauke

VRSTA ČLANKA: stručni članak

## Sažetak:

*Uspešna zaštita životne sredine najvećim delom počiva na kvalitetnoj proceni mogućih i prisutnih rizika. Upravljanje ekološkim rizikom je kompleksan proces koji obuhvata: identifikaciju rizika, procenu rizika i kontrolu rizika, odnosno preduzimanje mera da se taj rizik svede na prihvatljiv nivo. Težište rada je na primeni metodologije procene (tri modela – koncepta), kao najvažnijeg aspekta uspešnog upravljanja ekološkim rizikom.*

*Ključne reči: upravljanje rizikom, procena ekološkog rizika, metodologija procene.*

## Uvod

Prema dosadašnjim saznanjima postoje različiti pristupi u modelovanju procesa upravljanja ekološkim rizikom i procene tog rizika. Shvatanja i metodologija postupaka uglavnom se svode na zajednički cilj, a to je: kako smanjiti postojeće ili izbeći potencijalne rizike.

Postoji više pristupa u definisanju pojmova upravljanja i procene ekološkim rizikom u životnoj sredini. Tako, prema nekim autorima, upravljanje rizikom podrazumeva aktivnost koja obuhvata donošenje odluka kako i na koji način sprovoditi određene akcije radi zaštite životne sredine, a što se prvenstveno zasniva na rezultatima procene rizika i sagledava se u ostvarivanju određenih ciljeva [3]. Upravljanje rizikom drugi definišu kao složenu i izuzetno specifičnu aktivnost koja zahteva multidisciplinarni pristup, i predstavlja kompleksan skup mera postupaka i aktivnosti koje imaju za cilj smanjenje verovatnoće nastanka rizika i mogućih posledica, radi stvaranja uslova pod kojima rizik može biti sveden na prihvatljiv nivo [7,9]. Pojam upravljanja rizikom u životnoj sredini definiše se i na način da je to optimalni izbor preventivnog delovanja koje daje minimalni rizik [1].

„U nizu aktivnosti koje čine sastavni deo zaštite životne sredine, procena rizika je strateška metoda koju čini kompleksna procedura koja neposredno i na egzaktn način opisuje svu težinu problema zagađenja životne sredine i nastale posledice koje pogađaju čoveka i prirodu“ [3]. Procena ekološkog rizika je proces koji se koristi za sistematično evaluiranje i organizaciju podataka i informacija, radi boljeg razumevanja i predviđanja odnosa između stresora i ekoloških efekata, na način koji je koristan za upravljanje životnom sredinom.

Treba imati u vidu da se i sprovođenjem adekvatnog upravljanja i procene ekološkim rizikom ne obezbeđuje garancija da se mogu izbeći rizici, kao i da će se ovi procesi uspešno sprovesti.

## Metodologija upravljanja ekološkim rizikom

Jedan od najprihvatljivijih modela upravljanja ekološkim rizikom podrazumeva sprovođenje tri faze: identifikaciju rizika, procenu ekološkog rizika i kontrolu rizika.

*Identifikacija rizika*, kao prva od tri međuzavisne faze u procesu upravljanja ekološkim rizikom. Ova faza ima za cilj da utvrdi moguće pojavljivanje rizika ili da prepozna već postojeći rizik. Odgovarajućim praćenjem stanja životne sredine moguće je definisati parametre životne sredine koji ukazuju na rizike. Na ovaj način identifikacijom rizika u procesu upravljanja zaštitom životne sredine stvaraju se uslovi kako za prevenciju od potencijalnih rizika, tako i za kontrolu postojećih rizika.

*Procena ekološkog rizika* je suštinska faza procesa upravljanja. Može se reći da je to proces: sakupljanja, organizovanja, analiziranja i prezentovanja naučnih podataka radi donošenja odluka kojima se obezbeđuje zaštita i poboljšanje ekološkog stanja nekog prostora. Ovako definisana, procena ekološkog rizika predstavlja jedinstven oblik procene koji uključuje termin rizik i kojim se pretpostavlja uzročno-posledična veza (odnos) stresor – odgovor. Pod pojmom ekološki rizik podrazumeva se funkcija verovatnoće datog izvora pretnje – stresora, koja koristi određenu potencijalnu osetljivost nekog ekološkog sistema, i njegov odgovarajući odgovor na dati događaj. Pod pojmom stresor podrazumeva se bilo koji fizički, hemijski ili biološki entitet koji može da izazove, indukuje negativnu reakciju [2].

„*Kontrola rizika* predstavlja skup metoda kojima se obezbeđuje smanjivanje, minimiziranje, otklanjanje ili prihvatanje rizika“ [4]. Sprovođenje postupka kontrole rizika podrazumeva aktivnosti na organizovanju razvoja kadrovskih i materijalnih resursa, sprovođenju mera pripravnosti, izradi planova zaštite životne sredine, nadzor i sprovođenje inspeksijskih poslova, primenu standarda zaštite životne sredine i dr.

Pored navedenih faza u upravljanju ekološkim rizikom potrebno je primenjivati i odgovarajuće mere koje utiču na redukciju pojave rizika, a to su:

- normativno-pravna regulativa (zakoni i propisi),
- odgovarajuća organizaciona struktura u društvu i
- uspostavljanje kvalitetnog monitoringa životne sredine.

Dobro upravljanje ekološkim rizikom može se postići smanjenjem uticaja izvora – stresora ili promenom tog uticaja na ekološke receptore.

## Metodologija procene ekološkog rizika – evropski model (koncept)

Da bi se razumelo šta se podrazumeva pod procenom ekološkog rizika, koristeći se ovom metodologijom, važno je upoznati se sa konceptima dva pojma: hazarda i rizika. Prema datoj metodologiji ovi pojmovi imaju različita značenja i nisu zamenljivi. Za njih se koriste sledeće definicije:

Hazard je inherentni (bitan) potencijal da nešto nanese štetu. Hazardi mogu da sadrže materije, mašine, oblike energije, odnosno tokove koji se vrše izvan procesa rada [8].

Rizik je verovatnoća da će se šteta zaista dogoditi u toku rada ili će se tako nešto dogoditi nakon izlaganja opasnosti.

$Rizik = Hazard \times Izlaganje$ .

Ova metodologija pretpostavlja da je životna sredina fizičko okruženje koje je zajedničko svima, uključujući: vazduh, vodu, zemljište, biljke i životinje [6]. Prema tome, procena ekološkog rizika pokriva rizik na sve ekosisteme, uključujući i čoveka, izloženog na, ili pod uticajem, tih medija. Procena ekološkog rizika ne pokriva rizike na pojedince ili javnost u celini od potrošačkih proizvoda ili izloženosti na radnom mestu, gde se primenjuju drugi pristupi (posebni zakoni i sl.).

Evropski koncept procene ekološkog rizika sadrži određene faze u sprovođenju. To su:

1. Identifikacija hazarda (opasnosti). Obično uključuje identifikaciju imovine ili situacija koje bi mogle da dovedu do akcidenta. Ovaj korak je poznat i kao *formulacija problema*.

2. Identifikacija posledica (ako dođe do hazarda). Ovaj korak je poznat i kao identifikacija hazarda.

3. Procena obima posledica. Može da uključi razmatranja prostornih i vremenskih nivoa posledice i vreme početka posledice. Kada se razmatraju hemikalije kao stresori, ovaj korak se ponekad može nazvati izveštaj procene.

4. Procena verovatnoće posledica. Postoje tri komponente ovog postupka: prisustvo hazarda, verovatnoća izloženosti receptora na hazard (opasnost) i verovatnoća štete nastale usled izloženosti hazardu. Ovaj korak ponekad može biti nazvan procena izloženosti ili posledica – procena posledica.

5. Ocena rizika (često se naziva i karakterizacija rizika ili procena rizika). Ocenjivanje značaja rizika je proizvod verovatnoće hazarda koji se dešava ili se može desiti i težine posledica.

Evropski koncept često se koristi za procenu rizika u životnoj sredini kao model za rešavanje pitanja rasprostiranja stresora na liniji *izvor – putanja – receptor* (tabela 1).

U ovom modelu putanja između izvora hazarda (na primer izvor kontaminacije) i receptora (npr. određeni ekosistem) jeste istraga. Putanja je povezivanje kojim receptor može da dođe u kontakt sa izvorom (broj putanja često treba uzimati u obzir).

Rasprostiranje stresora

Tabela 1

Distribution of stressors

Table 1

| Primer izvora                                                                                                                                                                   | Primer putanje od izvora do receptora                                                                                    | Primer receptora                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– kontaminirano zemljište</li> <li>– kontaminirana voda</li> <li>– curenje iz cisterni</li> <li>– emisije iz industr. procesa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– vazduh</li> <li>– voda</li> <li>– zemljište</li> <li>– lanci ishrane</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ljudi</li> <li>– ekosistemi</li> <li>– životinje</li> <li>– biljke</li> </ul> |

Ako ne postoji putanja onda ne postoji ni rizik. Ako postoji put koji povezuje izvor do receptora posledica toga je određena. Na primer, ovaj pristup se koristio u proceni kontaminiranog zemljišta, ali može se koristiti i u mnogim drugim oblastima.

Na kraju procesa procene rizika postojeće kontrole treba da obezbede dalje mere koje se moraju koristiti za smanjenje ili eliminisanje identifikovanih rizika. Završna faza procene je od značaja, jer podrazumeva da se rizik razmatra i postavi u kontekst ekoloških standarda i drugih kriterijuma definisanih zakonima ili drugim pravilima koja imaju dobru praksu.

Količina truda potrebna za procenu nekog rizika može uveliko da varira, ali je generalno proporcionalna važnosti prioriteta i složenosti postupka procene. Tako se procena rizika može sprovoditi kroz više nivoa. Na primer, relativno uobičajena i jednostavna procena zasnovana je na pristupu riziku preko tzv. rang-matrice imajući značenja visokog, srednjeg, niskog i vrlo niskog rizika ili se mogu utvrditi na različite načine, recimo koristeći opisne i numeričke skale, ili često na osnovu stručnog prosuđivanja. Kada su rizici identifikovani, matrica ima relativnu važnost koja se može lako utvrditi, a identifikovani rizik može biti prioritetan u donošenju odgovarajuće strategije ili plana upravljanja rizikom. Ostali relativno jednostavni pristupi uključuju korišćenje tzv. tabaka – lista, pri čemu su opisani navedeni materijali, aktivnosti i svi potencijalni uticaji na okolinu.

## Metodologija procene ekološkog rizika – kanadski model (koncept)

Procena ekološkog rizika prema datoj metodologiji obuhvata ispitivanje rizika koji proističu iz prirodnih događaja (poplava, ekstremnih vremenskih prilika, itd.), tehnoloških procesa i proizvoda, agensa (hemijskih, bioloških, radioloških, itd.) i industrijske aktivnosti koje mogu predstavljati pretnje ekosistema, biljnom i životinjskom svetu i ljudima. Na primer, ekološka procena zdravstvenog rizika tiče se ljudskog zdravlja i procene ekološkog rizika koja se odnosi na ambijent životne sredine i organizama koji u njoj žive.

Koristeći se datom metodologijom, procena ekološkog rizika je pretežno naučne osnovanosti i obuhvata kritički pregled raspoloživih podataka radi identifikacije i kvantifikacije mogućih rizika povezanih sa potencijalnom pretnjom.

Kako se koristi i koje su bitne faze? Kanadski model (koncept) daje sledeće faze:

- prva faza procene je sistematski proces kojim procenitelj nastoji da utvrdi da li određeno mesto može biti predmet procene,
- druga faza je sistematski proces kojim procenitelj nastoji da okarakteriše nivo rizika,
- treća faza se koristi da se potvrdi ili opovrgne nalaz prve faze, prikupljanje informacija i korektivne mere ili da se uspostave osnovni uslovi za zaštitu životne sredine.

Identifikacija važnih pitanja ili prioriteta za zaštitom životne sredine (dalje delovanje) može dovesti do potrebe za procenom [5]. U tom smislu potrebno je da se utvrdi da li je inicijalni pokazatelj problema važeći ili ne! Na osnovu identifikovanih pretnji, procena obezbeđuje osnovu za većinu (domaćih i međunarodnih) zakonodavnih i regulatornih mehanizama. Treba istaći da dok približavanja znatno variraju od jedne do druge situacije, od jednog do drugog mesta, međunarodne organizacije čine napore da se dođe do zajedničkog (objedinjenog) pristupa.

Ako se pretnja ljudskom zdravlju ili životnoj sredini identifikuje kroz procenu – drugu fazu ove metodologije, onda se nameće potreba za merama kontrole i upravljanje rizikom. Dok nauka postaje značajan faktor u ovoj trećoj fazi, i drugi ključni faktori moraju se razmatrati, kao što su: društveno-ekonomski faktori, raspoloživost alternativne tehnologije, procesi i sl; međunarodna saradnja, komunikacija i konsultacije sa javnošću i zainteresovanim stranama. Na mnogo načina ova faza je najkompleksnija.

Korišćenje date metodologije procene ekološkog rizika zavisi od više uslova. To su:

- prioritet rizika. Kada je organizacija suočena sa brojem potencijalnim ekološkim rizicima, procena se može koristiti da se uspostavi njihov relativni značaj, i time pruži osnova za određivanje prioriteta, koje rizike treba prvo odabrati;



- lokacija. Određena procena rizika može se koristiti za određivanje rizika u vezi sa lociranjem objekata u određenim lokacijama ili da se utvrde rizici koji utiču na određenu lokaciju;
- uporedna procena rizika. Procena se koristi za upoređivanje relativnog rizika na više od jednog pravca delovanja (npr. rizik od korišćenja neprečišćene vode u odnosu na rizik od hemikalija u vodi);
- kvantifikacija rizika. Procena može odrediti nivo rizika radi uspostavljanja kontrole rizika (na primer, maksimalna prihvatljiva koncentracija za hemikalije u prostoru ili vodi za piće).

Ukupni okvir procene razvijen po kanadskom modelu (standardu) naglašava značaj komunikacije tokom procene rizika. To se ogleda na način u kojoj meri su akteri uključeni tokom procesa, od identifikacije i prioriteta, do procene i upravljanja rizikom, i kasnije kroz monitoring i evaluaciju i implementaciju mera.

## Metodologija procene ekološkog rizika – američki model (koncept)

Ovaj metodološki pristup procene ekološkog rizika razvila je američka agencija za zaštitu životne sredine U.S. EPA. Procena ekološkog rizika, data ovim modelom, jeste proces prikazan na slici 1 koji, u suštini, čine tri faze i planiranje procene.

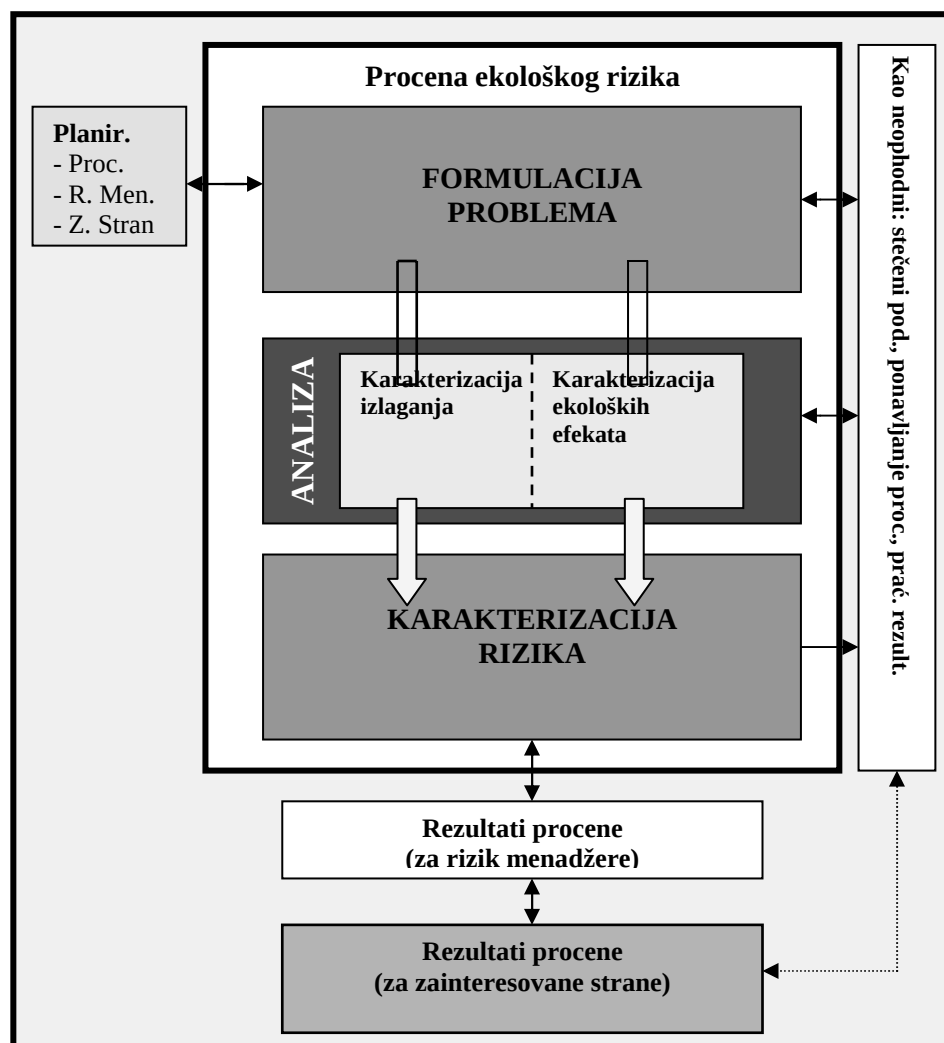
Model, pre svega, podrazumeva sprovođenje procene ekološkog rizika u uslovima antropogenog delovanja na životnu sredinu, ne upuštajući se u probleme rešavanja prirodnih ekoloških rizika, ali sa mogućnošću primene date metodologije i na taj segment životne sredine. Data metodologija jasno ocrtava granicu između naučnog (faza procene) i nenaučnog (planiranja) dela procene.

Na samom početku predviđa se tzv. proces planiranja procene koji mora biti u naučnom smislu odvojen od ostatka (tri faze) procene. Nosioći ovog dela procene su tzv. menadžeri i procenitelji rizika uz poželjno učešće javnosti – zainteresovanih strana. Proizvodi procesa planiranja su: jasno ustanovljen i artikulisan cilj/ciljevi i zadaci upravljanja, opcije upravljanja u kontekstu ostvarenja postavljenog cilja/ciljeva i sporazum o delokrugu, kompleksnosti i fokusiranju procene rizika, uključujući očekivani rezultat i tehničku i finansijsku pomoć potrebnu za ostvarenje postavljenog cilja/ciljeva.

Formulacija problema je prva od faza naučnog dela procene, što podrazumeva isključivu nadležnost eksperata – procenitelja rizika. Ova faza zasniva se na tome kako su upotrebljene dostupne informacije o izvorima stresora i njihovim karakteristikama, pojedinostima vezanim za ekosistem koji je u potencijalnoj opasnosti i njegovim efektima, da bi se:

– identifikovali stresori i ekološki resursi – ključne tačke na koje će se fokusirati procena rizika,

- razvio konceptualni model o tome kako ljudska aktivnost utiče na ekološke resurse posmatranog područja ili ekološkog entiteta i
- razvio plan za fazu analize.



Slika 1 – Šematski prikaz prosečne procene ekološkog rizika U.S. EPA, 1992a  
Figure 1 – Schematic view of the average of environmental risk assessment U.S. EPA, 1992a

Analiza rizika je strateška faza u ukupnom procesu procene ekološkog rizika. Ona je po pitanjima podataka najobimnija i najzahtevnija od svih faza procene, kako u kvantitativnom, tako i u kvalitativnom smislu. Analizom se ispituju dve osnovne komponente rizika, izloženost i efekti,

njihova međusobna veza i odnos prema karakteristikama ekosistema. Završni proizvod analize rizika su objedinjeni profili izloženosti i ekoloških efekata – profil stresor – odgovor.

Od karakterizacije rizika (finalne faze procene) očekuje se da omogućiti proceniteljima rizika da razjasne veze između stresora, efekata i ekoloških entiteta i da dođu do zaključka koji se tiču izloženosti i štete izazvane postojećim ili predviđenim efektima. Zaključci prezentovani u karakterizaciji rizika treba da obezbede jasnu informaciju menadžerima rizika kako bi doneli pravilnu odluku vezanu za dati problem u životnoj sredini. Ukoliko rizici nisu dovoljno definisani i jasni da bi se donela odluka menadžmenta, tada menadžeri rizika mogu odlučiti da se ponove jedna ili više faza procene.

## Zaključak

Od ovog rada očekuje se, prvenstveno, doprinos na teorijsko-metodološkom polju, a zatim i da otvori mogućnosti razrade i primene teorije i metodologije procene ekološkog rizika i upravljanja tim rizikom u konkretnim uslovima.

U radu su dominirala dva pojma – upravljanje ekološkim rizikom i procena tog rizika. Prvi, u opštem smislu te reči, predstavlja vrlo kompleksan proces sakupljanja, organizovanja, analiziranja i prezentovanja naučnih i drugih informacija kako bi bili što korisniji u donošenju i sprovođenju odluka koje se tiču zaštite i unapređenja životne sredine.

Drugi, procena ekološkog rizika, jedinstvena je forma procene, jer sadrži termin rizik. Procenom se pretpostavlja, ali i utvrđuje, postojanje odnosa između izazivača rizika (stresora) i ekoloških efekata. Taj odnos može se predstaviti pomoću krive stresor – odgovor. Važno je naglasiti da se metodologijom procene ekološkog rizika mogu sagledavati uži i širi problemi životne sredine. I za jedne i za druge zahteva se naučnost, odnosno uspostavljanje partnerskih odnosa nauke i upravljanja životnom sredinom.

Postoji više pristupa u metodologiji procene ekološkog rizika. Rad pruža uvid u tri najveća i najbitnija, a to su: evropski, kanadski i američki pristup. Sva tri od navedenih pristupa je svojstven, a zajedničko im je: da započinju sa procesom planiranja, da imaju više radnih faza procene i da se procena završava donošenjem zaključnih stavova o procenjenom riziku. Primena bilo koje metodologije procene ekološkog rizika, a posebno one koja je proverena i nužno naučna, otvara mogućnost bolje zaštite i unapređenja stanja životne sredine.

## Literatura

- [1] Čvorović, Z., Upravljanje rizicima u životnoj sredini, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2005.
- [2] Grupa autora, Ekotoksikološki rečnik, Kruševac, 2002.
- [3] Gržetić, I., Upravljanje rizikom i njegova procena, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2001.

[4] Karović, S. i dr., *Upravljanje rizicima kao preduslov integrisanog menadžment sistema u organizaciji*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 3, pp. 146-161, Beograd, 2010.

[5] Lješević, M., *Životna sredina – teorija i metodologija istraživanja*, (peto izdanje), Univerzitet Singidunum u Beogradu – Fakultet za primenjenu ekologiju FUTURA i NVO "Ekorizik", Beograd, 2010.

[6] Marković, D. i dr., *Životna sredina i njena zaštita*, Fakultet za primenjenu ekologiju – „Futura”, Univerzitet Singidunum, Knjiga I i II, Beograd, 2008.

[7] U.S. EPA., *Framework for ecological risk assessment*. EPA/630/R-92/001. Office of Water, Washington, DC, 1992a.

[8] Vujaklija, M., *Leksikon stranih reči i izraza*, Beograd, 1992.

[9] Bakrač, S., *Korišćenje geotopografskih materijala u zaštiti životne sredine*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 3, pp. 177–185, Beograd, 2011.

## METHODOLOGY OF ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT MANAGEMENT

FIELD: Earth Sciences

ARTICLE TYPE: Professional Paper

### Summary:

*Successful protection of environment is mostly based on high-quality assessment of potential and present risks. Environmental risk management is a complex process which includes: identification, assessment and control of risk, namely taking measures in order to minimize the risk to an acceptable level.*

### Environmental risk management methodology:

*In addition to these phases in the management of environmental risk, appropriate measures that affect the reduction of risk occurrence should be implemented:*

- *normative and legal regulations (laws and regulations),*
- *appropriate organizational structures in society, and*
- *establishing quality monitoring of environment.*

*The emphasis is placed on the application of assessment methodologies (three-model concept), as the most important aspect of successful management of environmental risk.*

### Risk assessment methodology – European concept:

*The first concept of ecological risk assessment methodology is based on the so-called European model-concept. In order to better understand this ecological risk assessment methodology, two concepts - hazard and risk - are introduced. The European concept of environmental risk assessment has the following phases in its implementation: identifi-*

cation of hazard (danger), identification of consequences (if there is hazard), estimate of the scale of consequences, estimate of consequence probability and risk assessment (also called risk characterization). The European concept is often used to assess risk in the environment as a model for addressing the distribution of stressors along the source - path - receptor line.

Risk assessment methodology – Canadian concept:

*The second concept of the methodology of environmental risk assessment is based on the so-called Canadian model-concept. The assessment of ecological risk includes risk arising from natural events (floods, extreme weather conditions, etc.), technological processes and products, agents (chemical, biological, radiological, etc.) and industrial activities that may pose threats to ecosystems, flora, fauna and humans. This model-concept gives a three-phase assessment where the assessor tries to determine whether a specific place may be subject to assessment, to characterize the level of risk and to confirm or refute the findings of the first phase, collecting information and corrective measures, or to establish basic requirements for environment protection.*

Risk assessment methodology – American concept:

*The third methodological approach to environmental risk assessment is developed by the U.S. Agency for Environmental Protection, "U.S. EPA". This model primarily involves the implementation of environmental risk assessment under the conditions of anthropogenic impact on environment, without aiming at solving problems of natural environmental risks, although this methodology can be applied in this environment segment as well. The methodology gives a clear distinction between a scientific (phase of estimation) and a non-scientific (planning) part of assessment. The phases of estimation given by this model are: problem formulation, risk analysis and risk characterization.*

Conclusion:

*Concepts and methodologies of all three models-concepts of assessment are mostly reduced to a common goal: how to reduce existing or avoid potential risks. However, it should be noted that the implementation of appropriate management and ecological risk assessment does not guarantee that risks will be avoided or that the implementation of these processes will be successful.*

Key words: risk management, environmental risk assessment, assessment methodology

Datum prijema članka: 23. 01. 2009.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 16. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 18. 10. 2011.

## STANDARDI KVALITETA I KVALITET TRANSPORTNE USLUGE

Vasin T. *Ljubislav*, Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna  
akademija, Katedra logistike

DOI: 10.2298/vojtehg1202306V

OBLAST: saobraćaj

VRSTA ČLANKA: stručni članak

### Sažetak:

*U radu je naglašen značaj primene standarda kvaliteta u svim sferama života i rada društva. Navedena su detaljna objašnjenja pojmova kvalitet, proizvod i usluga. S obzirom na to da je rezultat rada u transportu promena mesta predmeta transporta u prostoru, odnosno transportna usluga, najviše pažnje posvećeno je objašnjenju pojma usluga. Posebno detaljno objašnjena je transportna usluga, i naglašeni su parametri kvaliteta transportne usluge tokom prevoza putnika i pri prevozu tereta. U poslednjem delu rada dat je kratak prikaz primene standarda kvaliteta u Vojski Srbije.*

Ključne reči: *standardi kvaliteta, proizvod, usluga, kvalitet transportne usluge.*

## Uvod

Sistem kvaliteta je nova filozofija poslovanja i novi pristup organizaciji, proizvodnji i razvoju. Unapređenje kvaliteta proizvoda i usluga označava globalni pojam koji je u svom punom značenju osvojio ceo svet. Kvalitet se u svetu smatra najznačajnijim fenomenom našeg doba sa trajnim i nepovratnim rastućim trendom njegovog naglašavanja. Sveobuhvatno uvođenje i unapređenje kvaliteta treba da doprinese ostvarenju ukupnog poboljšanja kvaliteta života ljudi, koji podrazumeva poboljšanje životnog standarda, zaštitu životne sredine, kao i zaštitu zdravlja i života ljudi.

Unapređenje kvaliteta je prioritetan zadatak ne samo privrednih organizacija, već i obrazovnih i naučnih institucija, profesionalnih i strukturnih asocijacija, sredstava informisanja, državnih organa i dr. To znači da kvalitet i unapređenje kvaliteta moraju biti prisutni i u svim sferama života i rada Vojske Srbije (VS).

U daljem toku rada dat je kratak prikaz primene standarda kvaliteta i upravljanje kvalitetom u društvu, saobraćaju i transportu i VS.

## Primena standarda kvaliteta i upravljanje kvalitetom u društvu

Standardi stvaraju izuzetno veliki i pozitivan doprinos svim aspektima našeg života. Oni garantuju željene karakteristike proizvoda i usluga, kao što su: kvalitet, zaštita životne sredine, bezbednost, pouzdanost, ekonomičnost i dr. U dokumentima međunarodnih organizacija standard se definiše kao „dokument, utvrđen konsenzusom i odobren od priznatog tela, kojim se utvrđuju, za opštu i višekratnu upotrebu, pravila, smernice ili karakteristike za aktivnosti ili njihove rezultate, radi postizanja optimalnog nivoa uređenosti u datom kontekstu”. Standardi su zasnovani na proverenim rezultatima nauke, tehnologije (tehnike) i iskustva, radi postizanja optimalnih efekata za društvo.

Standardi serije ISO 9000:2000 primenjuju se u neizmenjenom vidu u svim zemljama sveta, u svim industrijsko-ekonomskim sektorima i u svim preduzećima. Pošto se odnose na ukupno poslovanje preduzeća, ovi standardi se smatraju osnovom na koju se nadograđuju svi drugi sistemi menadžmenta: sistem zaštite životne sredine, sistem zaštite bezbednosti i zdravlja zaposlenih, sistem za proizvodnju bezbedne hrane, itd.

Najvažnije karakteristike serije standarda ISO 9000:2000 su: ceo sistem je okrenut korisniku (potrošaču), merenje zadovoljstva korisnika, stalno unapređenje kao specifičan zahtev, primena procesnog modela, sistem se zasniva na osnovnim principima menadžmenta, smanjen obim dokumentacije, koncept samoocenjivanja organizacije, primenljivost na sve vrste proizvoda (usluga), jednostavnost primene, jasnoća termina, razumljivost, kompatibilnost sa standardima ISO 14000, ISO 22000, HACCP i dr.

Kvalitet je globalni pojam, svetski i društveni fenomen današnjice značajan za sve segmente društva, kako za proizvođače ili davaoce usluga, tako i za potrošače proizvoda ili korisnike usluga. Pojam kvaliteta se ovih godina globalno proširio od pristupa upravljanja kvalitetom, koji se direktno odnosi na kvalitet proizvoda i usluga, što uključuje provere i verifikacije proizvoda i proizvodnog procesa, u pristup menadžmenta totalnim kvalitetom [TQM].

Reč kvalitet nastala je od latinskih reči *qualitas* (osobina, svojstvo, karakter) i *qualis* (vrsta, rod, kakvoća). Sa razvojem industrije i tržišnih potreba prevazišla je osnovno značenje i prerasla u pojam sa kompleksnim značenjem, pa se ne može dati jedna kraća i formalna definicija kvaliteta.

Najopštije rečeno, *kvalitet* je merilo upotrebne vrednosti jednog proizvoda, odnosno merilo njegove sposobnosti da udovolji zahtevima odgovarajućih potrošača i tržišta. To znači da kvalitet predstavlja sinonim za valjanost robe i identičan je upotrebnoj vrednosti robe.

Kvalitet se danas, kao složena kategorija, definiše kao [1]:

- atribut u poređenju sa drugim proizvodima ili proizvođačima,
- u odnosu na proizvod, kao kvantitativna mera osobina proizvoda,
- orijentisan ka korisniku kroz osećaj za njegove želje,

- orijentisan ka procesu kroz ostvarenje zadatih tolerancija i
- orijentisan ka ceni na osnovu realizacije visokih performansi po prihvatljivoj ceni.

Prema standardu SRPS ISO 8402:2000 data je sledeća definicija kvaliteta: „Kvalitet je skup svih svojstava i karakteristika proizvoda ili usluge, koji se odnosi na mogućnost da on zadovolji utvrđene ili izražene potrebe“. Ova definicija se odnosi na: materijal, cenu, konstrukciju, tehnologiju, izradu, upotrebu, održavanje, funkciju, trajnost, količinu, troškove, bezbednost, estetiku i dr. U suštini, kvalitet se najkraće može definisati kao sposobnost zadovoljenja potreba korisnika.

Prema ISO/TC 176 „proizvod se definiše kao rezultat aktivnosti i procesa, a može biti materijalan, nematerijalan ili njihova kombinacija“ [1].

„Usluga nastaje kao rezultat aktivnosti između isporučioaca i korisnika usluge proizveden aktivnostima unutar isporučioaca radi zadovoljenja potreba korisnika“. Usluge su nematerijalni proizvodi koji su celoviti ili pretežni deo ponude. To je, takođe, i ugrađena osobina, koja se odnosi na planiranje, prodaju, transport, obuku ili uslugu materijalnog proizvoda [1].

Standardi serije ISO 9000:2000 predstavljaju sintezu veće grupe različitih standarda iz oblasti upravljanja kvalitetom. Kako se razvijala nauka o kvalitetu, tako su se i određene procedure standardizovale. To je dovelo do razvoja standarda kvaliteta i odgovarajućih uputstava ili modela kojima se dopunjavaju zahtevi za proizvod ili uslugu. Navedene standarde kvaliteta prihvatila je i naša zemlja kao odgovarajuće SRPS standarde.

Posebno treba napomenuti da je model sistema kvaliteta prvi put primenjen u Japanu – TQM (menadžment totalnim kvalitetom ili upravljanje ukupnim kvalitetom), koji se danas sve više razvija i primenjuje, po svojim karakteristikama iznad sistema kvaliteta ISO 9000:2000. Menadžment ukupnim kvalitetom objedinjuje koncept kvaliteta proizvoda, procesnu kontrolu, obezbeđenje i unapređenje kvaliteta u svim područjima delovanja.

Kvalitet, skup osobina, svojstven je proizvodu ili usluzi. To nije nadgradnja, nešto što se može kasnije dodati proizvodu ili usluzi. Ako se posmatra proizvodnja nekih proizvoda, treba naglasiti da ne postoje ljudi koji prave proizvod i drugi, koji prave kvalitet. Upravo tokom izrade, počevši od projektovanja, pa sve do realizacije, proizvod dobija sve zahtevane osobine, odnosno željeni kvalitet. Iz ove činjenice se izvodi pojam upravljanje kvalitetom. Dakle, upravljati kvalitetom nekog proizvoda ili usluge znači ovladati aktivnostima stvaranja i njihovim rezultatima. Upravljanje kvalitetom je neodvojivo od internog obezbeđenja kvaliteta.

Upravljanje kvalitetom čini celinu sa upravljanjem troškovima i rokovima (integralno upravljanje trojstvom kvalitet – cena – rok).

Na ovakav način, upravljanje kvalitetom predstavlja totalno upravljanje kvalitetom, koje uključuje sve aktivnosti koje doprinose definisanju, realizaciji, održavanju i korišćenju proizvoda (usluge), a koje se sprovodi putem sistema kvaliteta [2].



Savremena teorija i praksa raspoznaju tri glavne funkcije kvaliteta: kontrola kvaliteta, prevencija i obezbeđenje kvaliteta. Kontrola kvaliteta se zasniva na sprečavanju, prevenciji pojave grešaka ili na trajnom uklanjanju uzroka grešaka. Kontrola kvaliteta obuhvata operativne postupke i aktivnosti usmerene i na praćenje procesa i na uklanjanje uzroka nezadovoljavajućeg rada u svim segmentima organizacije. Obezbeđenje kvaliteta sadrži sledeće implikacije: kvalitet je u nadležnosti najvišeg rukovodstva, kvalitet je podložan stalnom unapređenju i usmerenost organizacije na kupca (korisnika usluge).

## Kvalitet usluge

Standard ISO 8402:1994 definiše proizvod kao rezultat aktivnosti ili procesa. Proizvod može da obuhvati uslugu, hardver, procesne proizvode, softver ili kombinaciju navedenih elemenata, što znači da može biti materijalan i nematerijalan (npr. znanje, pojmovi i dr.). Sa druge strane, usluga se definiše kao rezultat stvoren aktivnostima u sprezi između isporučioaca i kupca i internim aktivnostima kod isporučioaca, da bi se ispuni le potrebe kupca – korisnika [3].

Danas postoji težnja da se pojam „proizvod“ koristi i za jedno i drugo, tim pre što su proizvodi i usluge često povezani. Međutim, iako je termin proizvod dobio podršku za primenu, ipak je usluga ta koja privlači korisnika, uključujući tu i ulogu koju kod pružanja usluge ima materijalni proizvod. Može se reći, da je kvalitet nekog proizvoda sadržan u usluzi koju on pruža. Ipak, proizvodi i usluge poseduju i neke karakteristike koje ih čine međusobno različitim.

Proizvod (predmet) nastaje tokom procesa koji se sastoji od niza postupaka projektovanja i realizacije, on postoji, živi, bilo izvršavajući svoju namenu, bilo odložen na vrh skladišta gde čeka dok se ne preradi ili dok se ne potroši.

Usluga (akcija) takođe se planira i priprema u toku jednog procesa, ali posle čega: trenutak pružanja usluge predstavlja istovremeno i trenutak njenog trošenja (ona se ne može skladištiti), korisnik je najčešće u neposrednom kontaktu sa davaocem usluge i kao rezultat toga korisnik na neki način učestvuje u procesu pružanja usluge, a po svojim posledicama to učešće može biti pozitivno ili negativno. Pored ovoga, najvažnije osobenosti i karakteristike usluge su sledeće [4]:

- usluga je nematerijalan proizvod i lišena je fizičkih svojstava,
- uslugu je teško meriti, pratiti i njom manipulirati,
- procesi proizvodnje i realizacije usluge vremenski i prostorno se potpuno poklapaju,
- proizvodnja, odnosno realizacija usluge ne može biti izvršena bez direktnog učešća korisnika,

- usluga je rezultat neprekidnog procesa komunikacije između proizvođača i korisnika usluge,
- u slučaju usluge, korisnik je u poziciji da ocenjuje njen proces proizvodnje, odnosno plasmana,
- korisnik uslugu ne može posedovati,
- nekvalitetnu i neusaglašenu uslugu nije moguće povući sa tržišta,
- uslugu nije moguće skladištiti, stvarati njene zalihe,
- kritičnu tačku procesa reprodukcije u slučaju usluge predstavlja kontinuiran priliv korisnika i dr.

Imajući u vidu navedene karakteristike usluge i definiciju usluge, datu u standardu ISO 8402, može se reći, da usluga predstavlja pruženi kvalitet i stvorene rezultate u oblasti nematerijalne proizvodnje, koji su ostvareni kao posledica aktivnosti proizvođača usluge, ali i međusobnih aktivnosti proizvođača i korisnika usluge usmerenih ka zadovoljenju potreba korisnika. Kada je reč o usluzi, uloga ljudskog faktora je dvostruka i podrazumeva na jednoj strani ulogu proizvođača usluge, a na drugoj ulogu njenog korisnika, što znači da se radi o zajedničkim aktivnostima dva aktera. Uloga proizvođača vezana je za organizaciju procesa proizvodnje usluge. Kompleksnost uloge ljudskog faktora u stvaranju usluge i njenom kvalitetu, ogleda se i u činjenici, da u pomenutom procesu na složenost i značaj uloge korisnika usluge utiču sledeći razlozi:

- korisnik usluge inicira nastanak usluge i potrebu za njom,
- korisnik direktno učestvuje u procesu proizvodnje i plasmana usluge, čime postaje deo sistema proizvođača,
- korisnik je jedini potrošač usluge,
- korisnik je u poziciji da vrši ocenjivanje svakog segmenta usluge i usluge u celini,
- korisnik direktno utiče na unapređenje kvaliteta usluge.

Usluga kao proizvod, kvalitet kao kategorija i ljudski faktor kao obavezni činilac procesa su elementi od najveće važnosti za kvalitet usluge, pa i za njegovu definiciju. Kvalitet usluge se može objasniti, ukoliko se u već navedenu definiciju kvaliteta, datu u standardu ISO 8402, uvede pojam usluge, pa se može reći da kvalitet usluge predstavlja skup svih karakteristika usluge, koje se odnose na njenu mogućnost da zadovolji iskazane potrebe i potrebe koje se podrazumevaju.

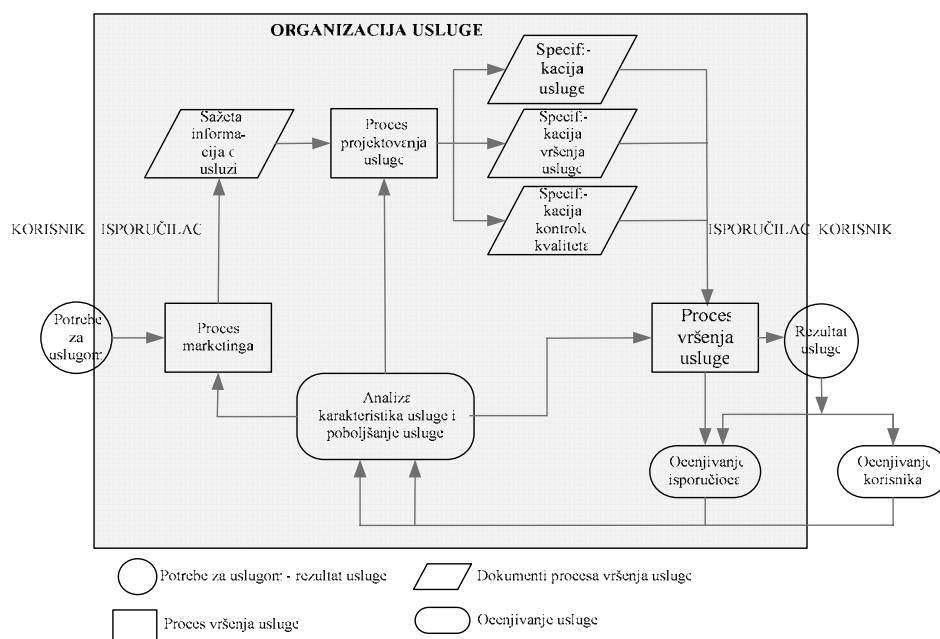
Obzirom da je usluga rezultat rada ljudskog i tehničkog faktora, prethodno objašnjenje se može dopuniti, što znači da kvalitet usluge predstavlja jedinstvo kvaliteta rada ljudskog i kvaliteta funkcionisanja tehničkog faktora usluge, do kojeg dolazi tokom procesa proizvodnje, odnosno pružanja usluge.

Proces vršenja usluge može biti visoko mehanizovan ili u potpunoj zavisnosti od ljudskog faktora.

Usluge ili vršenje usluge mogu imati kvantitativne (merljive) ili kvalitativne (uporedive) karakteristike, u zavisnosti od toga kako se ocenjuje i

da li ocenjivanje vrši uslužna organizacija ili korisnik. Mnoge kvalitativne karakteristike subjektivno procenjene od korisnika usluge mogu da postanu predmet kvantitativnih merenja za uslužnu organizaciju.

U sistemu kvaliteta usluge treba ustanoviti postupke kojima se utvrđuju zahtevi za karakteristike svih procesa vršenja usluge, uključujući tri glavna procesa vršenja usluge (marketing, projektovanje usluge i vršenje usluge) za koje se može ustanoviti da su bitni za petlju kvaliteta usluge, prikazanu na slici 1.



Slika 1 – Petlja kvaliteta usluge [3]  
Figure 1 – Loop of quality of service [3]

Primeri karakteristika koji mogu biti dati u dokumentima, koji specificiraju zahteve koji se odnose na uslugu, obuhvataju [3]:

- sredstva, kapacitet (produktivnost, obimnost), broj osoblja i količinu materijala,
- vreme čekanja, vreme isporuke i vremena tehnološkog procesa (obrade),
- higijenu, sigurnost, pouzdanost, bezbednost,
- odgovornost, pristupačnost, uslužnost, udobnost, estetiku okoline, nadležnost, sigurnost funkcionisanja, tačnost (preciznost), potpunost, sposobnost, verovatnost (verodostojnost) i efikasne komunikacije.

Proces pružanja usluge, u užem značenju tog pojma, odvija se prema sledećem [2]:

- iskazivanje zahteva koji se odnose na uslugu,
- projektovanje, tokom kojeg nastaje specifikacija usluge (ono što interesuje korisnika) i specifikacija postupka pružanja usluge (ono što davalac usluge treba da uradi),
- priprema za pružanje usluge, koja uključuje pribavljanje resursa koji treba da podrže uslugu,
- izvršenje usluge i procena njenog kvaliteta

Na kvalitet usluge, kako to vidi korisnik, neposredno utiču ove faze, kao i akcije koje proizilaze iz sledećih mera povratne sprege kvaliteta usluge, koje doprinose unapređenju kvaliteta usluge:

- ocenjivanje obavljene usluge od strane isporučioaca,
- ocenjivanje obavljene usluge od strane korisnika,
- provera kvaliteta sprovođenja i efikasnosti svih elemenata sistema kvaliteta.

## Kvalitet transportne usluge

Generalno posmatrano, može se reći da se standardizacija od značaja za saobraćaj i transport razvija u sledećim oblastima:

- transportna sredstva (drumska vozila, železnička – šinska vozila, plovila, vazduhoplovi, sredstva unutrašnjeg transporta, transportna ambalaža, teretna i tovarna jedinica),
- objekti infrastrukture – saobraćajnice (tehnička oprema javnih puteva),
- saobraćajni proces (saobraćajni inženjering),
- saobraćajna usluga (kvalitet, životna sredina, bezbednost).

Posebno su značajni standardi u vezi sa saobraćajnim procesima i standardi kvaliteta, koji se često nazivaju standardima za saobraćajne sisteme 21. veka.

Standardi saobraćajnih procesa ili saobraćajnog inženjeringa obuhvataju standarde koji se odnose na upravljanje i kontrolu saobraćajnih procesa zasnovanih na primeni savremenih tehnika (informatike, elektronike i telekomunikacija).

Značaj transporta može da se sagleda kroz jednostavnu činjenicu da je on neophodna karika u funkcionisanju svih aktivnosti u privredi i društvu.

Nov način života i komunikacije doprineli su potrebi da se i u transportu sve više usvajaju pravila poslovanja, u kojima kvalitet postaje ključna reč, a korisnik transportne usluge postaje mera kvaliteta ponuđenog prevoza.

Kao kriterijum konkurentnosti transportne organizacije sve više se javlja uspešno uvođenje i unapređenje kvaliteta transportne usluge. To znači, da prioritetan zadatak transportne organizacije ili preduzeća posta-

je stalno istraživanje ponašanja, stavova i zahteva korisnika usluge. Istraživanja koja su rađena pokazuju da se lične procene korisnika i davaoca transportne usluge razlikuju.

Da bi se uklopili različiti interesi na tržištu transportnih usluga potrebno je usvojiti određena pravila, koja upravo predstavljaju standardi. Polazna tačka na putu ka standardizovanosti transportne usluge je istraživanje korisničkih stavova o kvalitetu usluge, koja treba da bude zasnovana na informacijama koje sadrže sledeće elemente [5]:

- šta korisnik želi i očekuje,
- kada korisnik želi transportnu uslugu,
- cena transportne usluge koju korisnik može da plati,
- obaveze davaoca usluge prema korisniku,
- informacije o uslugama konkurentnog vida ili grane transporta,
- mogućnosti transportne organizacije za realizaciju potreba i zahteva korisnika.

Najvažnija poruka ovakvih istraživanja jeste da se kvalitet usluge mora razlikovati za različite svrhe, različite korisnike i razne uslove putovanja.

Prevoz ljudi i tereta, kao i prenos informacija i energije, predstavlja specifičan proces u čijoj osnovi je dislokacija ili premeštanje ljudi, robe, vesti ili energije. U zavisnosti od vrste transportnih sredstava, mreža na kojima se transport odvija, prirode onoga što se transportuje, udaljenosti prevoza, složenosti samog procesa i dr., transport se deli na vidove, grane, vrste, sisteme i sl. Efikasna rešenja u transportu rezultat su dostignutog tehnološkog razvoja i uticaja informatičke tehnologije.

Transport je uslužna delatnost koja ima za svrhu da zadovolji potrebe korisnika. Korisnike transportnog sistema, u osnovi, ne interesuje prevozna tehnologija, već kvalitet usluge koju može da mu obezbedi određeni vid prevoza. Današnja iskustva, posebno domaća, ukazuju na to da davaoci transportne usluge nedovoljno poznaju i respektuju stavove i želje korisnika.

Neka istraživanja u našim uslovima ukazuju na to da se sa stanovišta korisnika najvažniji **parametri kvaliteta transportne usluge tokom prevoza putnika** mogu svrstati u sledeće [6]:

- brzina prevoza (odnosno vreme trajanja putovanja od mesta polaska do odredišta),
- troškovi prevoza (direktni izdaci koje korisnik ima pri obavljanju putovanja),
- komfor (široka skala uslova pod kojima se obavlja prevoz, počev od uslova prilaska vozilu, način plaćanja usluge, mogućnosti udobnog smeštaja u vozilu, ljubaznosti osoblja i sl.),
- bezbednost (verovatnoća da se putovanje obavi bez doživljene nezgode, odnosno bez štetnih posledica),
- pouzdanost (garantovanje određenog vremena putovanja, koje se unapred može predvideti).

Osnovni **parametri kvaliteta transportne usluge za prevoz tereta** su [6]:

- pouzdanost,
- sigurnost (količina izgubljenog, oštećenog ili uništenog tereta tokom transporta),
- bezbednost,
- tranzitno vreme,
- sposobnost za operacije „od vrata do vrata”,
- prilagodljivost (kapacitet prema zahtevu korisnika u željeno vreme),
- postojanost (odnosi se na tehničke i organizacione karakteristike prevoza),
- energetska sposobnost (potrošnja goriva, što direktno utiče na cenu prevoza),
- ekološki uticaji (zagađivanje okoline zbog izduvnih gasova i stvaranje buke i vibracija).

Kvalitet transportne usluge korisnik ne može ocenjivati na osnovu materijalnog doživljaja kao kod proizvoda (ukus, dodir, pogled, miris, zvuk), već na osnovu subjektivnog utiska (npr. izgled okruženja gde se obavlja usluga, ponašanje osoblja i sl.). Nivo usluge mora se meriti, održavati i kontrolisati na osnovu stalnog istraživanja zadovoljstva korisnika. Osim toga, treba imati u vidu da transportna usluga nema uobičajen proces realizacije (proizvodnja, prodaja, potrošnja), već se prvo prodaje, a zatim istovremeno proizvodi i troši, i ne može se skladištiti. Posebno je značajno shvatiti da transportne usluge podrazumevaju stalni kontakt sa korisnikom, čak i kada on nije fizički prisutan u toku vršenja usluge. Pored navedenog, na složenost i specifičnost usluga u transportu ukazuju i sledeće karakteristike – klasifikacija prema osnovnim obeležjima usluga ukazuje na izuzetnu heterogenost u sektoru transporta, jer usluge mogu biti profitabilne i neprofitabilne, zasnovane na primeni razne opreme i skupe tehnologije, uz isticanje važnosti učešća osoblja, sa različitim stepenom uključenja korisnika, koji mogu biti pojedinci ili organizacije i dr. Transportna usluga sama po sebi nema nikakav značaj za korisnika, jer je sastavni deo nekih drugih aktivnosti, od čijeg uspešnog obavljanja zavisi i njena vrednost.

Sve to ukazuje na to da transport zahteva posebnu strategiju organizacije, implementacije i kontrole kvaliteta.

## Primena standarda kvaliteta u Vojsi Srbije

Najznačajniji fenomen našeg vremena je povećanje značaja funkcije kvaliteta. Međunarodni standardi ISO 9000:2000 prihvaćeni su kao minimum zahteva za obezbeđenje sistema kvaliteta proizvoda i usluga. U našoj zemlji čine se naponi da se, takođe, priključimo postavkama i zahtevima povećanja kvaliteta proizvoda i usluga radi poboljšanja života ljudi i

zaštite životne sredine, zdravlja i bezbednosti. Državne institucije usvojile su odgovarajuće programe unapređenja kvaliteta proizvoda i usluga, tako da je unapređenje kvaliteta postalo prevashodan zadatak ne samo privrede, već i državnih organa, obrazovnih i naučnih institucija, profesionalnih i stručnih asocijacija, sredstava informisanja, pa i VS.

Tehnička materijalna sredstva, odnosno naoružanje i vojnu opremu (NVO) VS nabavlja na tržištu gotovih proizvoda u zemlji, postavljajući proizvođačima sredstava posebne zahteve za razvoj ili nabavlja sredstva iz uvoza kao gotove proizvode ili uz izvesne modifikacije. U svim tim slučajevima, sa proizvođačima, dobavljačima ili uvozniciima zaključuju se odgovarajući ugovori, kojima se obezbeđuje kvalitet NVO. Moguće je razlikovati tri oblika ili modela ugovaranja, odnosno eksternog obezbeđenja sistema kvaliteta [7]:

- model koji se koristi kada proizvođač (isporučilac) treba da obezbedi usaglašenost svog sistema kvaliteta sa ugovorom utvrđenim zahtevima za kvalitet kroz nekoliko faza koje mogu obuhvatiti razvoj – projektovanje – proizvodnju – održavanje (tada se koristi ISO 9001),
- model koji se koristi kada proizvođač treba da obezbedi usaglašenost svog sistema kvaliteta sa ugovorom utvrđenim zahtevima za kvalitet samo u procesu proizvodnje (tada se koristi ISO 9002),
- model koji se koristi kada proizvođač treba da obezbedi usaglašenost sistema kvaliteta sa ugovorom utvrđenim zahtevima za kvalitet samo u završnoj kontroli i ispitivanju (tada se koristi ISO 9003).

Vojska Srbije ima potrebe da koristi i veliki broj različitih vrsta usluga (zdravstvene, transportne, održavanje, snabdevanje energijom, obrazovanje, administraciju, tehničke usluge i dr.). Pri tome je propisima definisano koja struktura VS je kao taktički nosilac zadužena za određenu vrstu usluge. Takođe, određeni su i nosioci ugovaranja po nivoima i vrstama usluga.

Sumirajući potrebe za uslugama, može se konstatovati da postoje četiri modela [7]:

- model kada jedinice i ustanove VS koriste usluge izvršioca po obliku i sadržaju, kako se to obavlja i za druge korisnike usluga na tržištu,
- model kada jedinice i ustanove VS koriste usluge izvršioca koje su prilagođene zahtevima VS,
- model kada jedinice i ustanove VS imaju potrebu za korišćenjem specifičnih usluga,
- kao poseban model može se izdvojiti zadatak tzv. osvajanje neke usluge (npr. osvajanje generalnog remonta) i u tim slučajevima nisu definisani tehnički zahtevi za te usluge, već ih treba obezbediti kroz razvoj.

Sve usluge VS ugovara sa odabranim izvršiocima i nadležnostima po nivoima komandovanja. U odnosu na ISO standarde i modele usluga, mogu se definisati sledeći modeli obezbeđenja sistema kvaliteta:

- kod modela korišćenja usluga koji se obavljaju za tržište, kvalitet usluga treba da odgovara standardu SRPS-ISO 9000 (kao minimum) ili SRPS-ISO 9004,

- kod modela korišćenja usluga prilagođenih potrebama VS, sistem kvaliteta treba da odgovara standardu SRPS-ISO 9004 (kao minimum) ili SRPS-ISO 9004-2 kao optimalan zahtev,

- kod modela usluga koje se realizuju po specifičnim vojnim tehničkim zahtevima, sistem kvaliteta treba da bude u skladu sa standardom SRPS-ISO 9004-2,

- kod modela usluga koji se odnosi na osvajanje usluge, sistem kvaliteta treba da odgovara standardu SRPS-ISO 9001 [7].

Navedeni standardi daju uputstva ili razrađuju modele za obezbeđenje kvaliteta u različitim situacijama nabavke i vršenja usluge. Međutim, za obezbeđenje realizacije zahteva i standarda nužno je raspolagati odgovarajućim propisima ili standardima kojima se pokrivaju navedeni zahtevi. Vojska Srbije u tom pogledu koristi i međunarodne, ali u najvećem broju slučajeva domaće standarde i propise.

Na osnovu mogućih varijanti usluga za potrebe VS i modela za obezbeđenje kvaliteta preporučenih ISO (SRPS) standardima moguće je identifikovati sledeće zahteve za sistem kvaliteta usluga [7]:

a) Karakteristike usluga:

- karakteristike usluga i vršenja usluga,
- kontrola karakteristika usluga.

b) Principi sistema kvaliteta:

- ključni faktori sistema kvaliteta,
- odgovornost rukovodstva,
- politika kvaliteta,
- ciljevi kvaliteta,
- odgovornost i ovlašćenja za kvalitet,
- preispitivanje od strane rukovodstva.

c) Kadrovski i materijalni resursi:

- kadrovi za kvalitet,
- motivacija za kvalitet,
- stručno obučavanje i usavršavanje,
- komunikacija,
- materijalni resursi.

d) Struktura sistema kvaliteta:

- faze procesa usluge, date na slici 1 „Petlja kvaliteta usluge“,
- dokumentacija i zapisi o kvalitetu,
- sistem dokumentacije,
- kontrola dokumentacije,
- interna provera kvaliteta usluge.

e) Odnos sa korisnicima usluga:

- komunikacija sa korisnicima.

f) Operativni elementi sistema kvaliteta :

- razvoj marketinga: kvalitet u usavršavanju i analiziranju tržišta, obaveze isporučioaca, upravljanje uslugom, kvalitet u reklamiranju.



- g) Proces projektovanja usluge:
  - odgovornost za projektovanje,
  - specifikacija usluge,
  - specifikacija vršenja usluge: postupci vršenja usluge, kvalitet u nabavci, oprema dostavljena od dobavljača korisnicima za uslugu i vršenje usluge, identifikacija i sledljivost usluge, rukovanje, skladištenje, pakovanje, isporuka i zaštita korisnikove imovine,
  - specifikacija kontrole kvaliteta,
  - preispitivanje projekta,
  - ocenjivanje usluge, specifikacija i kontrola kvaliteta vršenja usluge,
  - kontrola izmene projekta.
- h) Proces vršenja usluge:
  - ocenjivanje kvaliteta usluge od strane isporučioća,
  - ocenjivanje kvaliteta usluge od strane korisnika,
  - status usluge,
  - korektivne mere za neusaglašene usluge: odgovornosti, identifikacija neusaglašenosti,
  - kontrola sistema merenja.
- i) Analiza i poboljšanje realizacije usluga:
  - prikupljanje i analiza podataka,
  - statističke metode,
  - poboljšanje kvaliteta usluga.

Za svaki navedeni zahtev prema sistemu kvaliteta usluga određen je nadležni nosilac u VS i adekvatan propis ili standard kojim VS podržava realizaciju navedenog zahteva sistema kvaliteta. Taktički nosilac je zadužen za propisivanje tehničko-eksploatacionih karakteristika sredstava, kao i za njihovu eksploataciju. Tehnički nosilac vodi računa o postavljanju elemenata tehničkog obezbeđenja i održava tehnička sredstva kroz svoj poseban sistem. Proizvođač (isporučilac) sredstava ugrađuje sve zahteve taktičkog i tehničkog nosioca u sredstvo koje se razvija, uz prethodno definisan sistem kvaliteta. Slične nadležnosti, kada se radi o tehničkim sredstvima, određuju se i za usluge. Takođe, i kod njih je određen taktički i tehnički nosilac. Obaveze i zadaci izvršioca su slični kao i za isporučioća tehničkih sredstava.

Međutim, za današnje vreme je značajno da sistem kvaliteta usluga skoro uopšte nije pokriven odgovarajućim propisima i standardima. Za oblast usluga u VS postoji vrlo malo regulative. Ako se uzme u obzir da se veliki deo elemenata sistema kvaliteta i nabavke, a posebno usluga, reguliše samo kroz ugovore, onda je potreba za izradom i prilagođavanjem domaće i inostrane regulative za sistem kvaliteta veoma važna. Pošto se radi o minimalnim zahtevima, koje propisuju međunarodni standardi, neophodno je da ih VS prihvati, proširuje i prilagođava svojim potrebama. Vojska Srbije mora svoju metodologiju razvoja, proizvodnje i korišćenja usluga stalno da proširuje, prilagođava i usavršava. Postojeće propise i standarde VS u oblasti sistema kvaliteta usluga treba znatno proširivati i prilagođavati međunarodnom sistemu standardizacije.

Treba napomenuti da se zaključci navedeni u prethodnim rečenicama odnose i na transportne usluge u VS, odnosno na saobraćajno obezbeđenje u VS, jer za kvalitet saobraćajno-transportnih usluga u VS postoji jako malo standarda i propisa, koje je neophodno značajno dograditi i uskladiti sa međunarodnim standardima kvaliteta.

Transport je usluga logističkog karaktera i podržava osnovne funkcije i zadatke vojske. Zbog toga se ne može izbeći razmatranje kvaliteta transportne usluge. Pored toga, sistem kvaliteta se užurbano uvodi u sve segmente društva, pa ni Vojska Srbije ne može u tome biti izuzetak. Parametri kojima se meri i ocenjuje funkcionisanje vojnog transporta tesno su povezani sa pojmom kvaliteta usluge [8]. Zbog toga je bilo neophodno dati nešto šire objašnjenje kvaliteta transportne usluge, što je u početnom delu rada i učinjeno.

## Zaključak

U svetu se kvalitet smatra najznačajnijim fenomenom našeg doba sa trajnim trendom njegovog naglašavanja. Porast značaja kvaliteta došao je kao civilizacijski odgovor na posledice industrijske revolucije, čiji su osnovni parametri produktivnost i profit, osnovni pokazatelji obim proizvodnje i kvaliteta, a pogubne posledice za svet uništenje prirodnih resursa, zagađenje životne sredine i sve veće ugrožavanje zdravlja i bezbednosti ljudi. U vremenu povećanog značaja funkcije kvaliteta, međunarodni standardi ISO 9000:2000 prihvaćeni su kao minimum zahteva za obezbeđenje sistema kvaliteta proizvoda i usluga. U našoj zemlji čine se naponi da se, takođe, priključimo postavkama i zahtevima povećanja kvaliteta proizvoda i usluga radi poboljšanja života ljudi i zaštite životne sredine, zdravlja i bezbednosti. Državne institucije usvojile su odgovarajuće programe unapređenja kvaliteta proizvoda i usluga, tako da je unapređenje kvaliteta postalo prevashodan zadatak ne samo privrede, već i državnih organa, obrazovnih i naučnih institucija, profesionalnih i stručnih asocijacija, sredstava informisanja i dr.

To znači da kvalitet i unapređenje kvaliteta moraju biti prisutni u svim sferama života i rada društva, što znači i u saobraćaju i transportu za potrebe Vojske Srbije.

## Literatura

- [1] Majstorović, V., Sistem kvaliteta strategija menadžmenta, JUSK, Beograd, 1994.
- [2] Heleta, M., TQM - Model izvrsnosti, Educta, Beograd, 2004.
- [3] \*\*\*: JUS ISO 9004-4:1994. Upravljanje kvalitetom i elementi sistema kvaliteta, DEO 4: SMERNICE ZA POBOLJŠANJE KVALITETA, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1994.

- [4] Pejčić, S., Kvalitet proizvoda/usluga – terminološke dileme, XVI Međunarodni naučno-stručni skup nauka i motorna vozila, Beograd, 1997.
- [5] Pejčić, S., Japundžić, N., Primena ISO 9000 i ISO 14000 u sektoru transportnih usluga, kao približavanje TQM, 24. godišnja konferencija JUSK-a, Beograd, 1997.
- [6] Čolić, V., Jović J., Bojković Z., Parametri kvaliteta u transportnim i komunikacionim uslugama, Kvalitet i standardizacija, 1–2/96.
- [7] Vasin, Lj., Prilog istraživanju kontrole saobraćajnog obezbeđenja u Vojsci Srbije i Crne Gore (doktorska disertacija), Vojna akademija, Beograd, 2005.
- [8] Pamučar, D., Fuzzy-DEA model za merenje efikasnosti kvaliteta transportne usluge, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 4, pp. 40–61, Beograd, 2011.

## QUALITY STANDARDS AND QUALITY OF TRANSPORT SERVICES

FIELD: Traffic Engineering

ARTICLE TYPE: Professional Paper

*Abstract – The paper points out to the contribution of quality standard application in all areas of human life. The detailed explanations of terms quality, product and service are given as well. Considering the fact that a result of the transportation activity is a change of the product location – transportation, the paper gives special attention to the service. A focus is also on the term transportation service, as well as the parameters of quality of transportation for passenger and cargo transportation service. In the closing section, the application of quality standards in the Serbian Army will be briefly discussed.*

### Introduction

*The quality system is a new business philosophy and a new approach to the organization, production and development. Improving the quality of products and services means a global concept which, literally, conquered the whole world. Quality is conceived as the most significant phenomenon of our age with a permanent and irreversible trend of increasing its emphasis. Comprehensive implementation and quality improvement should contribute to achieving the overall improvement of quality of life, which involves the improvement of living standards, environmental protection, and protection of human health and life.*

### Application of standards and quality management

*ISO 9000:2000 series of standards are applied in an unmodified form in all countries in all industrial economic sectors and enterprises. As they relate to overall business operations, these standards are considered to be the basis on which to build all other management systems: environmental protection system, a system of protection of health and safety of employees, a system of safe food production, etc.*

*The most important features of ISO 9000:2000 standard are: the whole system is facing the user (consumer), measuring customer satisfaction, continuous improvement as a specific request, the application process model, the system based on the fundamental principles of management, reduced range of documentation, the concept of self-assessment organization or authority, the applicability to all types of products (services), ease of use, clarity of terms, clarity, compatibility with ISO 14000, ISO 22000, HACCP and others.*

*Quality is a global concept in the world and this social phenomenon of our time is significant for all segments of society, both for manufacturers and service providers, and consumer product or service users. Generally speaking, quality is a measure of use value of a product, i.e. a measure of its ability to meet the requirements of respective customers and markets. The quality is a synonym for the validity of goods and is identical to the utility value of goods.*

*According to ISO 8402:2000, the following definition of quality is given: "Quality is the set of characteristics of product or service, which refers to the ability to meet established or expressed needs." This definition applies to: materials, cost, construction, technology, manufacturing, service, maintenance, function, durability, quantity, cost, safety, aesthetics, etc. In fact, quality in the shortest can be defined as the ability to satisfy customer needs.*

*Quality management is complementary to the management costs and limits (integrated management of the trinity of quality - price - deadline). In this way, quality management, the Total Quality Management, which includes all activities that contribute to the definition, implementation, maintenance and use of products (services), follows the quality system [2].*

#### Quality of service

*ISO 8402:1994 standard defines the product as a result of activities or processes. The product may include service, hardware, processed materials, software or a combination of these elements, which means it may be material and immaterial (e.g. knowledge, ideas, etc.). On the other hand, the service is defined as a result of activities made in conjunction between the supplier and the customer and the supplier internal activities to meet customer needs - users [3].*

*A product (item) occurs during the process consisting of a series of procedures of design and implementation; it exists either by fulfilling its purpose, or by being left at the top of the warehouse waiting until the processing or until the supply.*

*Services (actions) are also planned and prepared in a process, but after that a moment of providing the service is also the moment of its consuming (it cannot be stored). The user is often in direct contact with the service provider and as a result, the user is in some way involved in the process of providing services, and his impact due to his participation can be positive or negative.*

*Service as a product, quality categories and the human factor as a compulsory element of the process elements are of paramount importance for quality of service, and for its definition. Service quality can be explained, but if the above definition of quality, given in ISO 8402:1994, introduces the concept of service, so we could say that the quality of services is a set of characteristics of services, related to its ability to meet the needs and requirements that are implicit.*

*In the system of service quality there should be established procedures specifying the requirements for the characteristics of the process of performing services, including the three main processes of performing services: marketing, design services and performance services.*

#### Quality transport services

*Transport of people and cargo, as well as the transmission of information and energy, is a specific process, the basis of a dislocation or displacement of people, goods, news, or energy. Depending on the type of transport means, the network on which the transport takes place, the nature of what is being transported, the distance of transportation, the complexity of the process, etc., transport is divided into types, fields, systems, etc. Effective solutions in transportation have achieved a result of technological development and impact on information technology.*

*Transport is a service activity that has the purpose to satisfy customer needs. Users of transport systems are not interested in transportation technology, but in the quality of services some form of transport can provide them.*

*The quality of transport service cannot be evaluated by the user on the basis of physical experience as in products (sight, touch, sight, smell, sound), but on the basis of subjective impressions (e.g. the looks of the environment where the services is provided, staff behavior, etc.). Service levels must be measured, maintained and controlled by continuous customer satisfaction surveys. In addition, it should be noted that transportation services follow the usual process of realization (production, sales, consumption), but they are first sold, and then simultaneously produced and consumed, without a possibility to be stored. It is particularly important to understand that transportation services include permanent contact with the user, even when he is not physically present during the course of service.*

#### Application of standards in the serbian army

*The Serbian Army procures technical material resources, i.e. weaponry and military equipment, at the national market of final products after manufacturers have met its special development requirements, or it imports them off the shelf or after some modifications. In all these cases, appropriate agreements with manufacturers, suppliers or importers ensure the quality of weapons and military equipment. The Serbian Army has a need to use a large number of different types of servi-*

ces (health, transportation, maintenance, power supply, education, administration, technical services, etc.). It is legally defined which structures of the Serbian Army are responsible for a particular type of service. There are responsible structures at all levels and types of services.

A tactical product provider is responsible for prescribing the technical and exploitation characteristics of products, as well as for their exploitation. A technical product provider takes care of setting the elements of technical support and maintains technical means through its own system. A manufacturer (supplier) incorporates all the requirements of tactical and technical providers into a product that is being developed, with the previously defined quality system. Similar responsibilities as those for technical equipment are set up for services. Tactical and technical providers, with similar duties and tasks, are also determined for services.

It should be noted there are very few standards and regulations dealing with the quality of traffic and transportation services in Serbia and they need to be significantly upgraded and harmonized with international quality standards.

#### Conclusion

Quality and quality improvement must be present in all spheres of life and work of the society, and consequently in the traffic and transport of the Serbian Army as well.

Transport is a logistic service in its character and it supports the basic functions and tasks of the military. Therefore, one cannot avoid considering the quality of transport services. In addition, the quality system is urgently looking to be introduced into all segments of the society, where the Army of Serbia should not be an exception. Parameters to measure and evaluate the functioning of military transport are closely related to the concept of quality of service. For this reason, it was necessary to offer a wider explanation of the quality of transportation services, given in the initial part of the work.

Key words: Quality Standards, Product, Service, Quality of Transportation Service

Datum prijema članka: 14. 11. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 22. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 23. 10. 2011.

# BEZBEDNOST RANJIVIH VOJNIH UČESNIKA U SAOBRAĆAJU

Bulajić J. Aleksandar, Vojska Srbije, Komanda 126. cVOJIN,  
Odsek logistike, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202323B

OBLAST: saobraćaj, bezbednost u saobraćaju  
VRSTA ČLANKA: stručni članak

## Sažetak:

*Vojska Srbije, kao relativno zatvoren sistem, reguliše oblast bezbednosti saobraćaja, ali u mirnodopskim uslovima po tom pitanju podleže opštim pravilima koja važe za sve učesnike u saobraćaju. Vojni učesnici u saobraćaju su, pored vozača vojnih vozila, i svi ostali pripadnici vojske koji se nalaze u ulogama putnika, pešaka i vozača svojih vozila.*

*Nivo bezbednosti saobraćaja u Vojsci Srbije u stalnom je porastu od 2000. godine, mada nadležni saobraćajni organi u vojsci nisu zadovoljni dostignutim nivoom (kada se izgubi i jedan život – mnogo je). Poboljšanje apsolutnih podataka, imajući u vidu znatno smanjenje vozila na upotrebi u nekoliko poslednjih godina (mali broj novonabavljenih vozila, pristup ka većem obimu kupovine transportne usluge), smanjenje broja vozača, pre svega vojnika na odsluženju vojnog roka, logično je, kao i manji broj poginulih i povređenih vojnih učesnika u saobraćaju.*

*Pod ranjivim učesnicima u saobraćaju podrazumevaju se na prvom mestu pešaci, zatim vozači bicikla i motocikla.*

*Ovaj rad ima za cilj da ukaže na problem bezbednosti pešaka kao samo jedan segment bezbednosti saobraćaja i odnosi se na sve pripadnike vojske, jer svakodnevno učestvuju u saobraćaju, u najvećem broju kao pešaci.*

*Osnovu ovog rada čine „propusti“ učesnika u saobraćajnoj nezgodi u kojoj učestvuju pešaci. Predložene su i mere za smanjenje broja saobraćajnih nezgoda sa pešacima i za njihovo sprečavanje.*

*Ključne reči: Vojska Srbije, bezbednost saobraćaja, bezbednost pešaka, saobraćajne nezgode.*

## Uvod

Jedan od osnovnih zahteva koji se postavlja pred saobraćaj kao integrisani sistem, uz mobilnost i prevoz robe i usluga, jeste njegova bezbednost, koja se najčešće vrednuje apsolutnim i relativnim pokazateljima bezbednosti saobraćaja. Na savremenim saobraćajnicama kreće se sve veći broj vozila, što je samo jedan od uzroka porasta broja saobraćajnih nezgoda sa ljudskim žrtvama i materijalnim štetama.

Saobraćajne nezgode predstavljaju jednu od najnegativnijih pojava u saobraćaju koje osetnije opterećuju društvo i, samim tim, nije slučajno što se problemima bezbednosti saobraćaja bavi celokupna društvena zajednica, Ujedinjene nacije, Evropska unija, pa i oružane snage svih država.

Neograničena i spontana ekspanzija automobilske saobraćajne ugrozila je temeljnu svrhu drumskih saobraćajnica, kao i ukupan kvalitet života u urbanim sredinama. U velikim gradovima problemi sa gužvama na saobraćajnicama nisu više ograničeni na vršne ili „špic sate“, nego taj period postaje sve duži i stvara velike troškove pojedincima, firmama i društvu u celini. Troškovi zagušenja u saobraćaju u velikim gradovima već dosežu oko 2% bruto društvenog proizvoda, dok ukupne štete izazvane saobraćajnim nezgodama (pored ostalog, gubitak života mladih ljudi, koji direktno utiče na smanjenje broja lica sposobnih za odbranu zemlje), stresovima i gubicima vremena još nisu potpuno sagledane. Ni u saobraćajno razvijenim zemljama još ne postoji „zvanična vrednost“ ljudskog života. U literaturi se, za „vrednost ljudskog života“, navode iznosi koji su za 20 do 50 puta veći od godišnjeg prihoda po glavi stanovnika u određenoj državi.

Osnovni cilj iz domena bezbednosti putnog saobraćaja u Ministarstvu odbrane i Vojsci Srbije, kao i u celoj Republici Srbiji, jeste prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima, odnosno smanjenje broja poginulih i povređenih učesnika u saobraćaju i materijalne štete koju kao posledicu imaju građani i država.

*Nijedan nivo učestalosti saobraćajnih nezgoda ne prihvata se kao neizbežan.* To je osnovni postulat trajnog angažovanja svake društvene zajednice radi dostizanja što bezbednijeg saobraćajnog okruženja.

U Republici Srbiji, bez podataka za AP Kosovo i Metohiju, u periodu od 2005. do 2009. godine, ukupno se dogodilo **329.269** saobraćajnih nezgoda, u kojima je poginulo **4.422** lica, a **101.287** lica je zadobilo teže i lakše telesne povrede.

Primenom modela razvijenog na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu, **MO i VS godišnje izgubi oko 50 miliona dinara**, dok je gubitak od posledica saobraćajnih nezgoda za Republiku Srbiju oko milijardu evra, odnosno oko 1,8% bruto nacionalnog dohotka.

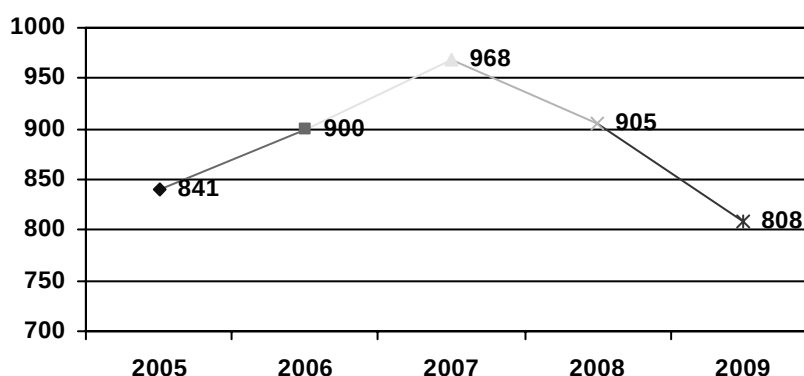
U tabeli broj 1. prikazani su podaci o broju saobraćajnih nezgoda (SbN) i posledicama, tj. broj povređenih i poginulih lica u Republici Srbiji u periodu od 2005. do 2009. godine. Iz tabele se može uočiti trend rasta broja SbN do 2007. godine, kao i broja nastradalih (povređenih i poginulih) lica u SbN i značajniji pad broja poginulih u periodu od 2007. do 2009. godine. Broj poginulih lica u posmatranom periodu i navedene procene mogu se videti na slici broj 1.



*Tabela 1*  
Pregled broja SbN i posledica u R. Srbiji u periodu od 2005. do 2009. god.

*Table 1*  
Overview of the number of traffic accidents in Serbia from 2005 to 2009

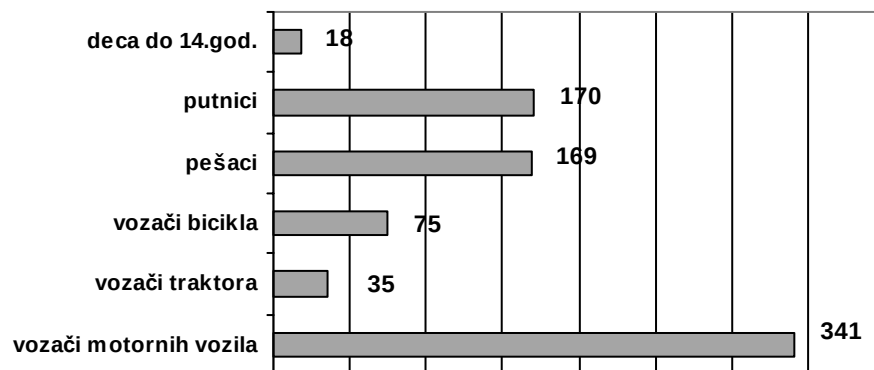
| Godina | Broj SbN |                        |                       | Broj nastradalih lica |          |           |
|--------|----------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------|
|        | ukupno   | sa materijalnom štetom | sa nastradalim licima | ukupno                | poginulo | povređeno |
| 2005.  | 61.958   | 49.206                 | 12.752                | 17.713                | 841      | 16.872    |
| 2006.  | 63.913   | 50.001                 | 13.912                | 19.305                | 900      | 18.405    |
| 2007.  | 70.735   | 54.150                 | 16.585                | 23.163                | 968      | 22.201    |
| 2008.  | 67.786   | 51.057                 | 16.672                | 23.172                | 905      | 22.297    |
| 2009.  | 64.877   | 49.856                 | 15.807                | 22.298                | 808      | 21.512    |



*Slika 1* – Distribucija poginulih lica u saobraćajnim nezgodama u R. Srbiji u periodu od 2005–2009. god. (bez podataka za AP Kosovo i Metohija)  
*Figure 1* – Distribution of fatalities in traffic accidents in Serbia from 2005 to 2009 (Without data for Kosovo and Metohija)

Na nivo bezbednosti saobraćaja u MO i VS reflektuje se dostignuti nivo bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srbije. Specifičnost MO i VS, kao hijerarhijski definisanih sistema u kojima je moguće uticati na vojne učesnike u saobraćaju, uključujući i naredbodavni način, podrazumeva očekivanje da dostignuti nivo bezbednosti saobraćaja u MO i VS treba da bude viši od postignutog nivoa u društvu.

Najugroženije kategorije učesnika u saobraćaju prikazane su na slici 2. koja definiše ciljne grupe i prioritete delovanja radi poboljšanja bezbednosti saobraćaja u državi.



Slika 2 – Struktura poginulih lica u saobraćajnim nezgodama u R. Srbiji u 2009. godini (bez podataka za AP Kosovo i Metohija)

Figure 2 – Structure of fatalities in traffic accidents in the Republic of Serbia in 2009. year (without data for Kosovo and Metohija)

Ponašanje na kolovozu spada u oblasti detaljno uređeno propisima, dok na površinama za kretanje pešaka to nije slučaj – pešaci imaju slobodu izbora ponašanja. Zbog toga nagli prelaz sa jedne na drugu površinu (momenat zakoračenja na kolovoz sa staze namenjene za pešake) zahteva brzu transformaciju na izmenjene uslove.

Analizom nalaza i mišljenja saobraćajno-tehničkih veštaka dolazi se do pouzdanih podataka da su saobraćajne nezgode u kojima su učestvovali pešaci najčešći oblik nezgode za koju se određuje saobraćajno-tehničko veštačenje, zbog toga što je u nezgodama sa pešacima, u odnosu na ostale nezgode, najveći broj povređenih.

U ovom radu pažnja je posvećena pešacima kao najranjivijim učesnicima u saobraćaju.

## Bezbednost putnog saobraćaja i bezbednost pešaka

Jedan od najznačajnijih problema bezbednosti saobraćaja u naselju jeste bezbednost pešaka. Da bi se povećala bezbednost pešaka deluje se preventivnim merama radi povećanja discipline, jer je primećeno da u velikom procentu pešaci ne poštuju pravila kretanja. Kod nas još uvek u većem broju naselja ni saobraćajna kultura pešaka nije na zadovoljavajućem nivou. Čak i pored toga što saobraćaj postavlja najmanje zahteve pred one korisnike puta koji se u njemu nađu u ulozi pešaka, ova kategorija je izraženo ranjiva. To se može donekle objasniti time što su pešaci najmanje zaštićena kategorija korisnika puta i što postoje nesrazmere između unošenja rizika u saobraćaj i izloženosti riziku koji u saobraćaj unose drugi korisnici.

Svako lice, bez obzira na uzrast, pripremu za saobraćaj ili zdravstveno stanje, može da se uključi u saobraćaj u svojstvu pešaka, odnosno, ne postoji nikakva selekcija u pogledu godina starosti, zdravstvenog stanja, saobraćajnog obrazovanja i kulture, kao što je to sa ostalim korisnicima puta koji, da bi učestvovali u saobraćaju, moraju ispunjavati određene kriterijume.

U važećem Zakonu o bezbednosti saobraćaja na putevima, navodi se da je „**pešak** lice koje se kreće po putu, odnosno, koje po putu sopstvenom snagom vuče ili gura vozilo, ručna kolica, dečje prevozno sredstvo, kolica za nemoćna lica ili lice u dečjem prevoznom sredstvu ili lice u kolicima za nemoćna lica koje pokreće sopstvenom snagom ili snagom motora ili lice koje klizi klizaljkama, skijama, sankama ili se vozi na koturaljkama, skejtbordu i sl.“ [1]

Prema Pravilu o bezbednosti putnog saobraćaja u VS, „**vojni pešak**“ je svako vojno i civilno lice na službi u VS u saobraćaju koje se na putu ili izvan puta kreće peške, dok je „**vojna kolona**“ organizovana kolona vojnih lica (najmanje odeljenje) koja se kreće peške u istom smeru. [2] Dolaskom u novi garnizon, mladi vojnici, učenici srednjih vojnih škola, studenti vojne akademije, kao i mlade starešine, sreću se sa novom sredinom i novim obavezama koje prate uobičajeno prilagođavanje. Neki od njih prvi put su u prilici da se sretnu sa rizicima u saobraćaju u velikim gradovima.

Najčešći oblik nezgoda u kojima učestvuju vozila i pešaci događa se u naselju i to u situaciji kada se oba učesnika kreću, tako što pešak prilazi prelazu preko puta u presecanju putanje vozila i dolazi s njim u kontakt. Taj oblik nezgode najčešće se definiše kao *nalet* vozila na pešaka.

Nalet vozila na pešaka jedan je od najčešćih oblika saobraćajnih nezgoda za koji se određuje saobraćajno-tehničko veštačenje, a u većini slučajeva uzrok je nedisciplinovanost pešaka, prelaz pešaka na zabranjenom mestu ili u neposrednoj blizini vozila, a u gusto naseljenim mestima ignorisanje saobraćajne signalizacije i sl. Ako se to dešava neočekivano za vozača, on ne uspeva da preduzme potrebne mere i radnje za sprečavanje sudara ili, jednostavno rečeno, prekasno reaguje, što najčešće dovodi do smrti pešaka.

Prema statističkim podacima o saobraćajnim nezgodama koje se događaju u naseljima, oko 42% svih nezgoda u naselju predstavljaju nezgode sa obaranjem pešaka. Na putevima izvan naselja taj tip nezgoda u ukupnom broju nezgoda učestvuje sa oko 15%. Posmatrano po vrstama nezgoda, najopasnije su one između vozila i pešaka, jer u njima najveći broj pešaka smrtno strada (41%).

Struktura nastradalih lica u saobraćajnim nezgodama znatno se razlikuje od strukture onih koji izazivaju nezgode. To znači da izloženost opasnosti nije u srazmeri sa unošenjem, odnosno stvaranjem opasnosti u saobraćaju, što je u potpunosti tipično baš za pešake. U trenutku kontakta vozila i pešaka, vozilo ostvaruje direktan kontakt sa telom pešaka, iz čega nije teško zaključiti da su pešaci najmanje zaštićeni, odnosno

najranjivija kategorija učesnika u saobraćaju. Odnos prosečne brzine pešaka prema prosečnoj brzini vozila u naselju je 1:12, dok je van naselja taj odnos 1:28, pa čak i više. Nažalost, potrebno je naglasiti da **pešaci i vozači nisu svesni tog odnosa brzina**. Ta činjenica u velikoj meri doprinosi ugrožavanju bezbednosti pešaka u saobraćaju.

Verovatnoća da će pešak nastradati raste sa povećanjem brzine vozila. Procenat smrtnosti za brzine do 30 km/h iznosi 5%, a pri brzini vozila od 60 km/h čak 80%.

Kretanje pešaka je specifično, u odnosu na druge vidove savlađivanja prostora, jer se pešak, za razliku od vozila, može kretati po neodređenoj putanji naglo menjajući brzinu. Osim toga, pešak može mnogo lakše da izmeni cilj i brzinu kretanja nego bilo koje vozilo. Brzina kretanja pešaka kreće se u širokim granicama u zavisnosti od velikog broja različitih uslova i subjektivnih faktora. Iako prosečna brzina slobodnog kretanja pešaka zavisi od pola, starosti, motiva, atmosferskih uslova, stanja puta, itd., računa se da ona, na horizontalnom putu, iznosi oko 5 km/h, odnosno 1,4 m/s.

Podaci o brzinama pešaka u grupama, kao i dimenzijama površine koju zauzimaju pešaci pri određenoj vrsti hoda, a koji su bitni za procenu određenih manevara u vojsci (kolona vojnih pešaka, marš...) predstavljene su u tabelama 2 i 3.

Brzina kretanja pešaka u grupi

Tabela 2

Speed of pedestrians in the group

Table 2

| Brojnost osoba u grupi koja se kreće | Srednja brzina kretanja pešaka u grupi (km/h) |              |          |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|----------|
|                                      | lagani hod                                    | normalan hod | brzi hod |
| Dve osobe                            | 2,5                                           | 4,1          | 5,9      |
| Tri osobe                            | 2,5                                           | 3,8          | 5,3      |

Dimenzije površine zahvaćene pešacima prilikom kretanja u grupi

Tabela 3

Dimensions of the area affected by pedestrian movement in the group

Table 3

| Tempo – način kretanja pešaka                  | Zahvaćena površina u kretanju |               |                     |               |
|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------------|---------------|
|                                                | grupa od dva pešaka           |               | grupa od tri pešaka |               |
|                                                | po širini [m]                 | po dužini [m] | po širini [m]       | po dužini [m] |
| Lagani hod                                     | 1,5                           | 1             | 2,3                 | 1,3           |
| Normalan hod                                   | 1,5                           | 1             | 2,4                 | 1,2           |
| Brzi hod                                       | 1,7                           | 1,1           | 2,5                 | 1,4           |
| Srednja vrednost površine zahvaćene u kretanju | 1,6                           | 1,1           | 2,4                 | 1,3           |

Analizom bezbednosti saobraćaja koja je sprovedena na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu za period od 2001. do 2006. godine za teritoriju Republike Srbije, bez AP Kosova i Metohije, došlo se do podatka da je kod saobraćajnih nezgoda sa nastradalim licima u Republici Srbiji daleko najčešći vid, vrsta nezgode, obaranje pešaka sa 27% zastupljenih slučajeva. Kao glavni uzrok saobraćajnih nezgoda sa nastradalim licima navedena je brzina sa 44% slučajeva, dok se kretanje pešaka nalazi na četvrtom mestu sa 8% zastupljenih slučajeva, ispred uticaja alkohola koji je zastupljen sa 6%!

U psihofizičke karakteristike svojstvene za saobraćaj pešaka mogu se svrstati:

1. Zastoj pešaka – vreme koje prođe od trenutka kada pešak stane na bankinu, do trenutka kada on iskorači na put ili vreme koje provede čekajući na mogućnost da pređe ulicu. Glavni problem je odrediti vreme kada pešak „stiže“ na bankinu. Drugi problem je određivanje zastoja pešaka koji raste kada se pešak ne pridržava instrukcija za prelazak. Većina istraživanja se slaže da pešaci rizikuju manje ako čekaju duže od 30s da pređu ulicu i uglavnom čekaju kraće da bi prešli saobraćajnicu. Pešaci odlaze izlazak na saobraćajnicu sa povećanjem gustine saobraćaja i obrnuto – vozači ulažu dodatnu pažnju kada se povećava broj pešaka. Zastoj pešaka usko je vezan za pojam „nedovoljne ili nepotpune komunikacije“ na relaciji između pešaka i vozača, jer u tim delićima sekunde, kada pešak odlučuje da li će preći kolovoz ili ne, iz nedovoljno procenjene saobraćajne situacije, pešak čini grešku u vidu nepažljivog ili neopreznog vršenja prelaska saobraćajnice. Sa druge strane, pogotovo u situacijama kada je za pešake na semaforizovanim prelazima upaljeno crveno svetlo, a za vozače zeleno, vozač smatra da pešak neće započeti prelaz saobraćajnice ako vidi vozilo kako prilazi. Međutim, često i pešak i vozač pogrešno misle – pešak, da ga je vozač uočio i da će ga propustiti iako mu nije dozvoljen prelaz, a vozač – da se pešak neće usuditi da započne prelaz, jer pretpostavlja da zna da nadolazeće vozilo ima prednost i kreće se „velikom brzinom“.

2. Vremenski okvir pri signalizaciji – istraživanja su pokazala da većina korisnika, njih 67%, prelazi raskrnicu tokom intervala „slobodnog prelaza ulice“, dok ostali prelaze tokom intervala crvenog trepćućeg svetla ili signala STOP. Zaključci studije bili su da se nepropisan prelaz i odluka da se **ne koristi** pešački prelaz koristi sa povećanim brojem pešaka i da se smanjuje sa povećanjem broja vozila na saobraćajnicama.

3. Period čekanja za pešake – opšte je pravilo da su pešaci nestrpljivi da pređu ulicu i da su spremni da čekaju manje od 30 s. Ako je period čekanja duži, srednjoškolci, studenti i sredovećni građani uglavnom odlučuju da pređu saobraćajnicu. U ostalim slučajevima, ukoliko predvide da će dugo čekati na signal za prelazak, pešaci odlučuju da pređu ulicu na mestima gde ne postoji signalizacija.

## Analiza grešaka učesnika u saobraćajnim nezgodama sa pešacima

Greška u saobraćaju je spoljna manifestacija uzroka saobraćajne nezgode. Ona „stoji“ između uzroka i posledice, a s druge strane uzroci „proizvode“ razne vrste grešaka. **Vrsta greške u znatnoj meri određuje vrstu nezgode**, mada postoje i tipične greške kao posledice nekog od uzroka. U dostupnoj domaćoj literaturi, kao i izvršenim raznim analizama uzroka saobraćajnih nezgoda sa pešacima, došlo se do podataka o greškama usled kojih pešaci najčešće stradaju. Međutim, iz raspoloživih podataka ne mogu se u potpunosti definisati stvarne greške pešaka, vozača i regulative koje direktno utiču na nastanak saobraćajne nezgode.

Osnovna sistematizacija, koja egzistira u zvaničnoj statistici, u stvari predstavlja samo spoljnu manifestaciju suštinske greške, odnosno zakonsku kvalifikaciju prekršaja ili neustupanje po propisanim pravilima saobraćaja, pa se ovakve greške pokušavaju objasniti kao posledice, odnosno manifestacije nekog od uzroka. Za **uzrok** se može reći da je to dovoljan uslov za nastajanje neke posledice, konkretno saobraćajne nezgode. Osnovni uzrok saobraćajne nezgode je kvar na vozilu, nedostatak na putu, pogrešna radnja vozača ili drugog učesnika u saobraćaju zbog koje je nastala saobraćajna nezgoda. Uzrok je neposredni **inicijator** saobraćajne nezgode. [3]

Međutim, suštinske greške, koje je vrlo teško prilikom uviđaja otkriti ili definisati, koje mogu da izazovu nezgodu, mogu se definisati kao: nepažnja, neznanje, pogrešno reagovanje, pogrešna procena, pogrešan manevar i za pešaka svojstvena nedovoljna ili nepotpuna komunikacija sa vozačem, odnosno nepravilno preduzimanje neke od radnji u saobraćaju ili njihovo nepreduzimanje. Zato se za uočavanje bližih uzroka stradanja pešaka na koje bi se moglo direktno delovati određenim merama i akcijama koriste podaci iz analiza krivičnih prijava i pravosnažnih sudskih presuda. Ovi materijali trebalo bi da sadrže znatno više podataka o učesnicima u nezgodi, samom događaju, okolnostima, greškama ...

Analizom saobraćajnih prekršaja koje su učinili pešaci utvrđeno je da oni najveći broj grešaka čine prilikom:

- iznenadnog pojavljivanja ispred vozila u pokretu;
- prelaženja ulice i trgova u neposrednoj blizini ispred nailazećeg vozila;
- neopreznog i iznenadnog izlaženja na trotoar i kretanja po njemu;
- izlaženja na put u blizini nailazećeg vozila nakon izlaska iz vozila javnog gradskog saobraćajnog prevoza iz prostora na kojem vozač zbog zaustavljenog vozila ne uočava prisutnost i kretanje pešaka;
- pretrčavanja kolovoza izvan pešačkog prelaza u zoni stajališta vozila JGSP-a, da bi ušao u vozilo zaustavljeno na stajalištu;
- neopreznog prelaženja puta izvan označenog i semaforom osiguranog pešačkog prelaza;

– prelaženja preko pešačkog prelaza za vreme crvenog svetla na semaforu i sl.

Najčešća mesta na kojima stradaju pešaci mogu se podeliti u tri grupe: [5]

1. na pešačkom prelazu, prilikom prelaska kolovoza;
2. izvan pešačkog prelaza, prilikom prelaženja kolovoza;
3. na kolovozu, prilikom kretanja duž kolovoza (nije karakterističan za raskrsnice).

U svakoj od grupa razlikuje se više karakterističnih slučajeva obaranja pešaka, odnosno grupe grešaka sa nekom zajedničkom karakteristikom.

Delimičan odgovor na složena pitanja u vezi sa greškama koje čine pešaci mogu se dobiti ako se obuhvati ličnost čoveka i utvrdi uticaj na ponašanje u saobraćaju, a posebno uticaj strukture i dinamike ličnosti, saobraćajne zrelosti i socijalno-demografskih obeležja. Karakteristike i specifičnosti koje se mogu sresti kod čoveka ne sreću se kod drugih faktora u složenom sistemu saobraćaja. Čovek je podložan raznim emocionalnim promenama, kvalitetu učinka (sa godinama raste iskustvo, ali opadaju sposobnosti), brzoj promeni kvaliteta faktora (pažnja, budnost, koncentracija, motivacija) i velikim individualnim razlikama.

## Podela saobraćajnih nezgoda sa pešacima po mestu nastanka

Generalna podela saobraćajnih nezgoda sa pešacima po mestu nastanka odnosi se na:

1. Nezgode sa pešacima van naseljenog mesta:
  - na lokalnim putevima;
  - na magistralnim putevima;
  - na auto-putevima.
2. Nezgode sa pešacima u naseljenom mestu:
  - na raskrsnicama (na pešačkom prelazu, izvan pešačkog prelaza);
  - u neposrednoj blizini raskrsnice (do 20 m);
  - na ulici;
  - izvan kolovoza.

Prema „Makroistraživanju stradanja pešaka u saobraćaju u Beogradu“ i odabranih gradova, radi sagledavanja problema ugroženosti pešaka u saobraćaju, koje je obavio Saobraćajni fakultet iz Beograda 2004. godine za period 2000–2002. godine, prvog takve vrste u našoj zemlji, došlo se do podataka da je udeo nezgoda „obaranje pešaka“ u ukupnom broju saobraćajnih nezgoda u gradu Beogradu zastupljen sa 47%, Novom Sadu sa 24%, Nišu sa 36%, a za teritoriju Republike Srbije taj udeo iznosi 29%. Procenat poginulih pešaka u odnosu na ukupan broj nastradalih u saobraćajnim nezgodama za Republiku Srbiju iznosio je 30%, za grad Beograd 49%, Novi Sad 24%, Niš 38%.

Po mestu nastanka nezgoda sa pešacima za sve gradove procenat iz godine u godinu varira, ali generalno iznosi oko 25% za nezgode sa pešacima koje se događaju na raskrsnicama. Poređenja radi, u gradu Beogradu živi petina ukupnog stanovništva Republike Srbije, pa se može očekivati da problem „nebezbednosti pešaka u saobraćaju“ u Beogradu, izražen brojem saobraćajnih nezgoda sa pešacima (47%) i smrtno stradalih pešaka u njima (49%), ima isti udeo u stradanju pešaka u saobraćaju u Srbiji.

Iz toga se može izvesti zaključak da je u našoj zemlji pešački saobraćaj u nezavidnom položaju i da postoje ozbiljni zadaci na planu suzbijanja stradanja pešaka u saobraćaju, a to je moguće učiniti otkrivajući prave uzroke i greške posmatrane pojave, kao i preduzimanjem organizovanih mera na njihovom suzbijanju.

Na osnovu obimnog istraživanja došlo se do rezultata da se blizu jedne trećine (32%) ukupnog broja nezgoda sa pešacima događa u bližoj zoni raskrsnice (do 20 m) ili na samoj raskrsnici. Od toga se 30% nezgoda događa dok automobil vrši manevar skretanja, gde odnos nezgoda kod levih i desnih skretanja iznosi 60/40. Takođe, ustanovljeno je da su leva skretanja četiri puta opasnija po pešake od pravog prolaska vozila kroz raskrsnicu, iz razloga što vozač teže uočava pešake koji mu dolaze sa leve strane.

## Uočljivost pešaka

Veliki značaj za bezbednost pešaka u saobraćaju ima čulo vida i mogućnost pravovremenog opažanja pešaka, naročito u blizini raskrsnice, gde je, neretko, opažanje pešaka otežano iz mnogo razloga.

*Vidljivost* je mogućnost razlikovanja posebnih situacija uslovljenih stepenom osvetljenosti predmeta. Karakteristike vidljivosti su udaljenost i stepen vidljivosti, koji zavise od putnih i meteoroloških uslova. Pod udaljenošću vidljivosti podrazumeva se minimalni razmak na kojem se objekat ne može razlikovati u odnosu na pozadinu. Stepem vidljivosti predstavlja mogućnost razlikovanja karakteristika objekta, i to: njegove boje, oblika, itd. Vidljivost okružujućeg ambijenta – situacija može biti pogoršana zbog loše osetljivosti puta (sumrak), magle, snega, kiše.

*Razmak vidljivosti pešaka* predstavlja razmak izmeren po pravcu kretanja vozila na kojem se pešak, našavši se u polju vidljivosti vozača, počeo kretati u zoni koja je opasnoj zoni. Vremenska vidljivost pešaka predstavlja vreme neophodno za ravnomeran prolaz vozila na razmaku.

*Preglednost* predstavlja mogućnost vozača da vidi situaciju na putu, na delu kretanja i sa obe bočne strane, kao i prostor na određenoj udaljenosti. Preglednost pogoršava postojanje pokretnih i nepokretnih predmeta na putu ili u njegovoj blizini, koji onemogućavaju vozaču da izdvoji potencijalno opasan objekat iz okruženja i tako pravilno proceni njegov položaj na putu, pravac i brzinu kretanja. Preglednost, često, ograničavaju



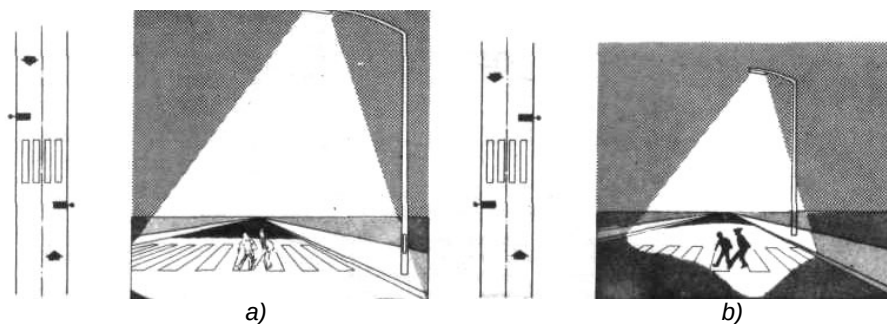
nepokretni predmeti i saobraćajna sredstva koja se kreću istovremeno ili dolaze u susret. Predmeti koji ograničavaju preglednost obično se ne nalaze ravno ispred vozača, nego nešto sa strane. Da bi ih razlikovao, vozač mora pogledati tako da se prepreka vidi sa oba oka, tj. u području binokularnog pogleda. Takav pogled ponekad oduzima puno vremena (1,2–1,5 s) u kojem se i vozilo i pešak mogu naći u kritičnoj blizini.

S obzirom na vidljivost i preglednost, nezgode možemo podeliti na:

- nezgode pri neograničenoj vidljivosti i preglednosti;
- nezgode pri ograničenoj preglednosti zbog nepokretnih predmeta;
- nezgode pri ograničenoj preglednosti zbog pokretnih predmeta;
- nezgode pri slaboj vidljivosti.

Nezgode sa pešacima pri neograničenoj vidljivosti i preglednosti veoma su česte. Više od polovine svih nezgoda dešava se u uslovima kada vozaču ništa ne smeta da na velikoj udaljenosti primeti pešaka i tačno proceni njegovo kretanje i kada nema ni uverljivih razloga da vozač ne primeni neophodne mere bezbednosti. Međutim, vozač najčešće nastavlja vožnju ne smanjujući brzinu iako vidi pešaka i počinje da koči tek pred sam nalet. Pri neograničenoj vidljivosti i preglednosti pešak ima mnogo veću mogućnost da ugleda vozilo koje se približava, nego što ima vozač da primeti pešaka (buka, signalizacija, odstojanje od vozila). Zbog toga je potrebno izmeniti zahteve prema pešacima. Uslov svih proračuna jeste okolnost da se, pri neograničenoj vidljivosti i preglednosti, pešak sve vreme nalazi u dometu pogleda i da vozač ima tehničku mogućnost da primeti početak opasnog kretanja pešaka i da je obavezan da preduzme mere opreza na vreme.

Uočavanje pešaka na raskrsnicama u velikoj meri zavisi od položaja izvora svetlosti kod pešačkog prelaza. Na zavojima i prevojima izvore svetlosti potrebno je postaviti ispred pešačkog prelaza, gledano iz smera saobraćajnog toka. Pešak je u tom slučaju vidljiv efektom negativne siluete, kako je prikazano na slici 3.a. Što se tiče pravog puta, ispravno je izvore svetlosti postaviti iza pešačkog prelaza, gledano iz smera saobraćajnog toka. Pešak je u tom slučaju vidljiv efektom pozitivne siluete, kako je prikazano na slici 3.b.



Slika 3 (a, b) – Osvetljavanje pešačkih prelaza  
Figure 3 (a, b) – Illumination of pedestrian crossings

Osvetljenje saobraćajnice farovima vozila ima odlučujuću ulogu pri noćnim pešačkim nezgodama na neosvetljenoj saobraćajnici.

Uočavanje pešaka može uslediti uvek kada postoji dovoljan kontrast prema pozadini. Pešak svojom odećom čini jedan odsajni reflektor i upravo od vidljivosti njegove odeće zavisi na kojoj će daljini biti vidljiv. Tamna odeća apsorbira više svetla od odeće koja je svetlija, tako da se, shodno tome, pešak u svetloj odeći mnogo bolje vidi od pešaka u tamnoj odeći. Istraživanja u različitim vrstama ulica u dvosmernom saobraćaju pokazala su da se pri kratkim svetlima automobila, pri idealnim noćnim uslovima, pešak u tamnoj odeći vidi na 26 m; pešak u sivoj odeći na 31 m, a pešak u svetloj odeći na 38 m. Situacija je složenija kada se u obzir uzme vlažan kolovoz, refleksija od vlažnog kolovoza, kao i svetla od vozila iz suprotnog smera.

Što se tiče uočavanja pešaka u dnevnim uslovima, ono je umnogome olakšano, jer samo doba dana po sebi obezbeđuje dobru vidljivost (jedino ako se ne radi o smanjenoj vidljivosti koja je uzrokovana raznim klimatskim uslovima, gde takođe, kao u uslovima noću, imamo složenije vozačke zadatke i potrebu prilagođavanja težim uslovima odvijanja saobraćaja). Danju vidno polje vozača nije suženo i ograničeno kao noću, a osvetljenost vidnog polja je ravnomerna. Potrebno je jedino obezbediti potrebne tehničke mere za zaštitu pešaka, mada su i one nedovoljne ako pešaci sami ne posvete dovoljno pažnje svojoj bezbednosti.

Kada učestvuju u javnom saobraćaju vojni pešaci su dužni da se pridržavaju odredbi ZoBS-a koje se odnose na kretanje pešaka i pešačkih kolona u javnom saobraćaju, kao i odredbi Pravila o bezbednosti putnog saobraćaja u VS.

Kolona vojnih pešaka, kada učestvuje u saobraćaju, mora da se kreće pre svega površinom namenjenom za pešake, ukoliko ne postoji uređena površina za bezbedno kretanje pešaka, vojna pešačka kolona mora se kretati desnom stranom kolovoza u smeru kretanja. Za način označavanja kolone odgovoran je starešina kolone. Međutim, ako nije u mogućnosti da je pravilno označi (obeleži baterijskim lampama, od kojih ona na čelu emituje belu, a ona na začelju crvenu svetlost) ili su uslovi takvi da se bez obzira na propisno označavanje kolona ne može videti sa bezbednog odstojanja zbog smanjene vidljivosti, starešina kolone je dužan da kretanje kolone usmeri odgovarajućim putem, van javnog puta.

## Bezbednost vojnih pešaka u saobraćaju

Povećanje obima vojnog saobraćaja, od vremena kada su se ukazale potrebe da vojnik, pored onoga što nosi na sebi, bude snabdeven i većim količinama hrane i municije i za potrebe tog transporta koristi tovarne životinje, preko čuvene 1913. godine kada je Srpska vojska bila prva oru-

žana sila koja je upotrebila automobil za brzi prevoz trupa u ratnim uslovima do ugrožene linije fronta, vremenom je dovelo do organizovanja posebne saobraćajne službe u komandama i štabovima jedinica [9, 10].

Od samog početka saobraćajnog obezbeđenja u vojsci, saobraćajnu službu pratile su i negativne pojave u saobraćaju, kao što su saobraćajne nezgode.

Od ukupnog broja registrovanih saobraćajnih nezgoda pripadnika VS van vojnih vozila za poslednjih pet godina, 10% dogodilo se u pešačkom saobraćaju.

Može se reći da je poslednjih godina zapažen trend smanjenja broja poginulih vojnika i starešina koji su stradali kao pešaci, za razliku od devedesetih godina prošlog veka, kada su u petogodišnjem periodu 34 lica poginula, a 58 lakše i teže povređeno u pešačkom saobraćaju.

Najčešće su nezgode naletanja pripadnika VS sa vozilima u ličnom vlasništvu na pešake za vreme godišnjih odmora i za vreme odlaska i povratka sa vikenda. Tada su događaji, po pravilu, nezgode sa najtežim posledicama.

Jedan broj pripadnika VS, posebno oficira i mladih starešina, stradao je prelazeći neoprezno preko kolovoza. U prethodnom periodu vojnici su, pojedinačno ili u grupi, stradali kao pešaci prilikom izlaska, a najčešće u povratku iz grada, krećući se po kolovozu, uglavnom nepropisno i neosvetljeni, rizikujući tako sopstveni život, ali i živote drugih učesnika u saobraćaju.

Najčešći uzroci nezgoda pešaka pripadnika VS jesu:

- opšte nepoštovanje saobraćajnih pravila i propisa, na prvom mestu prava prvenstva prolaza vozila koja nailaze;
- nedovoljna pažnja pri stupanju na kolovoz ili pešački prelaz;
- loša procena odstojanja i brzine kretanja vozila koje nailazi;
- alkoholisanost i bahato ponašanje;
- precenjivanje sopstvenih mogućnosti.

Konstantno povećanje broja saobraćajnih nezgoda pripadnika VS van vojnih vozila u poslednjih pet godina objašnjava se, pre svega, većim učešćem pripadnika u saobraćaju, ali i preciznijom evidencijom nezgoda koja se vodi u komandama jedinica.

U ukupnom broju nastradalih lica u saobraćajnim nezgodama pripadnika VS van vojnih vozila poslednjih pet godina nastradalo je oko 550 lica, od čega je 10% poginulih i 90% teže i lakše povređenih.

S obzirom na to da pripadnici VS krivično odgovaraju za prouzrokovane smrtne posledice i teže telesne povrede u saobraćaju, to predstavlja za VS značajan problem, kojem u budućem periodu treba posvetiti veću pažnju kroz edukaciju svih pripadnika VS, pogotovo ako se uzme u obzir da je novi Zakon o bezbednosti saobraćaja stupio na snagu i počeo da se primenjuje sa znatnim izmenama u odnosu na stari zakon, kako u

pogledu oštrije kaznene politike, tako i u pogledu mnogih novina za bezbedno učestvovanje u saobraćaju.

Što se tiče stradanja pešaka u saobraćaju u nezgodama u kojima su učestvovala vojna motorna vozila, broj saobraćajnih nezgoda „nalet na pešaka“ za period 2000–2009. godine iznosi 4% od ukupnog broja svih nezgoda prouzrokovanih vojnim motornim vozilima, ali je u tim nezgodama najviše lica poginulo (oko 26%).

Analizirajući saobraćajne nezgode van vojnih vozila i njihove posledice i saobraćajne nezgode vojnih vozila sa nastradalim licima i njihove posledice, može se zaključiti da je u nezgodama van vojnih vozila više poginulih, više teže i lakše povređenih, nego u nezgodama sa vojnim vozilima. Ovakav zaključak nameće potrebu definisanja mera i aktivnosti za preventivno delovanje prema svim pripadnicima VS, a ne samo prema vozačima vojnih motornih vozila.

Neophodno je na svim nivoima komandovanja podržati i sprovoditi mere koje se preduzimaju na preventivnom delovanju za smanjenje broja SbN i povećanju nivoa saobraćajne kulture i znanja o faktorima bezbednosti saobraćaja.

Značajno polje smanjenja rizika od nastajanja saobraćajnih nezgoda vojnih učesnika u saobraćaju – pešaka je uređenje ulaza/izlaza iz kasarni. Većina vojnih objekata izgrađena je početkom druge polovine prošlog veka i po propisima koji su tada važili – bezbedno, uglavnom na periferijama naselja, tako da sa aspekta bezbednosti saobraćaja nisu predstavljali rizična mesta. Naglim razvojem gradova, njihovim širenjem i urbanizacijom kao i nastanjivanjem velikog broja ljudi, većina vojnih objekata našla se u zoni naseljenog mesta, a neki i u širem rejonu centra grada. Sve komande većih jedinica locirane su u većim gradovima i uglavnom u neposrednoj blizini centra grada gde je saobraćaj najintenzivniji. Urbanizaciju je pratila i saobraćajna infrastruktura, tako da je neposredno uz neke značajne vojne objekte izgrađena pruga ili neka bitna saobraćajnica, a ima i slučajeva gde i pruga i put prolaze kroz prostor vojnog objekta. Ovakve situacije značajno su usložile bezbedno odvijanje vojnog saobraćaja, a na prvom mestu bezbednost „vojnih pešaka“ i „vojnih kolona“.[7] Radi bezbednijeg kretanja vojnika pešaka, kako u krugu vojnih objekata, tako i posle izlaska iz njih, propisi u VS obavezuju komandante kasarni, aerodroma kao i nadležne starešine u ostalim vojnim objektima da horizontalnom i vertikalnom signalizacijom u celosti regulišu bezbedno kretanje pešaka i vojnih vozila u krugu tih objekata.

Na javnim putevima koji su neposredno uz vojni objekat, nadležne starešine su dužne da, u saradnji sa organima vlasti lokalnih zajednica, a u zoni odgovornosti jedinice, odgovarajućim saobraćajnim znakovima i oznakama na kolovozu urede te zone za bezbedno odvijanje saobraćaja vojnih vozila i pešaka.

## Mere i postupci za povećanje bezbednosti pešaka

U okviru mera društvene intervencije neophodno je prema pešacima, smišljeno i organizovano, preduzimati čitav niz različitih mera.

Sve ove mere mogli bi svrstati u nekoliko osnovnih grupa:

1. Normativno-represivne. Ogledaju se kroz drastična povećanja iznosa kazni za kršenje saobraćajnih propisa, oštrije kažnjavanje pešaka i zastupljenost funkcionalnijih propisa. Neophodno je osloboditi površine za kretanje pešaka koje su uzurpirane od strane ugostiteljskih objekata, kioska, prodavnica i parkiranih vozila njihovim uklanjanjem.

2. Vaspitno-propagandne. Efikasna društvena prevencija pretpostavlja široko i intenzivno uključivanje javnosti u borbu protiv negativnih društvenih pojava u saobraćaju. Na formiranje pravilnog stava, značajnu ulogu imaju sredstva informisanja koja treba da deluju afirmativno, planski. Ogledaju se kroz saobraćajno obrazovanje i vaspitanje stanovništva, saobraćajno obrazovanje vozača, posebno u delu koji se odnosi na njihove obaveze prema pešacima, kroz stimulisanje nošenja odeće i opreme za uočljivosti pešaka.

3. Tehničko-regulativne. Ako se tehničke mere projektuju i instaliraju prema prethodno verifikovanim projektima, mogu značajno uticati na smanjenje saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuju pešaci.

## Zaključak

Prevenciju saobraćajnih nezgoda i povećanje bezbednosti, kako u vojsci tako i u državi, treba zasnivati na naučnim saznanjima i trendovima i stalnom praćenju dostignuća u toj oblasti. Naravno, nije potrebno samo pratiti i biti upućen, nego i uložiti znatna materijalna sredstva da bi pojedini projekti i zaživeli.

Pešaci kao specifična kategorija učesnika u saobraćaju, u odnosu na ostale učesnike, učestvuju u saobraćaju skoro bez ikakve prethodne pripreme, odnosno selekcije i zbog toga predstavljaju posebno rizičnu grupu.

Može se zaključiti da su pešaci u prethodnom periodu bili nedovoljno tretirani u okviru ukupnog reagovanja društva u oblasti bezbednosti saobraćaja. Sa druge strane, analize saobraćajnih nezgoda sa stradanjem pešaka ukazuju na to da pešaci najčešće sami stvaraju opasne situacije, ali da imaju i najveće mogućnosti da ih izbegnu.

Pešak danas mora naučiti da objektivno shvati saobraćajnu situaciju, objektivno je prosudi i savlada pre nego što stupi na kolovoz. Takođe,

mora voditi računa o saobraćajno-tehničkim karakteristikama vozila. Pre nego što započne prelazak preko kolovoza mora se uveriti da li je vozač uočio njegovu nameru, čak i da tu nameru adekvatno najavi, tako što će dati znak vozaču rukom. U naseljenim mestima, za prelaz preko kolovoza pešaci treba da koriste isključivo predviđene pešačke prelaze. Pešaci često krše pravila, izlažu se životnoj opasnosti kada biraju kraći put i iz njihovog ugla „brži“ put. Najmanji rizik je na prelazima koji su regulisani svetlosnom saobraćajnom signalizacijom. Rizik je veći na raskrsnici i u blizini raskrsnice, bez obzira na vrstu prelaza. [3] Da bi pešaci bili potpuno bezbedni u gradovima je potrebno izdvojiti pešački saobraćaj od saobraćaja na motorni pogon.

U saobraćajnim nezgodama vojnih vozila, zastupljenost saobraćajnih nezgoda „nalet na pešaka“ u periodu 2000–2009. godine iznosi 4% od ukupnog broja svih nezgoda, ali je u tim nezgodama najviše lica poginulo (26%).

U saobraćajnim nezgodama van vojnih vozila pripadnici vojske znatno češće stradaju, pa se nameće potreba delovanja na sve strukture u vojsci, a ne samo na vozače vojnih vozila.

### Literatura

- [1] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, SG R. Srbije 41/09.
- [2] Pravilo o bezbednosti putnog saobraćaja u VS, Saobraćajna uprava, Beograd, 1997.
- [3] Bulajić, A., *Bezbednost pešaka u saobraćaju na raskrsnici*, magistarski rad, FTN, Novi Sad, 2008.
- [4] Kostić, S., Bulajić, A., Milošević, D., *Povećanje ekonomičnosti i bezbednosti odvijanja saobraćaja primenom inteligentnih transportnih sistema (ITS)*, XXI Međunarodni naučno-stručni skup „Nauka i motorna vozila“, Beograd – SANU, 2007.
- [5] Bulajić, A., *Analiza grešaka zbog kojih pešaci izazivaju saobraćajne nezgode na raskrsnicama*, IX Simpozijum sa međunarodnim učešćem „Prevenција saobraćajnih nezgoda na putevima 2008.“ Institut za saobraćaj FTN, Novi Sad, 2008.
- [6] Dedić, G., Ranković, Ž., Milinković, I., Fajgelj, O., *Uticaj alkohola na bezbednost vojnih učesnika u saobraćaju*, Ministarstvo Odbrane, Beograd, 2005.
- [7] Marković, R., *Pešak u saobraćaju*, Vojna knjiga, Beograd, 1998.
- [8] OdTr SMR MO, *Operativna evidencija o SbN u MO i VS*, podaci za period 2005–2009. godina.
- [9] Ranković, Ž., Denda, D., *100 godina saobraćajne službe u srpskoj vojsci*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 1, pp. 16–31, Beograd, 2009.
- [10] Radivojević, M., *Značaj informacija za bezbednost saobraćaja*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 34, No. 2, pp. 176–178, Beograd, 1986.

## SAFETY IN TRAFFIC FOR VULNERABLE MILITARY ROAD USERS

FIELD: Traffic Engineering, Traffic Safety  
ARTICLE TYPE: Professional Paper

### Summary

*The Army of Serbia, as a relatively closed system, regulates the field of traffic safety; however, during peacetime, general rules apply to all participants in traffic circulation. The Republic of Serbia is in the group of countries with a high number of road fatalities. The level of traffic safety in the Serbian Army has been on constant increase since 2000, although the relevant transport authorities in the military are not yet satisfied with the achieved level (even one lost life is too much). The increase can be deceptive, since if we take into account the substantial reduction in vehicle use due to various factors in the last few years (poor financial situation in the country as well as in the military, under-investment in the purchase of new vehicles, purchase of transportation services, fewer drivers drafted and more vehicles driven by trained officers, etc.), it is not surprising that there are fewer accidents and fewer road deaths and injuries among military personnel.*

*This paper aims at approaching the problem of pedestrian safety as a segment of road safety and at making an educational impact on all members of the military, because they all participate in traffic daily, if not as drivers or passengers, then certainly in large numbers as pedestrians.*

*The basis of this paper is aimed at shedding light on the causes of pedestrian road fatalities due to their mistakes, i. e. „negligence“ of the participants in car accidents with the participation of pedestrians, as well as at proposing measures to reduce and prevent traffic accidents with pedestrians.*

### Introduction

*One of the basic requirements for the transport as an integrated system, besides its mobility and transport of goods and services, is its safety. Being the default size, safety is most frequently evaluated through its absolute and relative indicators.*

*Modern roads witness an increasing number of passenger and freight vehicles, which leads to the increase of traffic accidents with a large number of casualties and material damage.*

*Traffic accidents are one of the most negative phenomena in the traffic in general, imposing a threat to the society. Therefore, it is no coincidence that problems of traffic safety are dealt with within the entire community, the United Nations and the EU, in particular.*

*Code of conduct on the roadway is the area governed by detailed regulations, while the conduct on the sidewalk is not - pedestrians have the freedom to choose their conduct. Therefore, the abrupt changing of the direction from one road surface to another (the moment of*

entering the roadway from the sidewalk) requires a rapid adaptation to the changed conditions.

The increased number of pedestrians in traffic leads to the increased risk of road accidents involving pedestrians. The analysis of the findings and opinions of the transportation and technical experts shows that traffic accidents involving pedestrians are the most common form of road accidents where traffic and technical expertise is required, since the highest number of injuries occur in car-pedestrian accidents.

In this paper, the focus is on pedestrians as the most vulnerable category of road users.

#### Safety of road traffic and pedestrian safety

One of the most important problems of urban traffic safety is pedestrian safety. In order to increase pedestrian safety, preventive measures are aimed at increasing discipline, since a large percentage of pedestrians do not respect the road code of conduct. Regardless of their age, health conditions or traffic knowledge, all people may be involved in traffic as pedestrians. The movement of pedestrians is a specific, though quite natural movement in relation to other forms of movements, because pedestrians, as opposed to vehicles, can move along the indeterminate path suddenly changing their speed. In addition, pedestrians can change the direction and the speed of their movement much easier than any vehicle can.

The structure of road fatalities significantly differs from that of accident provokers. This means that exposure to danger is not in proportion with its creation, which is entirely typical for pedestrians. At the moment of collision between the vehicle and the pedestrian, there is a direct impact of the vehicle on the body of the pedestrian, from which it is not difficult to conclude that pedestrians are the least protected category of participants in the integrated system of road traffic.

#### Analysis of errors of participants in traffic accidents involving pedestrians

Errors in the traffic are external manifestations of the causes of traffic accidents. They occur between the cause and the effect; on the other hand, the cause produces various types of errors. Types of errors determine the type of accident to a great extent, although there are typical errors resulting from one of the causes.

#### Types of accidents involving pedestrians depending on the accident place

Traffic accidents involving pedestrians can be generally divided into several categories, depending on the accident place.

Accidents with pedestrians occurring out of populated areas:

- on local roads;
- on main roads;
- on motorways.

Accidents with pedestrians in populated areas:

- at the intersections (on the pedestrian crossing, outside pedestrian crossings);



- near the intersection (up to 20 m);
- in the street;
- out of pavements.

#### Pedestrian visibility

*Good eye sight and ability to spot a pedestrian, especially near intersections where catching sight of pedestrians is often made difficult for various reasons, are of extreme importance for pedestrian safety. Detecting pedestrians can occur whenever there is sufficient contrast to the background.*

*The clothes of pedestrians reflect light thus making them visible at different distances. Since dark clothes absorb more light, pedestrians wearing bright colours will be more easily spotted than those in dark clothes. Daylight facilitates visibility as well.*

#### Safety of military pedestrians in traffic

*For the past five years, out of the total number of traffic accidents of the registered members of the Serbian Army out of military vehicles, about 10% occurred in pedestrian traffic.*

*It can be said that in recent years there has been a reduction in the number of soldiers and officers who got killed as pedestrians, as opposed to the nineties, when, e. g. in a 5-year period, there were 34 dead and 58 injured in pedestrian traffic.*

*The most frequent car-pedestrian accidents involving members of the Serbian Army occur while they drive their personal vehicles during holidays or weekend trips. More often than not, such accidents have the most serious consequences.*

#### Traffic regulations at the pedestrian entrance/exit within barracks and military facilities

*Most military facilities were built at the beginning of the second half of the last century and under the regulations then in force; consequently, they were safe, mostly on the outskirts of populated areas, so that they did not represent risk to safety.*

*Due to rapid development of cities, their expansion and urbanization, most military facilities are now in urban areas, with some being almost in city centers. Such situations have significantly posed problems to safe conduct of military traffic, military pedestrians and convoys in particular.*

#### Measures and procedures to increase safety of pedestrians

*Within the social framework, it is necessary to apply a range of different measures aiming at pedestrians.*

*All these measures could be classified into several main groups:*

- normative-repressive;
- educational and propaganda;
- technical and regulatory.

#### Conclusion

*It can be concluded that pedestrians were not sufficiently treated in the overall reaction of the society in the field of traffic safety. On the other hand, the analyses of traffic accidents resulting in pedestrian fatalities show that pedestrians usually provoke road hazards but they also have the highest number of possibilities to avoid them.*

*Pedestrians must learn to evaluate traffic situations objectively before they enter the roadway. They also must take into account technical characteristics of vehicles. Before they start crossing the road, they must make sure that the driver noticed their intention, even by giving a sign to the driver by hand if necessary.*

**Key words:** *Serbian Army, traffic safety, pedestrian safety, traffic accidents.*

Datum prijema članka: 08. 09. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 19. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 20. 10. 2011.

# SPRAVA ZA JAČANJE MIŠIĆA STOPALA

Glavač T. Boris, Univerzitet odbrane u Beogradu,  
Vojna akademija, Katedra za fizičku kulturu, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202343G

OBLAST: biomehanika

VRSTA ČLANKA: iskustva iz prakse, projekat

## Sažetak:

*Dosadašnja iskustva u korekciji ravnih tabana svode se na korišćenje uložaka za cipele i vežbi pri kojima se, kao pomagala, koriste kuglice, valjci, kose ravni i sl. Sprava za jačanje mišića stopala predviđena je za korekciju ravnih tabana kod dece i za jačanje mišića kod odraslih. Sprava je izrađena od drveta i metala, sa mehanizmom i tehničkim rešenjima, koji omogućavaju da se primenom određenih vežbi aktiviraju mišići koji su odgovorni za formiranje svodova stopala. Pogodna je za kućnu upotrebu i moguće je dozirati opterećenje pri vežbanju pomoću baždarenih opruga. Sprava je patentirana kod Zavoda za intelektualnu svojinu u Beogradu kao mali patent – br. 193 MP, 13. 03. 1998 godine.*

Ključne reči: *patent za jačanje mišića stopala, biomehanika, mehanizam sprave.*

## Uvod

Nauka koja se bavi proučavanjem statike i dinamike ljudskog tela je biomehanika. Ako je suštinski shvatimo kao sistem za izučavanje pokreta prouzrokovanih dejstvom sile (mišići) na poluge (kosti), možemo i čoveka spustiti u ravan konstrukcije i posmatrati ga kao mehanički sklop. Sama oblast mehanike, kada se primeni na čoveka, deluje kao dehumanizacija i može sugerisati da je čovek „gotov proizvod“, kao kakav mašinski materijal, što on svakako nije. Naprotiv, čovek je upravo biće koje je u stalnim promenama, bilo da se generiše, regeneriše ili mu odumire tkivo i zbog toga se u svakom segmentu života, počev od detinjstva pa do starosti, mora voditi računa o uslovima, koji doprinose pravilnom razvoju i održavanju korektnog anatomskog sklada.

Do samo pre sto godina udeo mišićne aktivnosti u svakodnevnom radu bio je oko 80 do 90%, a danas je u civilizovanom svetu oko 10 do 15%. I ništa tu ne bi bilo problematično da je čovek „gotov proizvod“, ali priroda je tako podesila organizam da je za pravilno odrastanje i održavanje telesnih odnosa neophodna mišićna aktivnost, koja će svojim tonusom održavati prirodan sklad među polugama, tj. kostima. I ako je čovek u detinjstvu i mladalačkom dobu bio fizički aktivan i ako je proces rasta i razvoja doveo do skladnog i zdravog tela, to ne znači da je time napra-

vljen „gotov proizvod“, koji će da traje unedogled. Jednostavno, prirodni zahtevi organizma potražuju fizičku aktivnost zbog održavanja korektnih biomehaničkih odnosa. U protivnom, slabljenjem i neaktivnošću mišića dolazi do, medicinski rečeno, degenerativnih promena, a mehanički rečeno do poremećaja statike i dinamike tela, što nadalje otvara posebne probleme, najčešće na stopalima, kolenima i kičmi.

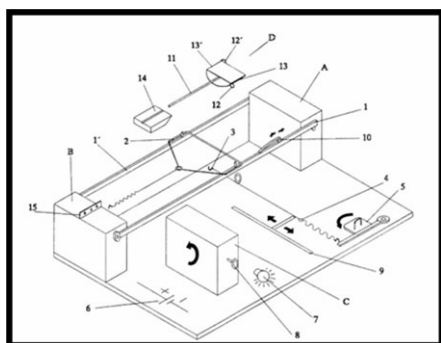
Sa jedne strane, civilizacija je ograničila prirodno kretanje, a sa druge nivo tehnologije dao je razne sprave i pomagala za korekciju i nadomeštanje onoga što se propušta u prirodnim uslovima. Jedno od tih pomagala za korekciju ravnih tabana je sprava za jačanje mišića stopala, koja na neki način imitira i zamenjuje prirodne pokrete i aktivira one mišićne grupe koje su odgovorne za održavanje svodova stopala. Najprirodniji pokret, koji je i odgovoran za pravilno formiranje svodova stopala je hodanje i trčanje. U civilizovanim društvima upravo je to najprirodnije kretanje sputano; prvo samim smanjenjem kretanja zbog obaveza koje traže sedeći položaj – kancelarija, automobil, itd. i neadekvatnom obućom, koja je tako dizajnirana da isključuje mišiće, koji su odgovorni za formiranje i održavanje svodova stopala.

Dakle, sagledavajući problematiku stopala, imamo u vidu jedan biomehanički sistem, koji tokom rasta, a i kasnije u životu, mora da bude stimulisan prirodnim pokretima, koji su kompatibilni sa biološkim potencijalom. U slučaju ruralnog ambijenta za odrastanje i život, takvi stimulusi su uglavnom dostupni, ali u urbanim sredinama, gde je kretanje sputano, ograničeno i formatizovano određenom obućom (obično neodgovarajućom), neophodno je da se prirodni pokreti nadomeste određenim vežbama i spravama.

## Sprava za jačanje mišića stopala

Sprava je namenjena osobama sa konstitucionalnom slabošću stopala (ravni tabani), kao i osobama sa funkcionalnim ispadima (pareze). Sprava, ili patent za jačanje mišića stopala, izrađen je od drveta i metala.

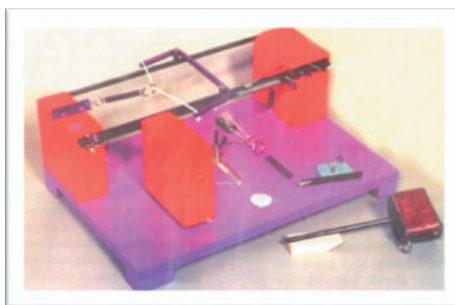
Mehanizam sprave omogućava da se savlađuje otpor sistemom opruga, čime se jačaju mišićne grupe, koje su odgovorne za održavanje uzdužnog i poprečnog svoda stopala (slika 1. i 2).



Slika 1 – Šema sprave za jačanje mišića stopala

Figure 1 – Schematic presentation of the foot muscle strengthener

Sprava je kompaktna sa podesivim mehanizmom, kojim se obezbeđuje puna funkcionalnost. Najbitniji delovi su oslonci za petu stopala i držači opruge i papučice (A, B,C), papučica (D), metalne vođice (1,1') po kojima klizi zahvatač (2) i ekscentar (5) kojim se podešava prednapon opruge. Opruge koje se stavljaju za savlađivanje otpora su baždarene, tako da je na kraju amplitude (10 cm) otpor od 2 do 5 kg (slika 1).

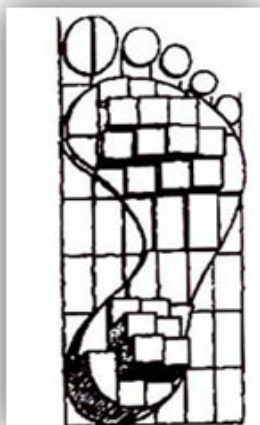


Slika 2 – Sprava za jačanje mišića stopala  
Figure 2 – Foot muscle strengthener

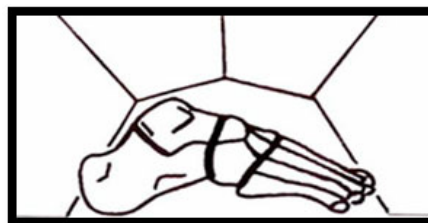
### Biomehanički koncept stopala

Stopalo je anatomske prilagođeno da održava:

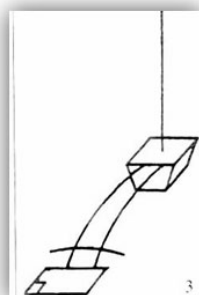
- statiku tela – trodimenzionalni prikaz rasporeda pritiska na stopalo (prema Abramsonu) na slici 3. [1]
- dinamiku tela – funkcija mišića stopala pri kretanju je korekcija položaja stopala pri hodu po neravnom terenu i u mraku dok se ne uspostavi stabilan oslonac, kao i uloga osnovne odrazne poluge.



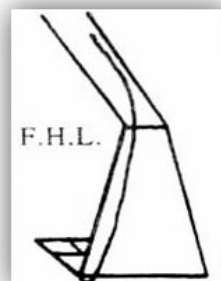
Slika 3 – Raspored pritiska na tabanu  
Figure 3 – Distribution of pressure on the foot



Slika 4 – Konusni sklop kostiju stopala  
Figure 4 – Conical shaping of foot bones



Slika 5 – Šematski prikaz svodova stopala  
Figure 5 – Schematic presentation of the foot arch

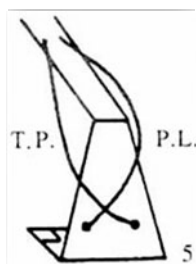


Slika 6 – M. fleksor hallucis longus  
Figure 6 – Flexor hallucis longus muscle

„Formacija kratkih kostiju klinastog oblika, sa užom stranom okrenutom nadole, uslovljava lučnu konstrukciju“ [1] – slično svodovima u građevinarstvu (slika 4).

Takvim konusnim sklopom formirana su dva svoda – uzdužni, od pete prema prstima i poprečni svod, čineći sistem koji obezbeđuje amortizaciju i oslonac (slika 5).

Od ukupno dvadesetak mišića stopala i potkolenice najodgovorniji mišić za održavanje uzdužnog svoda stopala je M. fleksor hallucis longus (dugi pregibač palca), šematski prikazan na slici 6. Poprečni svod stopala, svojim zatezanjem održavaju mišići, M. tibialis posterior i M. peroneus longus [2], šematski prikazani na slici 7.

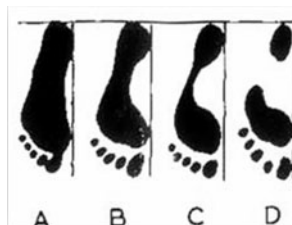


Slika 7 – M. tibialis posterior i M. peroneus longus  
Figure 7 – Tibialis posterior muscle and peroneus longus muscle

### *Uzroci i posledice ravnog stopala*

Pored genetske uslovljenosti, neadekvatna obuća, kao i kretanje po ravnoj podlozi (beton) ne aktiviraju mišiće, što dovodi do njihovog slabljenja i izduživanja. Zajedno sa njima izdužuju se i ligamenti. Tako oslabljeni ne mogu

da izdrže pritisak težine tela, što dovodi do spuštanja svodova stopala. „Na slici 6. prikazani su otisci stopala od ravnog do ispupčenog (od A do D)“. [1]



Slika 8 – Otisak stopala – od ravnog do ispupčenog  
Figure 8 – Footprint – from flat feet to high arched feet

Spuštanje svodova stopala, naročito uzdužnog, prouzrokuje tzv. upadanje stopala (hod na unutrašnjoj strani tabana) što je uočljivo sa leđne strane vidljivim iskrivljenjem Ahilove tetive. Pored toga, i samo stopalo se deformiše. Skočni zglob trpi neravnomeran pritisak, što se po vertikalni kompenzatorno prenosi na koleno, kuk i kičmeni stub.

Pri spuštanju svodova prvo oslabe mišići, zatim ligamenti i na kraju dolazi do promene na kostima. [2]

### *Korekcija ravnih tabana*

Pri nošenju uložaka mišići i ligamenti se više istežu i time još više slabe. Nošenje uložaka mora biti ispraćeno adekvatnim vežbama, kao i obučom, što će uticati na jačanje mišića. U protivnom, samo nošenje uložaka neće doprineti poboljšanju, osim što će pasivnim podupiranjem držati svodove.

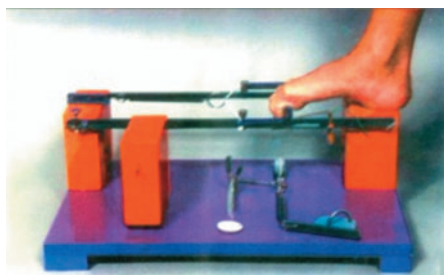
### *Korišćenje sprave za jačanje mišića stopala*

**FLEKSIJA** – jačanje mišića tabana (slika 8), naročito dugog pregibača palca (slika 6)

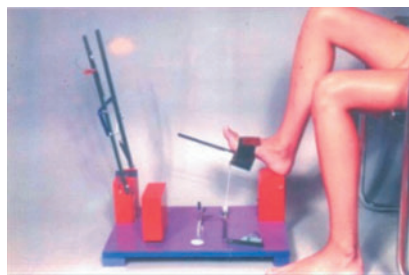
Peta se postavlja na oslonac, a prsti na zahvatač, koji je oprugom vezan za oslonac na suprotnom kraju sprave. Pregibanjem prstiju i povlačenjem zahvatača, koji klizi po metalnim vodičama, savlađuje se otpor opruge.

**DORZALNA FLEKSIJA** – jačanje mišića podizača stopala i opružača prstiju

Na stopalo se postavlja papučica, za koju je vezana sajla, koja je preko koturače vezana za oprugu. Podizanjem stopala savlađuje se otpor opruge, koja je drugim krajem vezana za ekscentar, kojim se reguliše prednapon (slika 9).



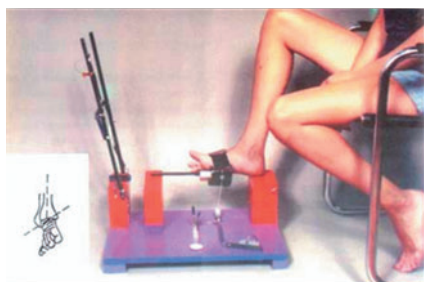
Slika 9 – Fleksija (savijanje) prstiju  
Figure 9 – Flexion of toes



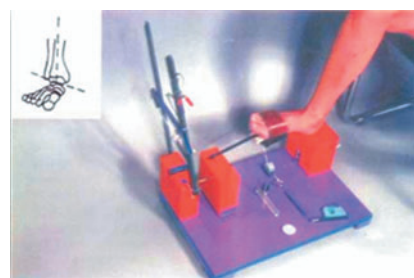
Slika 10 – Dorzalna fleksija (podizanje) stopala  
Figure 10 – Dorsal flexion of the foot

### SUPINACIJA – jačanje mišića potkolenice

Na stopalo se postavlja papučica, koja se osovinom postavi u alku, a koleno (desna noga) u desnu stranu – malo preko vertikale, što čini početni položaj. Rotacijom stopala unutrašnjom stranom nagore savlađuje se otpor opruge (slika 10).



Slika 11 – Supinacija (uvrtanje) stopala  
Figure 11 – Foot supination



Slika 12 – Pronacija (izvrtanje) stopala  
Figure 12 – Foot pronation

### PRONACIJA – jačanje mišića potkolenice

Na stopalo se postavlja papučica, koja se osovinom postavi u alku, a koleno u levu stranu – za desnu nogu, (udesno za levu nogu) malo preko vertikale, što čini početni položaj. Rotacijom stopala spoljašnjom stranom nagore savlađuje se otpor opruge (slika 11).

## Zaključak

Problem ravnog stopala sve češće se javlja kod dece, naročito u urbanim sredinama, gde način života ne dozvoljava da se ispoštuju oni prirodni zahtevi koji bi uticali na pravilno formiranje svodova stopala. Korekcija se vrši kretanjem i vežbama na prirodnoj podlozi (trava, pesak i sl.), kao i rehabilitacijom u medicinskim ustanovama.



Pomoću sprave za jačanje mišića stopala moguće je ispraviti nedostatke uzrokovane savremenim načinom života.

Sa funkcionalne tačke gledišta sprava je svojim tehničkim rešenjem i mehanizmom kompatibilna sa pokretima, koji u obliku vežbe doprinose jačanju mišića odgovornih za formiranje i održavanje svodova stopala. Konstruisana je tako da je prenosiva, pa je moguća njena primena, kako u medicinskim ustanovama, tako i u kućnim uslovima.

### Literatura

- [1] Opavski, P., *Osnovi biomehanike*, Naučna knjiga, Beograd, 1976.
- [2] Bošković, M., *Anatomija čoveka*, Medicinska knjiga, Beograd–Zagreb, 1965.

#### FOOT MUSCLES STRENGTHENER

FIELD: Biomechanics

ARTICLE TYPE: Professional Practice, Project

#### Summary

*Previous experience in the correction of flat feet consisted of the use of insoles for shoes and exercises with toys, balls, rollers, inclined planes, etc. A device for strengthening foot muscles is designed for the correction of flat feet in children and, as its name suggests, for strengthening foot muscles in adults. The device is made of wood and metal, with a mechanism and technical solutions, enabling the implementation of specific exercises to activate muscles responsible for the formation of the foot arch. It is suitable for home use with controlled load quantities since it has calibrated springs. The device is patented with the Intellectual Property Office, Republic of Serbia, as a petty patent.*

#### Introduction

*The science which studies the statics and dynamics of the human body is called biomechanics. If it is essentially understood as a system for studying the movements caused by force (muscles) on levers (bones), then the man can be regarded as, and reduced to, a mechanical assembly.*

#### Device for strengthening foot muscles

*The device is intended for people with constitutional weakness of the foot (flat soles) and people with functional disturbances (paresis). The device contains a mechanism that allows the use of spring-metered load, thus strengthening the muscles responsible for the longitudinal and transversal foot arches.*

#### Biomechanical concept of the foot

*Short bones of the feet are placed with the narrow end facing down, and the wider end facing up - similar to arches in the civil engineering. Such a cone shaping allows the formation of the longitudinal and the transversal arches of the foot, which are responsible for the statics and the dynamics of the body.*

#### Using the foot muscle strengthener

*The device offers four basic exercises for strengthening lower leg and foot muscles which form the foot arch. These are exercises in flexion, dorsal flexion, supination and pronation.*

#### Conclusion

*The problem of flat feet is increasingly present in children, especially in urban areas. The device for strengthening foot muscles contributes to efforts to address deficiencies caused by modern life.*

*Key words: patent to strengthen foot muscles, biomechanics, device mechanism.*

Datum prijema članka: 05. 05. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 09. 11. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 10. 11. 2011.

## SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

### *Nova oprema za digitalno aerofotogrametrijsko snimanje za potrebe Vojske Srbije*

Ministarstvo odbrane Republike Srbije je za potrebe Vojnogeografskog instituta nabavilo najsavremeniju digitalnu tehnološku liniju za aerofotogrametrijsko snimanje. Komplet opreme čini vazduhoplov *Pajper Seneka 5*,<sup>1</sup> američkog proizvođača „Piper Aircraft“,<sup>2</sup> sa integrisanom digitalnom aerofotogrametrijskom kamerom ADS80 švajcarskog proizvođača „Lajka Geosystems“, kao i pripadajući softver. Investicijom vrednom 2,7 miliona evra omogućavaju se prikupljanja i analize geoprostornih podataka u digitalnom obliku po savremenim standardima zemalja Evropske unije. Time se stvaraju uslovi za razvoj i implementaciju geografsko-informacionog sistema Republike Srbije i formiranje baze digitalnih geoprostornih podataka za potrebe Vojske Srbije.



Značaj uvođenja digitalne tehnološke linije za aerofoto-snimanja je i ponovno uspostavljanje sopstvenog aerofotogrametrijskog snimanja teritorije Republike Srbije. Podaci prikupljeni ovom opremom biće od koristi sistemu odbrane, ali i civilnim korisnicima u zemlji. Oprema omogućava da se celokupna teritorija Republike Srbije snima u standardnim ciklusima i time olakšava i ubrzava izrada urbanističkih planova svih opština i gradova u Srbiji. Digitalni geoprostorni podaci biće od dragocene koristi svim budućim projektantima prostornog planiranja, auto-puteva, naftovoda, gasovoda i dru-

<sup>1</sup> [www.piper.com/pages/Seneca.cfm](http://www.piper.com/pages/Seneca.cfm)

<sup>2</sup> [www.piper.com/](http://www.piper.com/)

gih infrastrukturnih objekata, što će omogućiti brz povraćaj uložених sredstava. Kompletна specifikacija opreme ADS80 (Airborne Digital Sensors-model 80)<sup>3</sup> sa pripadajućim softverom prezentirana je na sajtu proizvođača opreme: [http://www.leica-geosystems.com/en/Airborne-Sensors\\_57608.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Airborne-Sensors_57608.htm). Sa „portala“ ovog sajta, preko brzih linkova, obezbeđen je pristup, kako tehničkoj bazi podataka sistema, tako i produktima aerofoto-snimanja. Treba napomenuti da je ovaj sistem za aerofoto-snimanje jednostavan za eksploataciju i kompatibilan sa drugim poznatim sistemima iste namene. Prema ocenama stručne javnosti, sistem ADS80 sa pripadajućim softverom je vodeći u svetu – po standardnim kriterijumima za fleksibilnost, produktivnost, efikasnost, efektivnost i pouzdanost. Sistem je perspektivan, jer je u pogledu prostornog pozicioniranja kompatibilan sa GPS-om (Global Positioning System), GLONASS-om (Глобалная Навигационная Спутниковая Система) i evropskim globalnim satelitskim navigacijskim sistemom „Galileo“,<sup>4</sup> čije se aktiviranje očekuje 2014. godine. Softver implementiran sa ADS80 omogućava istovremeno korišćenje sva tri sistema za pozicioniranje tačaka na zemljinoj površini i automatskom interpolacijom obezbeđuje povećanje rezolucije aero-snimaka i tačnosti *izohipsi* pri mapiranju.

Nebojša Kljajić

### *Predstavljen novi domaći avion kobac*

„Utva Pančevo“ predstavila je početkom aprila novi tip aviona *kobac* koji će se proizvoditi u ovoj fabrici, a koji će biti namenjen za protivterorističku borbu. Ovaj avion bi početkom sledeće godine trebalo da obavi probne letove. Ovaj tip aviona biće rađen po idejnim zahtevima firme Jugoimport SDPR a zajednički je projekat „Utve“ i Vojnotehničkog instituta.

U pančevačkoj fabrici ističu da, u odnosu na ranije avione, *kobac* ima dve linije naoružanja. Njegova maksimalna brzina iznosiće 500 kilometara na čas. *Kobac* će imati napredni navigacioni sistem, kao i lako izbaciva sedišta. Postoje očekivanja da bi avion *kobac* mogao biti najisplativiji proizvod ukupne srpske odbrambene industrije.



Nebojša Gaćeša

<sup>3</sup> [http://www.leica-geosystems.com/en/Airborne-Sensors\\_57608.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Airborne-Sensors_57608.htm)

<sup>4</sup> Globani sistem za pozicioniranje „Galileo“ je u završnoj fazi razvoja.

## „Zastava kamioni“ nude Vojsci „srpski hamer“

Kragujevački „Zastava kamioni“ ponudiće Vojsci Srbije novo vozilo koje će moći da se koristi za prevoz ljudi i tereta, a takođe i kao sanitetsko vozilo.



Ovo neborbeno vozilo razvijeno je, kako se navodi, po ugledu na poznati američki „hamer“. Proizvođač se nada da će ovim vozilom konkurisati za najavljenju nabavku opreme za Vojsku Srbije, kojoj je potrebno oko 1400 takvih vozila kako bi obnovila zastareli vozni park. Nosivost vozila je 1,4 tone, ima pogon na sva četiri točka, kao i mogućnost blokade zadnjeg pogona.

Opremljeno je američkim motorom i menjačem, u zavisnosti od potreba, nemačkog ili italijanskog proizvođača. Svi ostali delovi izrađuju se u Kragujevcu. Vozilo košta oko 38.000 evra i jeftinije je od konkurentskih vozila na tržištu. Razlikovaće se od američkog, pošto će moći da preveze više ljudi i biće visoko postavljeno od podloge.

*Nebojša Gaćeša*

## Ruski tenk budućnosti<sup>5</sup>

Rusija proizvodi tenk pete generacije na bazi teške platforme *Armata* sa principijalno novim inženjersko-tehničkim rešenjima. Ovo perspektivno borbeno vozilo biće teledirigovano i opremljeno digitalnim topom. Ogladni obrazac tenka pojaviće se 2015. godine, a u serijsku proizvodnju bi trebalo da uđe godinu-dve kasnije. Ova razrada postaće prvi korak na putu ka potpuno „bespilotnom oružju“, tzv. borbenim robotima. To će postati moguće zahvaljujući primeni novih materijala, pored ostalog specijalnog oklopa. To će biti tenk sa oklopnom kapsulom koja će štititi posadu u uslovima realnih bojnih dejstava. Oklopni komplet biće izmešten van oklopne kapsule. Top će moći da vrši funkcije punjenja i gađanja automatski, bez učešća čoveka. Operater koji će se baviti navođenjem imaće samo naredbodavnu ulogu. To će biti potpuno unifikovana, automatizovana, oklopljena platforma, koja će omogućiti da se rešavaju široki zadaci u toku bojnih dejstava i postaće nova reč domaće proizvodnje tenkova.

<sup>5</sup> Glas Rusije, 27. 03. 2012.



Za postojanje teške platforme *Armata* saznalo se prošlog leta. Ona se razrađuje od 2009. godine i treba da postane baza za čitavu liniju savremenih tenkova, borbenih vozila pešadije, kao i specijalnih vozila pojedinih tenkovskih i motorizovanih brigada. Razradom projekta bavi se najveće preduzeće ruskog odbrambeno-industrijskog kompleksa Uralvagonzavod. Generalštab Rusije utvrdio je program za stvaranje čitave porodice nove oklopne tehnike na osnovu jedinstvene guseničarske platforme za kopnene trupe. To može da izmeni čitavu njihovu strukturu. Drugim rečima, nekoliko hiljada takvih vozila može da zameni desetak hiljada zastarelih tenkova savremenom tehnikom.

Izdvajanje 20 triliona rubalja ili oko 660 milijardi dolara na obnovu naoružanja do 2020. godine dovešće do kvalitativnih izmena u kompletiranju oružanih snaga Rusije novim tipovima naoružanja.

*Nebojša Gaćeša*

### *Tehnologija ruskog nevidljivog aviona<sup>6</sup>*

Jedinstveni nanoomotač za avion pete generacije *T-50* koji štiti kabinu pilota od radijskih talasa i sunčevog zračenja izrađen je u Rusiji. Signal protivničkog PVO radara zahvaljujući omotaču ne odbija se o kabinu aviona, a uređaji postavljeni unutra nevidljivi su za elektronske sisteme izviđanja. Glavna tajna omotača koji su razradili stručnjaci kompanije „Tehnologija“ iz naučnog grada Obnjinska (Kaluška oblast, centralni deo Rusije) sastoji se u tome da se ovaj sloj izrađuje od nekoliko metala – zlata, indija i olova. Debljina jednog sloja ne premašuje 30 nanometara, a čitave folije 90 nanometara. Nanometar je milijarditi deo metra, pa je sloj nemoguće videti golim okom. Nanosi se pomoću specijalnog uređaja, koji omogućava da se postigne ravnomerno raspršivanje po čitavom staklu avionske kabine. Radi pokrivanja jedne letelice potrebno je oko dva grama zlata. Na ovim omotačima radili su i Amerikanci i Sovjeti, još 80-ih godina.

<sup>6</sup> Glas Rusije, 26. 03. 2012.

Glavni zadatak prilikom konstruisanja letelica pete generacije jeste da se od radara sakrije ne samo trup aviona, nego i oprema kabine. Ako su krila i trup zatvoreni kompozitnim panelima koji „kriju“ avion, on se ipak može identifikovati kroz kabinu uz pomoć savremenih sredstava PVO. Spoj zlata, olova i indija u novom nanoomotaču bio je odabran putem selekcije spektara različitih materijala koja je trajala nekoliko godina. Najnovije dostignuće ruskih stručnjaka trebalo bi da ojača borbenu moć aviona *T-50*. Novim omotačem lovac pete generacije *T-50* biće opremljen posle letačkih ispitivanja. Serijska proizvodnja letelice planira se za 2015. godinu.

Nebojša Gaćeša

### *Najusavršenija izraelska bespilotna letelica na dodatnom ispitivanju<sup>7</sup>*

Najusavršenija izraelska bespilotna letelica tipa *heron TP* podvrgnuta je dodatnim ispitivanjima, nakon pada tokom probnog leta u vazduhoplovnoj bazi Tel Nof u centralnom delu Izraela. Ispitivanja bi trebalo da utvrde da li je pad posledica ljudske ili tehničke greške. *Heron TP* je najveća bespilotna letelica kojom raspolaže jevrejska država. Ima raspon krila 26 metara, što je veličina *boinga 737* i može da ostane u vazduhu do 45 sati. Sposobna je da nosi tovar od 1.000 kilograma i izvede razne vrste misija.

Letelica je pala tokom zajedničke operacije izraelskih vazduhoplovnih snaga i proizvođača – Izraelske aviokosmičke industrije.

U julu 2011. godine Francuska je objavila odluku da kupi takvu letelicu i procenjivalo se da bi sporazum o prodaji mogao dostići 500 miliona dolara tokom godina i dovesti do dodatnih ugovora za izraelsku avio-industriju sa drugim zemljama, pre svega Nemačkom. Strani mediji su izvestili da letelica ima sposobnost da ispaljuje rakete, a u Izraelu se o njoj govorilo kao o bespilotnom avionu koji može da dosegne do Irana. Planirano je da postane operativna do kraja ove godine.

Nebojša Gaćeša

### *Amerikanci izradili metak sa laserskim navođenjem<sup>8</sup>*

Američki inženjeri izradili su metak sa navođenjem koji može da pogodi metu udaljenju 1,6 kilometara, čiji je princip sličan principu raketnog projektila na navođenje.

Inženjeri Nacionalne laboratorije Sandia kažu da metak može sam da se okreće i rotira na putu ka laserom navođenoj meti. Na putu do mete zrno može da napravi čak do 30 izmena kursa u sekundi. Zrno kalibra 12,7 milimetara moći će da se koristi u mitraljezima, tako da će vojnici moći brže i preciznije da pogadaju zadate mete.

<sup>7</sup> Blic, 29. 01.2012.

<sup>8</sup> Beta, 02. 02. 2012.



Testiranja su pokazala da zrno može da postigne brzinu od 730 metara u sekundi. U Sandiji kažu da su uvereni da će uspeti da postignu standardnu brzinu za municiju koja je veća za nekoliko stotina metara u sekundi.

Kompjuterska simulacija pokazala je da nenavodjen metak u stvarnim uslovima može da promaši metu koja je udaljena 800 metara. Navodjeni metak bi na toj udaljenosti pogodio metu veličine dvadesetak centimetara.

Sam dizajn metka uključuje i optički senzor u vrhu zrna koji detektuje laserski zrak na meti. Senzor šalje informacije elektronicima koja kontroliše elektromagnetni mehanizam. Mehanizam ima tanka krilca koja omogućuju navođenje metka ka meti.

Laboratorija Sandia trenutno traži većeg partnera koji će omogućiti da testiranja prototipa metka budu dovedena do kraja, kako bi se pojavio na tržištu.

Potencijalni korisnici mogu biti vojske, policijski službenici ili rekreativni sportisti.

*Nebojša Gaćeša*

### *SAD razvija dron na nuklearni pogon*

Kako navodi britanski Gardijan, američki naučnici su do prošle godine radili na razvoju bespilotne letelice s nuklearnim pogonom. Bespilotne letelice bi se uz pomoć nuklearnog goriva u vazduhu mogle zadržati mesecima, za razliku od sadašnjih koje to mogu najviše nekoliko dana, no manje su sigurne od konvencionalnih letelica i češće se ruše. Mogućnost da se sruši nuklearni dron je, međutim, zastrašujuća. U slučaju rušenja nuklearni dron bi postao prava „prljava bomba“, a uz to bi mogao pasti u pogrešne ruke, kao što pokazuje primer Sentinela i Irana. Naime, kao špijunsko oruđe, dron se spominjao prošle godine u Iranu, kad je ta zemlja oborila letelicu RK-170 Sentinel i javno ga pokazala. Gardijan navodi da su planovi zasad odbačeni i zbog očekivanog snažnog protivljenja javnosti i dela struke.





Popularno nazvane dronovima, bespilotne letelice danas su glavno oružje američkog rata protiv Al-Kaide. Mnogi se slažu da je u njima budućnost ratovanja uopšte. Američki agenti gotovo svakodnevno ih koriste i za akcije protiv militantata u izolovanim područjima Pakistana, a sve češće patroliraju nad Jemenom i Somalijom. Ova letelica je imala grešaka u svojim ubilačkim misijama, pošto su pogrešne procene rezultirale civilnim žrtvama. Procenjuje se kako su najmanje trećina žrtava dronova civili. Letelicama se upravlja iz borbenih centara, relativno su jeftine, koriste se za likvidacione i špijunske misije. Prema mišljenju korisnika, bespilotne letelice imaju tri nedostatka: ne mogu optimalno dugo pratiti potencijalne mete jer se moraju vraćati u bazu radi goriva, nemaju dovoljno snage za korišćenje sofisticiranih nadzornih sistema i oružja, imaju skromne komunikacione kapacitete. Prema navodima zvaničnika, projekat dizajna nuklearnog drona je dovršen, ali se nikad nije pristupilo izgradnji ili testiranju nekog dela za letelicu. Po svoj prilici, rezultati projekta korišćiću se za iduću generaciju dronova. Poznato je kako je kompanija Northrop Grumman još 80-tih godina prošlog veka radila na letelicama sa nuklearnim gorivom. Dronovi na nuklearni pogon samo su jedan od novih odbrambenih projekata koji, kako se čini, neće, ili barem ne tako skoro, videti svetlost dana. Ipak, da je budućnost ratovanja u bespilotnim letelicama moguće je iščitati iz planova američke vojske. Tako je objavljeno kako će se smanjivati broj vojnika, te da Pentagon planira pojačati svoju bespilotnu flotu za 30 odsto. Već sada američka vojska obučava više osoba za upravljanje dronovima, nego pilota koji će upravljati sedeći u letelicama.

*Nebojša Gaćeša*

### *Indija uspešno testirala presretač balističkih raketa<sup>9</sup>*

U Indiji je uspešno testiran presretač namenjen da detektuje i uništi usmerene balističke rakete, saopštili su zvaničnici ove zemlje. Po rečima zvaničnika centra za Odbrambena istraživanja i organizaciju razvoja (DRDO), na testu sprovedenom u državi Orisa ovim presretačem uspešno su uništene dve nuklearne rakete.

<sup>9</sup> Tanjug, 11. 02. 2012.

Radari su ispratili pad dve onespobijene rakete i utvrdili da su pale u Bengalski zaliv. „Indija je peta zemlja koja ima mogućnost odbrane od balističkih raketa“, rekao je Ravi Gupta iz DRDO.

Ovaj odbranbeni štit DRDO je razvio u saradnji sa Izraelom i Francuskom.

Iz nuklearno naoružanog Pakistana, koji je vodio tri rata sa Indijom od kada je proglašena nezavisnost 1947. godine, poručeno je da bi novi indijski antiraketni program mogao da dovede do novog nadmetanja u razvoju naoružanja u regionu.

Sličan test se u Indiji 2010. godine neuspješno završio nakon što je presretač izgubio trag rakete.

Indija je najavila da će uskoro testirati nuklearne rakete sa dometom preko 5.000 kilometara, a trenutno *Agni-IV* ima najveći domet – 3.500 kilometara, prenosi AFP.

*Nebojša Gaćeša*

### *Novi softver poboljšao izraelski protivraketni sistem Iron Dome<sup>10</sup>*

Izraelski protivraketni sistem odbrane *Iron Dome* (Gvozdena kupola) presreo je 79% raketa tokom četvorodnevno sukoba sa palestinskim militantima u Pojasu Gaze, što predstavlja napredak u odnosu na 75% učinka u 2011. godini. Tri baterije sistema *Iron Dome* presrelo je 56 raketa od 71 ispaljene rakete na oblast koju je taj sistem štitio u periodu od 9. do 13. marta 2012. godine.



*Presretački projektil ispaljen sa lanseira Iron Dome blizu grada Aškelon*

<sup>10</sup> *Jane's Defence Weekly*, Volume 49, Issue 12, 21 March 2012.

Nasilje je otpočelo 9. marta 2012. nakon udara izraelskih vazduhoplovnih snaga na Pojas Gaze u kojem je poginuo jedan od rukovodilaca palestinskih militanata, koji je, prema izveštaju izraelskih oružanih snaga, planirao napad na Izrael duž egipatsko-izraelske granice. Na Izrael je ispaljeno preko 200 raketa tokom četiri dana okršaja, koji je okončan prekidom vatre 13. marta zahvaljujući posredovanju Egipta. Većinu projektila predstavljale su improvizovane rakete kratkog dometa koje su lansirale pristalice Palestinskog islamskog džihada, militantne organizacije koju podržava Iran. Međutim, korišćene su, takođe, i artiljerijske rakete kalibra 107 mm i 122 mm. U izraelskim oružanim snagama veruje se da Palestinski islamski džihad u svom posedu ima izvesni broj iranskih raketa kalibra 333 mm *Fajr-5* kojima se može gađati Tel Aviv, ali one nisu korišćene tokom okršaja.

Sistem *Iron Dome* nije reagovao na svaku protivničku ispaljenu raketu, već su samo one rakete koje su ugrožavale štićenu zonu označavane kao ciljevi za presretanje. „Rezultati su impresivni i prevazišli su naša očekivanja“, izjavio je jedan izraelski viši oficir iz diviziona PVO, koji u svom sastavu ima *Iron Dome*. Prema njegovoj izjavi, instalacija novog softverskog bloka omogućila je svakoj bateriji da poveća svoju zonu zaštite, što je doprinelo poboljšanju efektivnosti tog sistema u poređenju sa 2011. godinom, „a takođe imamo i više iskustva u korišćenju ovog sistema, a znamo i kako da ga napregnemo do krajnjih granica“. Početkom aprila 2012. godine u operativnu upotrebu u izraelskoj vojsci ušla je i četvrta baterija *Iron Dome*.

Izraelska kompanija *Rafael Advanced Defense Systems*, zbog problema raketiranja juga Izraela iz Pojasa Gaze i severa iz Libana, namenski je projektovala *Iron Dome* kao mobilni sistem PVO za presretanje i uništavanje raketa kratkog dometa i artiljerijskih granata, ispaljenih sa udaljenosti od 4 do 70 km, čije ih trajektorije leta usmeravaju na naseljena mesta u svim vremenskim uslovima. Sistem je u izraelskoj vojsci u operativnoj upotrebi od marta 2011. godine, a prvo uspešno dejstvo imao je već narednog meseca, kada je 7. aprila oborio raketu ispaljenu iz Pojasa Gaze na grad Aškelon.

Uspeh protivraketnog sistema *Iron Dome* pomogao je da se smanji pritisak na izraelsku vladu u pogledu eskalacije sukoba kao odgovora na raketne napade iz Pojasa Gaze.

Milan Babić

### *Budućnost je naklonjena mikroletelici i rotirajućem krilu<sup>11</sup>*

Tržište bespilotnih letelica postaje sve dinamičnije i, prema predviđanjima analitičara iz *IHS Jane's*, u narednih 10 godina narašće na vrednost od milijardu američkih dolara uz godišnju stopu rasta od 10%.

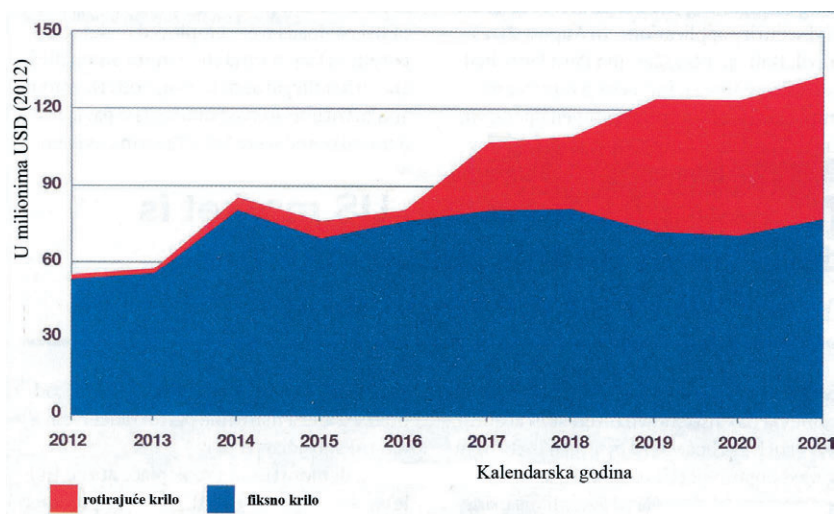
Pored vojne primene, bespilotne letelice se sve više koriste u domenu policijskih aktivnosti na održavanju reda, spasavanja prilikom raznih katastrofa, protivterorističkih akcija i zaštiti kritičnih nacionalnih infrastrukture, ali su od naročite koristi u delatnosti obezbeđenja nacionalnih granica. Vrlo efikasno se popunjavaju praznine u nadzoru granice u udaljenim i teško pristupačnim oblastima.

<sup>11</sup> *Jane's Defence Weekly*, Volume 49, Issue 12, 21 March 2012.

Za izvršavanje tih zadataka razvijeni su elektro-optički senzori koji sa visine od 18.000 m mogu da identifikuju objekat veličine kutije za mleko, a, pored toga, u realnom vremenu prenose preciznu sliku zemaljskom kontrolnom centru, sa koga se, u slučaju potrebe, informacije odmah dostavljaju lokalnoj patroli na ugroženom graničnom sektoru. Tu vrstu posla uspešno obavlja letelica *Predator B*, za potrebe američke Agencije za carinsku i pograničnu zaštitu, koja može leteti više od 30 časova bez dopunjavanja goriva, što je mnogo više u odnosu na prosečno vreme leta helikoptera od nešto više od dva časa. Dalje unapređenje te klase letelica biće materijalizovano u tipu *Predator C Avenger* (Osvetnik), višenamenskoj bespilotnoj letelici sa mogućnošću smeštaja oko 1.500 kg korisnog tereta u trupu i oko 800 kg na podvesnim tačkama krila, za izvršavanje osmatračkih i izviđačkih zadataka, kao i preciznih vatrenih udara iz vazdušnog prostora po ciljevima na kopnu i moru.

Privatne kompanije su prilično brzo usvojile bespilotne letelice za potrebe nadgledanja infrastrukture, naročito naftovoda, gasovoda i instalacija u blizini obale u sektorima gde je nadzor nepraktično realizovati statičkim kamerama. U 2012. godini izdvajanja za potrebe bezbednosti dopremanja nafte i gasa dostići će iznos od 29,2 milijardi US dolara, dok će cene bespilotnih letelica pasti, što će dovesti do povećanja intenziteta njihove upotrebe.

Bespilotne letelice sa fiksnim krilima polako se približavaju zenitu svojih mogućih varijanti upotrebe, lagano istiskujući letelice sa ljudskom posadom iz oblasti u kojima su one do skoro suvereno vladale.



*Predviđanje svetskog tržišta BPL za potrebe bezbednosti  
unutar sopstvenih nacionalnih granica*

Relativno nova i vrlo perspektivna oblast upotrebe ovih letelica jeste održavanje javnog reda i mira, pretežno u urbanim područjima. Specifični zahtevi za izvršavanje zadataka iz tog domena – lebđenje, rotacija oko vertikalne ose i osmatranje sa distance nametnuli su, kao pogodno rešenje, platformu sa rotira-

jućim krilom. U narednih 10 godina porudžbine bespilotnih letelica za potrebe policije i bezbednosti unutar nacionalnih granica vrlo brzo će da rastu, u najvećoj meri zbog velikog interesovanja za platformama sa rotirajućim krilom, što će izazvati velike promene na tržištu. Predviđa se da će 2021. godine platforme sa fiksnim krilom, sa sadašnje apsolutno dominantne pozicije na tržištu bespilotnih letelica, pasti na 58% udela na tržištu, dok će platforme sa rotirajućim krilom osvojiti 42% tržišta.

Rotirajuće-pokretno krilo omogućava smanjenje gabarita letelice do nivoa minijaturizacije i drugačiji profil leta.

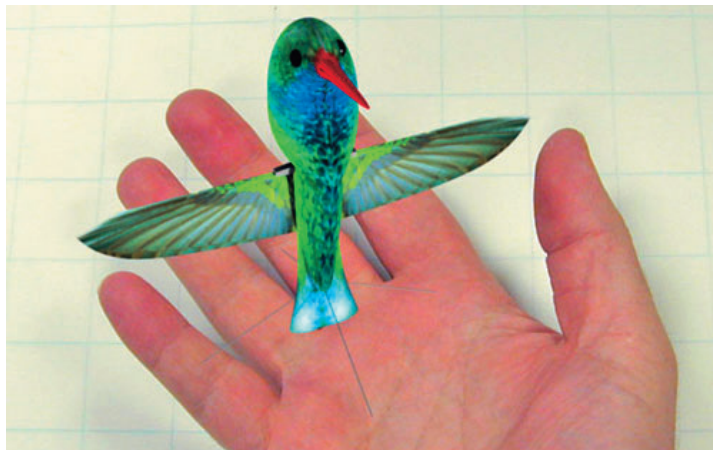
Jedan od prvih primera operativne upotrebe mikroletelice desio se u Londonu, avgusta 2008. godine, tokom ceremonije preuzimanja Olimpijskih igara. U Bakingemsku palatu je instalirana oprema za upotrebu mikroletelice *AirRobot AR 100B* za nadziranje velikih skupova. Za tu priliku okupilo se 40.000 ljudi. Zbog bezbednosti samih učesnika osmatranje nije realizovano letenjem direktno iznad ljudske mase već sa distance, pod uglom od 45 stepeni u neprekidnom trajanju od pet časova. Za potrebe donošenja brze odluke na osnovu neposrednog uvida u realnom vremenu, slika situacije se prenosila na zemlju višim rukovodiocima zaduženim za taj događaj. Policijska operacija obezbeđenja tog događaja uspešno je okončana i to je bila prva upotreba bespilotnih letelica za civilne potrebe u prestonici Ujedinjenog Kraljevstva.



*Operativna upotreba mikroletelica tipa „oči na nebu“*

Ta uspešna premijera dala je veliki zamah razvoju mikroletelica. Njihova masovna upotreba očekuje se tokom Olimpijskih igara u Londonu jula 2012. godine, kojima će, veruje se, prisustvovati oko milion gledalaca i učesnika tog događaja. Tada će se koristiti umreženi sistem različitih platformi: eksperimentalna bespilotna letelica GA22, tipa cepelina, dužine 22 m, za širokougaono osmatranje, spregnuta sa letelicama fiksnog krila za fokusirani nadzor i mikroletelice sa rotirajućim krilom za neposredni uvid. Taj javni događaj imaće veliki uticaj na dalji razvoj civilne upotrebe integrisanog sistema različitih tipova bespilotnih letelica.

Američka Agencija za napredne istraživačke projekte iz domena odbrane (*Defense Advanced Research Projects Agenci – DARPA*) finansira jedan od najinovativnijih projekata iz domena mikroletelica – *Nano kolibri*. Reč je o sićušnoj letelici firme „AeroVironment“, čiji su projektanti imali za uzor sve karakteristike ptice kolibri: vizuelno osmatranje, veličinu, način i mogućnosti kretanja.



*Nano kolibri – mikroletelica tipa mehaničke ptičice*

Njena ukupna letna masa je svega 19 g, u koju je uračunata i baterija, motor, komunikacioni sistem i korisni teret – video-kamera. Ona u potpunosti oponaša svoj prirodni uzor, pa je to, u punom smislu reči, biomimetička varijanta mikroletelice. Letenje ostvaruje mahanjem krila koje joj omogućava: lebdenje, rotiranje oko vertikalne ose, let napred-nazad i gore-dole, brzinom od 17 km/h. Osmatračke zadatke jednako efikasno izvršava u spoljnoj i zatvorenoj sredini – ulaskom kroz otvorena vrata ili prozor. Integralni deo letelice je sklop za prilemljenje u vidu četiri tanke žice pod uglom od 45 stepeni, u varijanti poletanja-sletanja na ravnu površinu, odnosno bez tog sklopa, u varijanti poletanja iz ruke (drži se prstima za rep pri poletanju ili hvata za rep nakon okončanja leta).

Ovakva vrsta biomimetičkih mikroletelica ušla bi u operativnu upotrebu 2015. godine i postaće nezamenljivo sredstvo za otkrivanje tragova nuklearnog, hemijskog i biološkog oružja uz pomoć svojih ugrađenih senzora. Naučnici Univerziteta u Harvardu su, februara 2012. godine, predložili radikalno novi način jeftine i masovne proizvodnje ovakvih vrsta letelica, korišćenjem presovanih ugljeničkih vlakana i plastične oplata, što će omogućiti inovacije na operativno-taktičkom nivou upotrebe, u vidu „rojeva“ biomimetičkih mikroletelica.

*Milan Babić*



## 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 systemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava naoružanja i vojne opreme, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, saglasno odluci iz člana 27. stav 1. tačka 4), a po pribavljenom mišljenju iz člana 25. stav 1. tačka 5) Zakona o naučnoistraživačkoj delatnosti („Službeni glasnik RS“, br. 110/05, 50/06-isp. i 18/10), utvrdilo je kategorizaciju Vojnotehničkog glasnika, za 2011. godinu:

za oblast **osnovna istraživanja**:

– na listi časopisa za matematiku, računarske nauke i mehaniku: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M<sub>52</sub>),

– na listi časopisa za geonauke i astronomiju: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M<sub>52</sub>),

za oblast **tehnološki razvoj**:

– na listi časopisa za elektroniku i telekomunikacije: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M<sub>52</sub>),

– na listi časopisa za mašinstvo: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M<sub>52</sub>),

– na listi časopisa za materijale i hemijske tehnologije: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M<sub>52</sub>),

– na listi časopisa za industrijski softver i informatiku: kategorija naučni časopis (M<sub>53</sub>).

Usvojene liste domaćih časopisa za 2011. godinu mogu se videti na adresi:

[http://147.91.185.80/predlog\\_sajta/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23&Itemid=109](http://147.91.185.80/predlog_sajta/index.php?option=com_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23&Itemid=109).

Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti i na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku):

<http://nainfo.nb.rs/kobson.82.html> ili <http://nainfo.nb.rs/kategorizacija>.

Pristup ovoj stranici dopušten je samo ovlašćenim korisnicima Akademske mreže Srbije (AMRES).

Kategorizacija časopisa izvršena je prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, koji je propisao Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (Službeni glasnik RS, broj 38/2008). Detaljnije informacije mogu se pronaći na sajtu Ministarstva za nauku: [http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com\\_content&task=view&id=621&Itemid=37](http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37).

U skladu sa ovim pravilnikom i tabelom o vrsti i kvantifikaciji individualnih naučnoistraživačkih rezultata (u sastavu Pravilnika), objavljeni rad u *Vojnotehničkom glasniku* vrednuje se sa 1,5 bod (kategorija M<sub>52</sub>) i 1 bod (kategorija M<sub>53</sub>).

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 e-Ur: Elektronsko uređivanje, koji je razvio Centar za evaluaciju u obrazovanju i nauci (CEON).

Pristup i registracija za servis vrše se na sajtu Vojnotehničkog glasnika [www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs), preko stranice SCIndeks, opcija e-Ur ([scindeks-eur.ceon.rs/index.php/vtg](http://scindeks-eur.ceon.rs/index.php/vtg)).

Detaljno uputstvo o registraciji i prijavi za servis nalazi se na sajtu [www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs), stranica Uputstvo za e-Ur: Elektronsko uređivanje.

Vojnotehnički glasnik objavljuje članke na srpskom, engleskom, ruskom, nemačkom ili francuskom jeziku (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, prored exactly).

Članak treba da sadrži sažetak sa ključnim rečima, uvod, razradu, zaključak, literaturu i rezime sa ključnim rečima na engleskom jeziku (bez numeracije naslova i podnaslova). Obim članka treba da bude 24 stranice formata A4.

Obrazac za pisanje članka u elektronskoj formi može se preuzeti na adresi <http://www.vtg.mod.gov.rs>, sa stranice OBRAZAC ZA PISANJE ČLANAKA.

#### **Naslov**

Naslov treba da odražava temu članka. U interesu je časopisa i autora da se koriste reči prikladne za indeksiranje i pretraživanje. Ako takvih reči nema u naslovu, poželjno je da se pridoda i podnaslov. Naslov treba da bude preveden i na engleski jezik.

Ovi naslovi ispisuju se ispred sažetka na odgovarajućem jeziku.

#### **Tekući naslov**

Tekući naslov se ispisuje u zaglavlju svake stranice članka radi lakše identifikacije, posebno kopija članaka u elektronskom obliku. Sadrži prezime i inicijal imena autora (ako autora ima više, preostali se označavaju sa „et al.“ ili „i dr.“), naslove rada i časopisa i kolicaciju (godina, volumen, sveska, početna i završna stranica). Naslovi časopisa i članka mogu se dati u skraćenom obliku.

#### **Ime autora**

Navodi se puno prezime i ime (svih) autora. Veoma je poželjno da se navedu i srednja slova autora. Prezimeni i imena domaćih autora uvek se ispisuju u originalnom obliku (sa srpskim dijakritičkim znakovima), nezavisno od jezika na kojem je napisan rad.

#### **Naziv ustanove autora (afilijacija)**

Navodi se pun (zvanični) naziv i sedište ustanove u kojoj je autor zaposlen, a eventualno i naziv ustanove u kojoj je autor obavio istraživanje. U složenim organizacijama navodi se ukupna hijerarhija (na primer, Vojna akademija, Katedra vojnih elektronskih sistema, Beograd). Bar jedna organizacija u hijerarhiji mora biti pravno lice. Ako autora ima više, a neki potiču iz iste ustanove, mora se, posebnim oznakama ili na drugi način, naznačiti iz koje od navedenih ustanova potiče svaki od navedenih autora. Afilijacija se ispisuje neposredno nakon imena autora. Funkcija i zvanje autora se ne navode.

#### **Kontakt podaci**

Adresa ili e-adresa autora daje se u napomeni pri dnu prve stranice članka. Ako autora ima više, daje se samo adresa jednog, obično prvog autora.

#### **Kategorija (tip) članka**

Kategorizacija članaka obaveza je uredništva i od posebne je važnosti. Kategoriju članka mogu predlagati recenzenti i članovi uredništva, odnosno urednici rubrika, ali odgovornost za kategorizaciju snosi isključivo glavni urednik.

Članci u časopisima se razvrstavaju u sledeće kategorije:

Naučni članci:

1. originalan naučni rad (rad u kojem se iznose prethodno neobjavljivani rezultati sopstvenih istraživanja naučnim metodom);
2. pregledni rad (rad koji sadrži originalan, detaljan i kritički prikaz istraživačkog problema ili područja u kojem je autor ostvario određeni doprinos, vidljiv na osnovu autocitata);
3. kratko ili prethodno saopštenje (originalni naučni rad punog formata, ali manjeg obima ili 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 adresi <http://www.vtg.mod.gov.rs>, na stranici SPISAK RECENZENATA.

Ako se u časopisu objavljuju i prilozi vannaučnog karaktera, naučni članci treba da budu grupisani i jasno izdvojeni u prvom delu sveske.

Stručni članci:

1. stručni rad (prilog u kojem se nude iskustva korisna za unapređenje profesionalne prakse, ali koja nisu nužno zasnovana na naučnom metodu);
2. informativni prilog (uvodnik, komentar i sl.);
3. prikaz (knjige, računarskog programa, slučaja, naučnog događaja, i sl.).

#### **Jezik rada**

Jezik rada može biti srpski, engleski ili drugi jezik koji se koristi u međunarodnoj komunikaciji u određenoj naučnoj oblasti (ruski, nemački ili francuski).

Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez skraćenica (osim standardnih). Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označava se rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama.

#### **Sažetak (apstrakt) i rezime**

Sažetak (apstrakt) jeste kratak informativan prikaz sadržaja članka koji čitaocu omogućava da brzo i tačno oceni njegovu relevantnost. U interesu je uredništava i autora da sažetak sadrži termine koji se često koriste za indeksiranje i pretragu članaka. Sastavni delovi sažetka su cilj istraživanja, metodi, rezultati i zaključak. Sažetak treba da ima od 100 do 250 reči i treba da se nalazi između zaglavlja (naslov, imena autora i dr.) i ključnih reči, nakon kojih sledi tekst članka. Ako je rad napisan na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom) jeziku poželjno je da se, pored sažetka na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom), daje i sažetak u proširenom obliku na engleskom jeziku – kao tzv. rezime (summary). Ovakav rezime treba da bude na kraju članka, nakon odeljka Literatura. Važno je da rezime bude u strukturiranom obliku, a njegova dužina može biti do 1/10 dužine članka (opširniji je od sažetka sa početka članka). Početak ovog rezimea može biti prevedeni sažetak (sa početka članka), a zatim treba da slede prevedeni glavni naslovi, podnaslovi i osnove zaključka članka (literatura se ne prevodi). Potrebno je da se u strukturiranom rezimeu prevede i deo teksta ispod naslova i podnaslova, vodeći računa da on bude proporcionalan njihovoj veličini, a da odražava suštinu. Nakon rezimea na engleskom jeziku (proširenog sažetka) dodaje se njegov prevod na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom), da bi redakcija izvršila proveru i lekturu.

#### **Ključne reči**

Ključne reči su termini ili fraze koje adekvatno predstavljaju sadržaj članka za potrebe indeksiranja i pretraživanja. Treba ih dodeljivati oslanjajući se na neki međunarodni izvor (popis, rečnik ili tezaurus) koji je najšire prihvaćen ili unutar date naučne oblasti. Za npr. nauku uopšte, to je lista ključnih reči Web of Science. Broj ključnih reči ne može biti veći od 10, a u interesu je uredništva i autora da učestalost njihove upotrebe bude što veća. Ključne reči daju se na jeziku na kojem je napisan članak (sažetak) i na engleskom jeziku. U članku se pišu neposredno nakon sažetka, odnosno nakon rezimea.

#### **Datum prihvatanja članka**

Datum kada je uredništvo primilo članak, datum kada je uredništvo konačno prihvatilo članak za objavljivanje, kao i datumi kada su u međuvremenu dostavljene eventualne ispravke rukopisa navode se hronološkim redosledom, na stalnom mestu, po pravilu na kraju članka.

### **Zahvalnica**

Naziv i broj projekta, odnosno naziv programa u okviru kojeg je članak nastao, kao i naziv institucije koja je finansirala projekat ili program, navodi se u posebnoj napomeni na stalnom mestu, po pravilu pri dnu prve strane članka.

### **Prethodne verzije rada**

Ako je članak u prethodnoj verziji bio izložen na skupu u vidu usmenog saopštenja (pod istim ili sličnim naslovom), podatak o tome treba da bude naveden u posebnoj napomeni, po pravilu pri dnu prve strane članka. Rad koji je već objavljen u nekom časopisu ne može se objaviti u *Vojnotehničkom glasniku* (preštampati), ni pod sličnim naslovom i izmenjenom obliku.

### **Tabelarni i grafički prikazi**

Poželjno je da naslovi svih prikaza, a po mogućstvu i tekstualni sadržaj, budu dati dvojezično, na jeziku rada i na engleskom jeziku.

Tabele se pišu na isti način kao i tekst, a označavaju se rednim brojevima sa gornje strane. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u programu word ili corel. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu.

### **Navođenje (citiranje) u tekstu**

Način pozivanja na izvore u okviru članka mora biti jednoobrazan. U samom tekstu, u uglastim zagrada, obavezno napisati redni broj iz odeljka Literatura sa kraja članka, na mestu na kojem se vrši pozivanje, odnosno citiranje.

### **Napomene (fusnote)**

Napomene se daju pri dnu strane na kojoj se nalazi tekst na koji se odnose. Mogu sadržati manje važne detalje, dopunska objašnjenja, naznake o korišćenim izvorima (na primer, naučnoj građi, priručnicima), ali ne mogu biti zamena za citiranu literaturu.

### **Lista referenci (literatura)**

Citirana literatura obuhvata, po pravilu, bibliografske izvore (članke, monografije i sl.) i daje se isključivo u zasebnom odeljku članka, u vidu liste referenci. Reference se nabrajaju redosledom kojim se navode u tekstu. Reference se ne prevode na jezik rada i navode se u uglastim zagrada. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdanja, kao i broj stranice. Naslovi citiranih domaćih časopisa daju se u originalnom, punom ili skraćenom, ali nikako u prevedenom obliku. Pri navođenju internet sajta kao literature navodi se i datum korišćenja. Obavezno je pozivanje na literaturu u samom tekstu članka (takođe se navodi brojevima u uglastim zagrada). Brojevi treba da odgovaraju spisku literature koji je dat u zasebnom odeljku, pri kraju članka.

Veoma je preporučljiva upotreba punih formata referenci koje podržavaju vodeće međunarodne baze namenjene vrednovanju, kao i Srpski citatni indeks, a propisani su uputstvima:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research Papers i
7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Pu-

blishers.

Takođe, prihvaćeni su i formati dati u uputstvima:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide i
2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

Nestandardno, nepotpuno ili nedosledno navođenje literature u sistemima vrednovanja časopisa smatra se dovoljnim razlogom za osporavanje naučnog statusa časopisa.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U propratnom pismu navode se i podaci autora: ime, srednje slovo, prezime, čin, zvanje, e-mail, adresa poslodavca (VP), kućna adresa, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Ako je više autora članka, u propratnom pismu se navodi pojedinačni procentualni udeo radi obračuna honorara.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije honoriraju se prema važećim propisima.

Adresa redakcije: Vojnotehnički glasnik, 11000 Beograd, Braće Jugovića 19.

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

Odgovorni urednik  
Nebojša Gaćeša  
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs  
tel.: 011/3349-497,  
064/8080-118

## CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Act on scientific journal editing of the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, No 110-00-17/2009-01 of 9<sup>th</sup> 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](http://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 and Science of the Republic of Serbia classified the *Military Technological Courier* for the year 2011

in the field **fundamental research**:

– on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics: category: scientific periodical of national interest (M<sub>52</sub>),

– on the list of periodicals for earth sciences and astronomy: category: scientific periodical of national interest (M<sub>52</sub>),

in the field **technological development**

– on the list of periodicals for electronics and telecommunications, category: scientific periodical of national interest (M<sub>52</sub>),

– on the list of periodicals for mechanical engineering, category: scientific periodical of national interest (M<sub>52</sub>),

– on the list of periodicals for materials and chemical technology, category: scientific periodical of national interest (M<sub>52</sub>),

– on the list of periodicals for industrial software and IT, category: scientific periodical (M<sub>53</sub>).

The approved lists of national periodicals for the year 2010 can be viewed at:

[http://147.91.185.80/predlog\\_sajta/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23&Itemid=109](http://147.91.185.80/predlog_sajta/index.php?option=com_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23&Itemid=109).

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition), <http://nainfo.nb.rs/kobson.82.html> or <http://nainfo.nb.rs/kategorizacija>. The access to this web page is possible only from computers linked to the Internet via the Academic computer network.

The periodical is categorized in compliance with the Regulations on the procedure and method of evaluation and quantitative formulation of scientific and research results of researchers, stipulated by the National Council for Scientific and Technological Development (*Official Gazette of RS*, No 38/2008). More detailed information can be found on the website of the Ministry of Science:

[http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com\\_content&task=view&id=621&Itemid=37](http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37).

In accordance with the Regulations and the table about types and quantification of individual scientific and research results (as a part of the Regulations), a paper published in the *Military Technical Courier* scores 1,5 (one and a half) point (category M<sub>52</sub>) and 1 (one) point (category M<sub>53</sub>).

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 e-Ur (Electronic editing) system, 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 SCIndex, option e-Ur (scindeks-eur.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.

The Military Technical Courier publishes articles in Serbian, English, Russian, German or French, using Arial and a font size of 11pt with Exact 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:

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

#### **Title**

The title should be informative. It is in both Journal's and author's best interest to use terms suitable for indexing and word search. If there are no such terms in the title, the author is strongly advised to add a subtitle. The title should be given in English as well.

The titles precede the abstract and the summary in an appropriate language.

#### **Letterhead title**

The letterhead title is given at a top of each page for easier identification of article copies in an electronic form in particular. It contains the author's surname and first name initial (for multiple authors add "et al"), article title, journal title and collation (year, volume, issue, first and last page). The journal and article titles can be given in a shortened form.

#### **Author's name**

Full name(s) of author(s) should be used. It is advisable to give the middle initial. Names are given in their original form (with diacritic signs if in Serbian).

#### **Author's affiliation**

The full official name and seat of the author's affiliation is given, possibly with the name of the institution where the research was carried out. For organizations with complex structures, give the whole hierarchy (for example, Military Academy, Department for Military Electronic Systems, Belgrade). At least one organization in the hierarchy must be a legal entity. When some of multiple authors have the same affiliation, it must be clearly stated, by special signs or in other way, which department exactly they are affiliated with. The affiliation follows the author's name. The function and title are not given.

#### **Contact details**

The postal address or the e-mail address of the author (usually of the first one if there are more authors) is given in the footnote at the bottom of the first page.

#### **Type of articles**

Classification of articles is a duty of the editorial staff and is of special importance. Referees and the members of the editorial staff, or section editors, can propose a category, but the editor-in-chief has the sole responsibility for their classification.

Journal articles are classified as follows:

Scientific articles:

1. Original scientific paper (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);
2. Survey paper (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution visible through his self-citation);

3. Short or preliminary communication (original scientific paper of full format but of a smaller extent or of a preliminary character);

4. Scientific critique or forum (discussion on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and commentaries.

Exceptionally, in particular areas, a scientific paper in the Journal can be in a form of a monograph or a critical edition of scientific data (historical, archival, lexicographic, bibliographic, data survey, etc.) which were unknown or hardly accessible for scientific research.

Papers classified as scientific must have at least two positive reviews.

The list of referees of the Military Technical Courier can be viewed at:

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

If the journal contains non-scientific contributions as well, the section with scientific papers should be clearly denoted in the first part of the Journal.

Professional articles:

1. Professional paper (contribution offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);

2. Informative contribution (editorial, commentary, etc.);

3. Review (of a book, software, case study, scientific event, etc.).

#### **Language**

The article can be in Serbian, English or other language used in international communication in a particular scientific field (Russian, German or French).

The grammar and style of the article should be of good quality. The systematized text should be without abbreviations (except standard ones). All measurements must be in SI units. The sequence of formulae is denoted in Arabic numerals in parentheses on the right-hand side.

#### **Abstract and summary**

An abstract is a concise informative presentation of the article content for fast and accurate evaluation of its relevance. It is both in the Editorial Office's and the author's best interest for an abstract to contain terms often used for indexing and article search. The abstract describes the purpose of the study and the methods, outlines the findings and state the conclusions. A 100- to 250- word abstract should be placed between the title and the keywords with the body text to follow. Besides an abstract in Serbian (Russian, German or French), articles in Serbian (Russian, German or French) are advised to have a summary in English, at the end of the article, after the Reference list. The summary should be structured and long up to 1/10 of the article length (it is more extensive than the abstract). It can start with the translated Serbian (Russian, German or French) abstract from the beginning of the article with translated main headings, subheadings and major conclusions to follow (Reference list is not translated). The structured summary should also contain the proportional informative parts of the text below the headings and subheadings. The summary in English is followed by its Serbian (Russian, German or French) version for the Editorial Office to perform checking and proofreading.

#### **Keywords**

Keywords are terms or phrases showing adequately the article content for indexing and search purposes. They should be allocated heaving in mind widely accepted international sources (index, dictionary or thesaurus), such as the Web of Science keyword list for science in general. The higher their usage frequency is, the better. Up to 10 keywords immediately follow the abstract and the summary, in respective languages.

#### **Article acceptance date**

The date of the reception of the article, the dates of submitted corrections in the manuscript (optional) and the date when the Editorial Board accepted the article for publication are all given in a chronological order at the end of the article.

### Acknowledgements

The name and the number of the project or programme within which the article was realised is given in a separate note at the bottom of the first page together with the name of the institution which financially supported the project or programme.

### Article preliminary version

If an article preliminary version has appeared previously at a meeting in a form of an oral presentation (under the same or similar title), this should be 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. When citing references in the text, use the reference number set in square brackets from the Reference list at the end of the article.

### Footnotes

Footnotes are given at the bottom of the page with the text they refer to. They can contain less relevant details, additional explanations or used sources (e.g. scientific material, manuals). They cannot replace the cited literature.

### Reference list (Literature)

The cited literature encompasses bibliographic sources such as articles and monographs and is given in a separate section in a form of a reference list. References, quoted in square brackets, are not translated to the language of the article. A bibliographic entry for a book contains the author's surname and first name initial, book title, publisher, place and year of publication. A bibliographic entry for an article contains the author's surname and first name, article title, journal title, issue number, year of publication and page numbers. Titles of cited national journals are given in their full or shortened original form, but never translated. Web references are given with the retrieval date. Citations in the body of the text are necessary. Numbers in square brackets must correspond to the numbers in the Reference list at the end of the article. It is highly advisable to use full format references supported by leading international evaluation bases as well as the Serbian Citation Index. Here are the recommended style guides:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research Papers and
7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Publishers.

The formatting given in the following instructions is also acceptable:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide and
2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

In journal evaluation systems, non-standard, insufficient or inconsequent citation is considered to be a sufficient cause for denying the scientific status to a journal.

The article should be accompanied with a cover letter with the information about the author(s): surname, middle initial, first name, citizen personal number, rank, title, e-mail address, affiliation address, home address including municipality, phone number in the office and at home (or a mobile phone number), bank account and the name of the bank.

If there are more authors, their share in the article should be given in percents for honorarium calculation purposes.

The cover letter should state the type of the article and tell which illustrations are original and which are not.

All articles are peer reviewed. All authors and reviewers are paid an honorarium on publication of the article.

Address of the Editorial Office:  
Vojnotehnički glasnik, 11000 Beograd,  
Braće Jugovića 19.  
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.  
Managing Editor  
Nebojša Gaćeša  
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs  
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118



## MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

- Braće Jugovića 19, 11000 Beograd •
- Telefoni: (011) 3201-995 i 23-995 •
- Telefaks: (011) 3241-009 •
- Tekući račun: 840-312849-56 • PIB: 102116082 •
- Broj potvrde o evidentiranju za PDV: 135328814 •

### POZIV NA PRETPLATU ZA 2012. GODINU

Pretplaćujemo se na časopis:

br. primeraka

**1. „Vojnotehnički glasnik“**

Godišnja pretplata 1.200,00 dinara

Prilikom uplate pozvati se na broj: 54

.....

**2. „Novi glasnik“**

Godišnja pretplata 1.800,00 dinara

Prilikom uplate pozvati se na broj: 53

.....

**3. „Vojno delo“**

Godišnja pretplata 1.400,00 dinara

Prilikom uplate pozvati se na broj: 51

.....

Pretplatne cene važe do 31. 12. 2012. 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](mailto:nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs)

Tehničko uređenje  
*Zvezda Jovanović*

Lektor  
*Dobriša Miletić*, profesor  
e-mail: [dobriša.miletic@mod.gov.rs](mailto:dobriša.miletic@mod.gov.rs)

Prevod na engleski  
*Jasna Višnjić*, profesor  
e-mail: [visnjicjasna@yahoo.com](mailto:visnjicjasna@yahoo.com)

Prevod na ruski  
*Olivera Hajduković*, profesor  
e-mail: [oliverahajdukovic@lukoil.rs](mailto:oliverahajdukovic@lukoil.rs)

Prevod na nemački  
*Gordana Bogdanović*, profesor  
e-mail: [gordana.bogdanovic@yahoo.com](mailto:gordana.bogdanovic@yahoo.com)

Prevod na francuski  
*Dragan Vučković*  
e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto: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: 771 primeraka

---

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije,  
broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 9. 2001. godine,  
časopis „Vojnotehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.  
UDC: Narodna biblioteka Srbije, Beograd

Graphic design editor  
Nebojša Kujundžić MA  
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Copy editing  
Zvezda Jovanović

Proofreader  
Dobriša Miletić BA  
e-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

English translation and polishing  
Jasna Višnjić BA  
e-mail: visnjicjasna@yahoo.com

Russian translation and polishing  
Olivera Hajduković BA  
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

German translation and polishing  
Gordana Bogdanović BA  
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

French translation and polishing  
Dragan Vučković  
e-mail: draganvuckovic@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 771 copies

---

According to the Opinion of the Ministry of Science and Technological Development  
No 413-00-1201/2001-01 of 12<sup>th</sup> September 2001, the *Military Technological Courier* is a  
publication of special interest for science.

UDC National Library of Serbia

