



3(63)  
2015

ISSN 0042-8469

e-ISSN 2217-4753

# ВОЈНО ТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ





3(63)  
2015

ISSN 0042-8469  
e-ISSN 2217-4753

# MILITARY TECHNICAL SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA Courier

ВТГ.мо.упр.срб  
[www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs)

UDC 623 + 355/359



3(63)  
2015

ISSN 0042-8469  
e-ISSN 2217-4753

# ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

Вестник

втг.мо.упр.срб  
[www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs)

UDC 623 + 355/359

ISSN 0042-8469  
e-ISSN 2417-4753  
COBISS.SR-ID 4423939



втг.мо.упр.срб  
[www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs)

3 (63)

UDC 623 + 355/359

ГОДИНА LXIII ЈУЛ-СЕПТЕМБАР 2015.

GODINA LXIII JUL-SEPTEMBAR 2015.

ISSN 0042-8469  
e-ISSN 2417-4753  
COBISS.SR-ID 4423939



vtg.mo.yrp.srb  
www.vtg.mod.gov.rs

3 (63)

UDC 623 + 355/359

---

ТОМ LXIII ИЮЛЬ-СЕНТЯБРЬ 2015.  
VOLUME LXIII JULY-SEPTEMBRE 2015.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

МЕДИЈА ЦЕНТАР „ОДБРАНА“

Директор

Стевица С. Карапанџин, пуковник

УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ У БЕОГРАДУ

Ректор

Проф. др Младен Вуруна, генерал-мајор

Начелник одсека за издавачку делатност

Драгана Марковић

УРЕДНИК ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА

мр Небојша Гаћеша, потпуковник

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

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

– генерал-мајор проф. др Бојан Зрнић, начелник Управе за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе Министарства одбране Републике Србије, председник Уређивачког одбора,

– доц. др Данко Јовановић, генерал-мајор у пензији, заменик председника уређивачког одбора,

– др Стеван М. Бербер, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand,

– научни сарадник др Обрад Чабаркапа, пуковник у пензији,

– проф. др Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация (Vladimir State University, Vladimir, Russian federation),

– пуковник ванр. проф. др Горан Дикић, проректор Универзитета одбране, Београд,

– проф. др Александр Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина (Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine),

– проф. др Жељко Ђуровић, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,

– проф. др Леонид И. Гречихин, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь; академик Академии строительства Украины (Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academician of Academy of Construction of Ukraine),

– др Јован Исаковић, Војнотехнички институт, Београд,

– проф. др Слободан Јарамаз, шеф Катедре за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду,

– проф. др Миодраг Јевтић, генерал-потпуковник у пензији,

– доц. др Вукица М. Јовановић, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA,

– проф. др Мирко Коматина, шеф Катедре за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду,

– научни саветник др Ана Костов, Институт за рударство и металургију, Бор,

– проф. др Митар Ковач, генерал-мајор у пензији,

– проф. др Бранко Ковачевић, декан Електротехничког факултета Универзитета у Београду,

– др Василије М. Мановић, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK,

– проф. др Момчило Милиновић, Катедра за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду,

– проф. др Градимир В. Миловановић, редовни члан Српске академије наука и уметности, Математички институт САНУ, Београд,

– проф. др Митар Новаковић, ректор Универзитета у Источном Сарајеву, Република Српска, Босна и Херцеговина,

– научни саветник др Предраг Петровић, Извршни директор за научно-истраживачки рад и радијокомуникације Института за телекомуникације и електронику ИРИТЕЛ АД, Београд,

– проф. др Славо Пожорни, Висока школа за информационе технологије, рачунарска дизајн и савремено пословање, Београд,

– пуковник доц. др Стеван Радојчић, начелник Војногеографског института, Београд,

– пуковник доц. др Зоран Рајић, директор Војнотехничког института, Београд,

– научни саветник др Александар Родић, руководилац Центра за роботiku Института „Михајло Пупин“, Београд,

– проф. др Станко Станић, ректор Универзитета у Бањој Луци, Република Српска, Босна и Херцеговина,

– проф. др Јонел Старету, Transilvania University of Brasov, Romania,

– научни саветник др Срећко С. Стопић, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering,

IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland,

– проф. др Мирослав Трајановић, шеф Катедре за производно-информационе технологије и менаџмент Машинског факултета Универзитета у Нишу,

– генерал-мајор проф. др Младен Вуруна, ректор Универзитета одбране у Београду,

– проф. др Алекса Зејак, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду,

– потпуковник мр Небојша Гаћеша, уредник Војнотехничког гласника, секретар Уређивачког одбора.

Адреса редакције: ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК, Браће Југовића 19, Београд

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

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

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

[http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=53280](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280)

<http://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>

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

INDEXED IN  
DOAJ

Претплата на штампано издање: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs; тел.-фах: 011/3241-009; текући рачун: 840-312849-56

Рукописи се не враћају

Часопис излази тромесечно

Први штампани број Војнотехничког гласника објављен је 1. 1. 1953. године

Прво електронско издање Војнотехничког гласника на Интернету објављено је 1. 1. 2011. године

Војнотехнички гласник је лиценциран код EBSCO Publishing-а, највећег светског агрегатора часописа, периодике и осталих извора у пуном тексту. Комплетан текст Војнотехничког гласника доступан је у базама података EBSCO Publishing-а.

Штампа: Војна штампарија – Београд, Песавска 40б, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs

MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA

ODBRANA MEDIA CENTRE

Director

Col *Stevica S. Karapandžin*

UNIVERSITY OF DEFENCE IN BELGRADE

Rector

Major General *Mladen Vuruna*, PhD, Professor

Head of publishing department

*Dragana Marković*

EDITOR OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Lt Col *Nebojša Gačeša* 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

- Major General *Bojan Zrnić*, PhD, Professor, Head of the Department for Defence Technologies, Material Resources Sector, Ministry of Defence, (Head of the Editorial Board)
- Assistant Professor *Danko Jovanović*, PhD, retired Major General, (Deputy Head of the Editorial Board)
- *Stevan M. Berber*, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand
- Scientific Advisor *Obrad Čabarkapa*, PhD, retired Colonel
- Professor *Vladimir Chernov*, DSc, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir State University, Vladimir, Russia
- Colonel *Goran Dikić*, PhD, Associate Professor, Prorector of the University of Defence, Belgrade
- Professor *Aleksandr V. Dorohov*, PhD, Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine
- Professor *Željko Đurović*, PhD, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade
- Professor *Leonid I. Gretchihin*, PhD, Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academician of Academy of Construction of Ukraine
- Professor *Jovan Isaković*, PhD, Military Technical Institute, Belgrade
- Professor *Slobodan Jaramaz*, PhD, Head of the Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Professor *Miodrag Jevtić*, PhD, retired Lt General
- *Vukica M. Jovanović*, PhD, Trine University, Allen School of Eggineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA
- Professor *Mirko Komatina*, PhD, Head of the Department for Thermomechanics at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Scientific Advisor *Ana Kostov*, PhD, Institute of Mining and Metallurgy, Bor, Serbia
- Professor *Mitar Kovač*, PhD, retired Major General
- Professor *Branko Kovačević*, PhD, Dean of the Faculty of Electrical Engineering University of Belgrade
- *Vasilije M. Manović*, PhD, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK
- Professor *Momčilo Milinović*, PhD, Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- Professor *Gradimir V. Milovanović*, PhD, Member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Mathematical Institute of the SASA, Belgrade
- Professor *Mitar Novaković*, PhD, University of East Sarajevo, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Scientific Advisor *Predrag Petrović*, PhD, Executive Director for R&D and Radio Communications, Institute of telecommunications and electronics IRITEL AD, Belgrade
- Professor *Slavko Pokorni*, PhD, Information Technology School, Belgrade
- Colonel *Stevan Radojčić*, PhD, Assistant Professor, Head of the Military Geographical Institute, Belgrade
- Colonel *Zoran Rajić*, PhD, Assistant Professor, Director of the Military Technical Institute, Belgrade
- Scientific Advisor *Aleksandar Rodić*, PhD, Head of the Robotics Laboratory at the Mihailo Pupin Institute, Belgrade
- Professor *Stanko Stanić*, PhD, University of Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Professor *Ionel Staretu*, PhD, Transilvania University of Brasov, Romania
- Scientific Advisor *Srećko S. Stopić*, PhD, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Germany
- Professor *Miroslav Trajanović*, PhD, Head of the Department for Production IT and Management at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš
- Major General *Mladen Vuruna*, PhD, Professor, Rector of the University of Defence in Belgrade
- Professor *Aleksa Zejak*, PhD, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
- Lt Colonel *Nebojša Gačeša*, MSc, Editor of the Military Technical Courier (Secretary of the Editorial Board)

Address: MILITARY TECHNICAL COURIER, Braće Jugovića 19, 11000 Beograd, Serbia

<http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>

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

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

[http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=53280](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280)

<http://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>

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

Subscription to print edition: 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: [vojna.stamparija@mod.gov.rs](mailto:vojna.stamparija@mod.gov.rs)

INDEXED IN  
DOAJ

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

МЕДИА ЦЕНТР „ОДБРАНА“

ДИРЕКТОР

Стевица С. Карапанджин, полковник

УНИВЕРСИТЕТ ОБОРОНЫ В Г. БЕЛГРАДЕ

РЕКТОР

профессор д-р Младен Вуруна, генерал-майор

Начальник Управления по делам издательства:

Драгана Маркович

РЕДАКТОР ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА

Кандидат технических наук Небойша Гачеша, подполковник

e-mail: [nebojsa.gacesa@mod.gov.rs](mailto:nebojsa.gacesa@mod.gov.rs)

тел.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

СОВЕТ РЕДАКТОРОВ

- Генерал майор профессор д-р Боян Зрнич, начальник Управления оборонительных технологий при Департаменте материальных ресурсов Министерства обороны Республики Сербия, председатель Совета редакторов,
- доцент д-р Данко Иванович, отставной генерал майор, заместитель председателя Совета редакторов,
- Д-р Стеван М. Бербер, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand,
- Генерал майор профессор д-р Младен Вуруна, ректор Университета обороны в г. Белграде,
- Профессор д-р Леонид Гречихин, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь,
- Профессор д-р Александр Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина,
- Полковник доцент д-р Горан Дикич, проректор Университета обороны, г. Белград,
- Профессор д-р Желько Джурович, Электротехнический факультет Белградского университета,
- Профессор д-р Миодраг Евтич, отставной генерал-майор,
- Профессор д-р Алекса Зейак, Факультет технических наук Университета в г. Нови Сад,
- Профессор д-р Йован Исакович, Военно-технический институт, Белград,
- Профессор д-р Слободан Йарамаз, начальник Кафедры по военному машиностроению Машиностроительного факультета при Белградском университете,
- Д-р Вукица М. Йованович, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA,
- Профессор д-р Митар Ковач, отставной генерал-майор,
- Профессор д-р Бранко Ковачевич, декан Электротехнического факультета Белградского университета,
- Профессор д-р Мирко Коматина, начальник Кафедры термомеханики Машиностроительного факультета Белградского университета,
- Научный советник д-р Анна Костов, Институт горного дела и металлургии, г. Бор,
- Д-р Василий М. Манович, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK,
- Профессор д-р Момчило Милинович, Машиностроительный факультет Белградского университета,
- Профессор д-р Градимир В. Милованович, член Сербской академии наук, Белград,
- Профессор д-р Митар Новакович, Университет в г. Восточного Сараево, Республика Сербская, Босния и Герцеговина,
- Научный советник д-р Предраг Петрович, Управляющий директор по вопросам исследовательских работ Института телекоммуникаций и электроники «IRITEL AD» г. Белград,
- Профессор д-р Славко Покорни, Колледж информационных технологий, компьютерного дизайна и современного бизнеса, Белград,
- Полковник доцент д-р Стеван Радойичич, начальник Военно-географического института, г. Белград, факультета при Белградском университете,
- Полковник доцент д-р Зоран Райич, директор Военно-технического института в г. Белграде,
- Научный советник д-р Александр Родич, руководитель Центра робототехники Института имени «Михаило Пупин» в г. Белграде,
- Профессор д-р Станко Станич, Университет в г. Баня-Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина,
- Профессор д-р Йонел Старету, Трансильванийский университет в г. Брашов, Румыния,
- Научный советник д-р Сречко С. Столич, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland,
- Профессор д-р Мирослав Траянович, начальник Кафедры ИТ и менеджмента Машиностроительного факультета в г. Нише,
- Научный советник д-р Обрад Чабаркапа, отставной полковник,
- Профессор д-р Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация,
- Подполковник кандидат технических наук Небойша Гачеша, редактор Военно-технического вестника, секретарь Совета редакторов.

Адрес редакции: ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК, Браће Југовића 19, Београд

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

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

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

[http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=53280](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=53280)

<http://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>

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

Подписка на печатную версию журнала: e-mail: [pretplata@odbrana.mod.gov.rs](mailto:pretplata@odbrana.mod.gov.rs);

тел.-факс: +381 11 3241 009; № расчетного счета: 840-312849-56

*Статьи, присланные редакции журнала не возвращаются*

Журнала выпускается ежеквартально

Первый номер Военно-технического вестника выпущен 1.1.1953 года.

Первая электронная версия журнала размещена на интернет странице 1.1.2011 года.

Военно-технический вестник включен в систему EBSCO – всемирная академическая база данных и сервисов.

Печатает: Војна штампарија – Београд, Ресавска 40б, e-mail: [vojna.stamparija@mod.gov.rs](mailto:vojna.stamparija@mod.gov.rs)

INDEXED IN  
DOAJ



## САДРЖАЈ

### ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ

<i>Данијела Д. Протић</i> Feedforward неуронске мреже: Levenberg-Marquardt оптимизација и optimal brain surgeon pruning .....	11–28
<i>Леонид И. Гречихин, Светлана Д. Латушкина, Викентија М. Комаровскаја</i> Индуковани потенцијал између интерактивних честица у нано нивоима .....	29–41
<i>Марија З. Малнар, Наташа Ј. Нешковић</i> Преглед метрика рутирања за вишеканалне вишеинтерфејсне бежичне mesh мреже .....	42–62
<i>Никола М. Јаћимовић, Братислав Ж. Планић</i> Реализација криптолошких алгоритама у системима великих протока података .	63–86
<i>Војкан М. Радоњић, Слободан Р. Ђукић, Данко М. Јовановић, Саша М. Петровић</i> Унапређење одржавања уређаја специјалне намене реализацијом модернизације аналогног филтера .....	87–113

### ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ

<i>Ненко С. Бркљач, Марко Д. Андрејић, Слободан С. Илић</i> Стручне способности потребне у процесу опремања војске средствима наоружања и војне опреме .....	114–136
--	---------

### СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ

<i>Михаило Р. Мрдак</i> Карактеристике APS и VPS плазма спреј процеса .....	137–159
<i>Аднан М. Мулаосмановић</i> Примјена HART протокола за комуникацију са паметним уређајима у пољу .....	160–175
<i>Србољуб Ј. Маринковић, Александар Ж. Дреновац</i> Утицај људског фактора у војном ваздухопловнотехничком одржавању .....	176–199
<i>Паун Ј. Береш, Кристиан П. Береш, Сретен С. Цветковић</i> Учење на даљину и хеуристика у функцији едукације субјеката система Цивилне одбране за ванредне ситуације .....	200–214
<i>Дејан Р. Инђић, Мирослав Р. Терзић, Стеван В. Жигић, Срђан З. Рутић</i> Ангажовање Војске Србије на пружању помоћи становништву у случају нуклеарних и хемијских удеса .....	215–239

### САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА

<i>Драган М. Вучковић, Младен Р. Тишма, Милош М. Јевтић, Никола М. Остојић, Небојша Н. Гаћеша .....</i>	240–303
ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА .....	304–318

# CONTENTS

## ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

<i>Danijela D. Protić</i> Feedforward neural network: the Levenberg-Marquardt optimization and the Optimal Brain Surgeon Pruning .....	11–28
<i>Leonid I. Gretchihin, Svetlana D. Latushkina, Vikentiya M. Komarovskaya</i> Induced potential between interacting particles at nanolevels .....	29–41
<i>Marija Z. Malnar, Nataša J. Nešković</i> Survey of routing metrics for multi channel multi interface wireless mesh networks ..	42–62
<i>Nikola M. Jaćimović, Bratislav Ž. Planić</i> Implementation of cryptology algorithms in high bit rate systems .....	63–86
<i>Vojkan M. Radonjić, Slobodan R. Đukić, Danko M. Jovanović, Saša M. Petrović</i> Improvements of the maintenance of special purpose devices by analog filter modernization .....	87–113

## REVIEW PAPERS

<i>Nenka S. Brkljač, Marko D. Andrejić, Slobodan S. Ilić</i> Professional capabilities needed in the process of equipping the army with armament and military equipment .....	114–136
---	---------

## PROFESSIONAL PAPERS

<i>Mihailo R. Mrdak</i> Characteristics of APS and VPS plasma spray processes .....	137–159
<i>Adnan M. Mulaosmanović</i> Application of the hART protocol for communication with smart field devices .....	160–175
<i>Srbojčub J. Marinković, Aleksandar Ž. Drenovac</i> Human factor impact in military aircraft maintenance .....	176–199
<i>Paun J. Bereš, Kristian P. Bereš, Sreten S. Cvetković</i> Distance learning and heuristics in the education of civil defence emergency personnel .....	200–214
<i>Dejan R. Inđić, Miroslav R. Terzić, Stevan V. Žigić, Srđan Z. Rutić</i> Engagement of the Serbian Army in helping civilians in the event of nuclear and chemical accidents .....	215–239

## MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

<i>Dragan M. Vučković, Mladen R. Tišma,</i> <i>Miloš M. Jevtić, Nikola M. Ostojić, Nebojša N. Gaćeša</i> .....	240–303
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS .....	304–318

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

<i>Даниела Д. Протич</i> Нейронные сети с прямой связью: алгоритм Левенберга – Марквардта и оптимальный нейрохирургический прунинг .....	11–28
<i>Леонид И. Гречихин, Светлана Д. Латушкина, Викентия М. Комаровская</i> Наведенный потенциал между взаимодействующими частицами на наноуровне ...	29–41
<i>Мария З. Малнар, Наташа Й. Нешкович</i> Обзор показателей маршрутизации для многоканальных мульти-интерфейсных ячеистых сетей .....	42–62
<i>Никола М. Ячимович, Братислав Ж. Планич</i> Реализация алгоритмов шифрования в системах с высоким информационным траффиком .....	63–86
<i>Войкан М. Радонич, Слободан Р. Джукич, Данко М. Йованович, Саша М. Петрович</i> Упрощение обслуживания устройств специального назначения путем модернизации аналогового фильтра .....	87–113

## ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

<i>Ненко С. Бркляч, Марко Д. Андреич, Слободан С. Илич</i> Необходимые профессиональные качества в процессе военного снабжения вооружением и военной техникой .....	114–136
---	---------

## ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

<i>Михаило Р. Мрдак</i> Свойства АПН и ВПН методов плазменного напыления .....	137–159
<i>Аднан М. Мулаосманович</i> Прикладные HART протоколы - для связи с интеллектуальными полевыми устройствами .....	160–175
<i>Срболоуб Й. Маринкович, Александр Ж. Дреновац</i> Влияние человеческого фактора на содержание авиационной техники .....	176–199
<i>Паун Й. Береш, Кристиан П. Береш, Сретен С. Цветкович</i> Дистанционное обучение и эвристика при инструктаже сотрудников службы гражданской обороны по чрезвычайным ситуациям .....	200–214
<i>Деян Р. Инджич, Мирослав Р. Терзич, Стеван В. Жигич, Срджан З. Рутич</i> Участие военнослужащих Вооруженных Сил Республики Сербия в операциях по оказанию помощи гражданскому населению при ядерной и химической авариях ...	215–239

## СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

<i>Бранислав С. Булатович, Драган М. Вучкович, Младен Р. Тишма, Милош М. Йевтич, Небойша Н. Гачеша .....</i>	240–303
ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ .....	304–318

## FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS: THE LEVENBERG-MARQUARDT OPTIMIZATION AND THE OPTIMAL BRAIN SURGEON PRUNING

*Danijela D. Protić*  
General Staff of the Serbian Army,  
Department for Telecommunication and Informatics (J-6),  
Centre for Applied Mathematics and Electronics, Belgrade  
e-mail: adanijela@ptt.rs

DOI: 10.5937/vojtehg63-7529

FIELD: Telecommunications  
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper  
ARTICLE LANGUAGE: English

### *Abstract:*

*This paper presents the training, testing and pruning of a feedforward neural network with one hidden layer that was used for the prediction of the vowel "a". The paper also describes Gradient Descent, the Gauss-Newton and the Levenberg-Marquardt optimization techniques. Optimal Brain Surgeon pruning is applied to the trained network. The stopping criterion was an abrupt change of the Normalized Sum Squares Error. The structure of the feedforward neural network (FNN) was 18 inputs (four for glottal and 14 for speech samples), 3 neurons in the hidden layer and one output. The results have shown that, after pruning, the glottal signal has no effect on the model for a female speaker, while it affects the prediction of the speech pronounced by a male speaker. In both cases, the structure of the FNN is reduced to a small number of parameters.*

Key words: *Levenberg-Marquardt; speech analysis; pruning; feedforward neural networks.*

## Introduction

In recent years, artificial neural networks (ANNs) have become one of the most successful structures for solving diverse problems related to artificial intelligence, pattern recognition, classification, curve fitting, time series

prediction, and a wide variety of many practical problems. The multilayer perceptron (MLP) is the oldest and the most frequently used type of ANNs. A typical MLP consists of several layers of neurons. Input layer nodes correspond to the feature vector, the output layer consists of one or several neurons. If the input signal in the ANN propagates from the input layer to the output layer, the networks are called feedforward neural networks (FNNs). In order to find the FNN weights, one must minimize the cost function. In the gradient descent (GD) optimization algorithm, the derivatives of the cost function are calculated and weights are updated in an iterative manner, i.e. the error signal is propagated back to the lower layers. This technique is known as the back-propagation (BP) algorithm. The network weights are moved along the negative of the gradient to find a minimum of the error function (Silva et al., 2008), (Wu et al., 2011), (Protić, 2014). However, the GD is relatively slow and the network solution may trap in one of the local minima instead of the global minimum. The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm gives efficient solutions of convergence and better optimization than the GD with the combination of GD and the Gauss-Newton (GN) method (Riecke et al., 2009), (Shahin, Pitt, 2012), (Levenberg, 1944), (Marquardt, 1963). The GN presumes that the error function is approximately quadratic near the optimal solution, which is based on the second order Taylor approximation of the sum of the squared errors. In this way, FNNs and the LM algorithm help address the problems of slow convergence and computation consumption caused by the structures of MLPs.

The experimental analysis, presented in this paper, was based on a prediction of the vowel "a", spoken by both a female and a male speaker. All experimental results were obtained by using a FNN with one hidden layer and the LM algorithm. The structure of FNN was 18 inputs, 3 hidden-layer neurons, and the output neuron (18-3-1). Activation functions were tangent hyperbolic for all neurons. Since the outputs from the tangent function were limited to the (-1, 1) interval, the signals were also normalized to [-1, 1]. The training was carried out on 1700 samples of speech signals and corresponding glottal signals. First 14 inputs to the FNN were successive samples of speech:  $y_{n-1}, \dots, y_{n-14}$  and the following four inputs corresponded to the glottal signal:  $g_{n-1}, \dots, g_{n-4}$ . The result of processing in the forward direction was the predicted speech signal sample  $y_n$ . The prediction error, or residual, was used for obtaining the Sum Squares Error (SSE). After training, the resulting structure was tested on 1700 samples of independent test sets.

Furthermore, the Optimal Brain Surgeon (OBS) pruning was applied to the trained FNN. This technique reduced the network structure by removing neurons (from the hidden layer) that have not affected the total error rate. The stopping criterion was the abrupt change of Normalized SSE (NSSE). As a demonstration of the aforementioned techniques, the results were presented in figures and summarized in tables.

This paper is organized as follows: the next section describes the GD, the GN and the LM optimization algorithms, as well as the LM optimization technique for the FNN with one hidden layer. Furthermore, the experimental results are presented. The last chapter concludes the paper.

## Levenberg-Marquardt optimization

The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm can be regarded as a linear combination of the GN method and the GD method. The alternation between these two methods is called a damping strategy, and is controlled by a damping factor. If the damping parameter is large, the LM adjusts parameters like the GD method. If the damping parameter is small, the LM updates parameters like the GN method (Young-tae et al. 2011). GD, GN and LM methods are the optimization algorithms for the basic Least-Squares (LS) problem, i.e. they use LS to fit data. Fitting requires a parametric model that releases the response data to the predictor data with coefficients. The LS method minimizes the summed square of the residuals; a residual being the difference between an observed value and the fitted value provided by a model. See (1).

$$S = \sum_{i=1}^n r_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

$S$  is the sum of squares,  $y_i$  and  $\hat{y}_i$  are the observed response and its fitted value, respectively,  $r_i$  is the residual, and  $n$  is the number of data points included in the fit. When fitting data, residuals (errors) are assumed random and follow the Gaussian distribution with the zero mean and the constant variance  $\sigma^2$  (spread of errors is constant).

The LS fitting may be linear, weighted, robust and nonlinear (that fits nonlinear model to data). In general, LS methods involve an iterative procedure for parameter optimization. The nonlinear LS methods involve an iterative improvement to parameter values in order to reduce the sum of the squares of the errors between the function and the measured data points. This is the optimization, i.e. the process of finding the minimum or maximum value of an objective function.

When using nonlinear optimization algorithms, some choices must be made about the time of stopping the fitting process. Some of possible choices are 1) stop after a fixed number of iteration, 2) stop when the error function falls below the predetermined value, 3) stop when the relative change in the error function falls below some specified value, etc. (Bishop, 1995).

## Gradient descent method

The GD method is a general minimization method which updates parameter values in the direction opposite to the gradient of the objective function. It is recognized as a highly convergent method for finding the minimum of simple objective functions (Gavin, 2013). The GD is a first order algorithm because it takes only the first derivative of the function.

Suppose that  $f(x)$  is a cost function of a single parameter  $x$ . To find a minimum of  $f$ ,  $x$  has to be evolved in such a way that the cost function  $f(x)$  decreases. Given some initial value  $x_0$  for  $x$ , the value of  $x$  can be changed in many directions. In higher dimensions, the analogy of the derivative is the gradient. It is a vector whose entries are partial derivatives of  $f$  with respect to each dimension. So, in order to decrease  $f$ , evaluate the gradient  $\nabla f$  in a particular point, take a step in its negative direction, evaluate the gradient to the new point, get a new vector and take a step in its negative direction, and so on until the local minimum of the function is found. This gives a simple gradient descent algorithm:

- initialize  $x$  in some way, often just randomly,  $x=x_0$ ,
- find the gradient of  $\nabla f$ , and update it with a small positive amount of the step size (sometimes it is called the learning rate) in the following way:

$$x_{k+1} = x_k - \lambda \nabla f(x_k),$$

- follow the stopping condition (stopping the procedure either when  $f$  is not changing sufficiently quickly, or when the gradient is sufficiently small).

Given stable conditions (a certain choice of  $\lambda$ ), it is guaranteed that  $f(x_{k+1}) \leq f(x_k)$ .

One problem is how to choose the step size. Local minima are sensitive to the starting point, as well as the step size. The step size influences both the convergence rate and the behaviour of the minimization procedure. If the step size is chosen too large, the current fit jumps over the minimum, perhaps jumping back and it may take a long time to converge. On the other hand, if a step size is too small, the algorithm takes very small steps and very little progress at iterations (Ihler, 2013). One option is to choose a fixed step size that will assure convergence wherever the GD starts. Another option is to choose a different step size at each iteration (step size is changed inside the algorithm).

The GD is the simplest convergent algorithm for finding the minimum of  $f(x)$ . It quickly approaches the solution from a distance, which is its main advantage. The main disadvantage of the algorithm is that it approaches the best fit very slowly, and tends to zigzag along the bottom of long narrow canyons (Zinn-Bjorkman, 2010). This problem is solved by the GN method.

## Gauss-Newton method

In the GN method, the SSE is reduced by assuming the LS function is locally quadratic and finding the minimum of the quadratic. It presumes that the objective function is approximately quadratic in the parameters near the optimal solution. For moderately-sized problems, the GN method typically converges much faster than the GD method (Marquardt, 1963). The GD is based on the second order Taylor approximation of the SSE  $E$  around the optimal solution  $E_0$  (See 2).

$$E \approx E_0 + \left( \frac{\partial E}{\partial \mathbf{u}} \right)^T \delta \mathbf{u} + \frac{1}{2} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{H} \delta \mathbf{u} \quad (2)$$

where  $\mathbf{u}$  is a parameter vector,  $\delta \mathbf{u}$  is the parameter deviation, and  $\mathbf{H}$  is the Hessian symmetric matrix of the second derivatives of  $E$ . Intuitively Hessian describes the local  $n$ -dimensional parabola curvature that approximates  $E$ . If  $\mathbf{H}$  is positive-definite, the parabola is indeed positively curved, meaning that it goes up in all directions, has a definite minimum, and the parameters are estimated in the following way:

$$\delta \mathbf{u} = \mathbf{u}^* - \mathbf{u} = -\mathbf{H}^{-1} \frac{\partial E}{\partial \mathbf{u}} = 0$$

$$\mathbf{u}^* = \mathbf{u} - \mathbf{H}^{-1} \frac{\partial E}{\partial \mathbf{u}}$$

where  $\mathbf{u}^*$  is the estimated parameter vector.

The problem of finding  $\mathbf{H}^{-1}$  was solved by Hassibi and Stork (1993) who applied the outer product approximation to develop a computationally efficient procedure for the calculation of the inverse Hessian. For  $N$  number of parameters in the data set, and the vector  $\mathbf{g}$  that is the gradient of the error function, the sequential procedure for building up the Hessian is obtained by separating off the contribution from the data point  $N+1$  to give:

$$\mathbf{H}_{N+1}^{-1} = \mathbf{H}_N^{-1} - \frac{\mathbf{H}_N^{-1} \mathbf{g}^{N+1} (\mathbf{g}^{N+1})^T \mathbf{H}_N^{-1}}{1 + (\mathbf{g}^{N+1})^T \mathbf{H}_N^{-1} \mathbf{g}^{N+1}}$$

The initial matrix  $\mathbf{H}_0$  is chosen to be  $\alpha \mathbf{I}$ , where  $\alpha$  is small quantity.

Given a formula for updating gradient of  $\nabla f$  with a small positive amount, then  $x_{k+1} = x_k - (\nabla f(x_k))^{-1} \nabla f(x_k)$ .



### *Levenberg-Marquardt method*

As many other algorithms for the minimization of an objective function, the LM algorithm also provides a numerical solution to the problem of minimizing a function, over a space of parameters (Kashyap, 1980), (Ljung, 1987), (Larsen, 1993), (Hansen, Rasmussen, 1994), (Fahlman, 1988). The function update with a small step is  $x_{k+1} = x_k - (H + \lambda I)^{-1} \nabla f(x_k)$ , which is a blend of the above mentioned algorithm, i.e. a search direction is the solution of the matrix equation

$$(\mathbf{H} + \lambda \mathbf{I})\delta = \mathbf{J}^T \mathbf{E} \quad (3)$$

where  $\lambda$  is the damping factor adjusted at each iteration and guides the optimization process,  $\delta$  is the parameter update matrix,  $\mathbf{J}$  is the Jacobian matrix of the first derivatives of  $\mathbf{E}$ , and  $\mathbf{I}$  is the identity matrix. If the reduction of  $\mathbf{E}$  is rapid, a smaller value of  $\lambda$  brings the algorithm closer to the GN algorithm, whereas if the iteration gives insufficient reduction in the residual,  $\lambda$  can be increased, giving a step closer to the GD direction, i.e. the LM method acts more like the GD method when the parameters are far from their optimal value, and acts more like the GN method when the parameters are close to their optimal value.

The update rule goes as follows: if the error goes down following the update, it implies that the quadratic assumption is working and  $\lambda$  has to be reduced (usually by a factor of 10), to reduce the influence of the GD. On the other hand, if the error goes up,  $\lambda$  has to be increased by the same factor. The LM algorithm is thus: do an update in the direction given by the rule above, evaluate the error at the new parameter vector, if the error has increased then retract the step, and go to the first step, otherwise accept this step and decrease  $\lambda$  (Ranganathan, 2004).

### *Levenberg-Marquardt optimization for the feedforward neural network learning*

According to Azimi-Sadjadi and Liou (1992), the FNN with one hidden layer and the sigmoidal-type nonlinearity can approximate any nonlinear function and generate any complex decision region needed for classification and recognition tasks. Consider the FNN

$$y_i(\mathbf{w}, \mathbf{W}) = F_i \left( \sum_{j=1}^q W_{ij} f_j \left( \sum_{l=1}^m w_{lj} z_l + w_{j0} \right) + W_{f0} \right)$$

where  $y_i$  is the output,  $\mathbf{w}$  and  $\mathbf{W}$  are the synaptic weight matrices and  $f_j$  and  $F_i$  are the activation functions of the hidden and the output layer, re-

spectively.  $q$  and  $m$  represent the number of nodes in the input and the hidden layer, respectively. For the FNN with differentiable activation functions of both input variables and weights, each unit computes a weighted sum of inputs

$$a_j = \sum_i w_{ji} z_i$$

where  $z_i$  is the activation which sends the connection to the unit  $j$ , and  $w_{ji}$  is the weight associated with the connection. For a given  $z_j$  a nonlinear function  $g(\bullet)$  is applied, so  $z_j = g(a_j)$ .  $g(\bullet)$  is known in advance (Protić, 2014).

Also consider the error function

$$E = \sum_b E^n$$

where  $E^n = E^n(y_1, \dots, y_c)$ . The goal is to evaluate the derivatives of the error  $E^n$  with respect to the weights

$$\frac{\partial E^n}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E^n}{\partial a_j} \frac{\partial a_j}{\partial w_{ij}}$$

$$\delta_j = \frac{\partial E^n}{\partial a_j}, \quad \frac{\partial a_j}{\partial w_{ji}} = z_i$$

It follows that

$$\frac{\partial E^n}{\partial w_{ij}} = \delta_j z_i$$

If  $g'(a)$  substitutes  $\partial E^n / \partial y$ , and the errors of the output units ( $\delta_k$ ) and the hidden units ( $\delta_j$ ) are

$$\delta_k = \frac{\partial E^n}{\partial a_k} = g'(a_k) \frac{\partial E^n}{\partial y_k}$$

$$\delta_j = \frac{\partial E^n}{\partial a_j} = \sum_k \frac{\partial E^n}{\partial a_k} \frac{\partial a_k}{\partial a_j}$$

The BP formula gives:

$$\delta_j = g'(a_j) \sum_k w_{kj} \delta_k$$

where  $\delta$ 's can be evaluated backward. In the similar way, this may be used to calculate the other derivatives.

Consider the evaluation of the Jacobian matrix, whose elements are given by the derivatives of the network outputs  $y_k$  with respect to the network inputs  $x_i$

$$J_{ki} = \frac{\partial y_k}{\partial x_i} = \sum_k \frac{\partial y_k}{\partial a_j} \frac{\partial a_j}{\partial x_i} = \sum_j w_{ji} \frac{\partial y_k}{\partial a_j} = \sum_j w_{ji} \sum_l \frac{\partial y_k}{\partial a_l} \frac{\partial a_l}{\partial a_j} \dots$$

$$\dots = \sum_j w_{ji} g'(a_j) \sum_l w_{lj} \frac{\partial y_k}{\partial a_l}$$

The second order derivatives of the error function, i.e. the parameters of the Hessian matrix are given with

$$\frac{\partial^2 E}{\partial w_{ij} \partial w_{lk}} = \sum_n \frac{\partial y^n}{\partial w_{ji}} \frac{\partial y^n}{\partial w_{lk}} + \sum_n (y^n - t^n) \frac{\partial^2 y^n}{\partial w_{ji} \partial w_{lk}} \quad (4)$$

If the outputs  $y^n$  are very close to the target values  $t^n$ , the second term can be neglected, which gives a LM formula

$$\frac{\partial^2 E}{\partial w_{ij} \partial w_{lk}} = \sum_n \frac{\partial y^n}{\partial w_{ji}} \frac{\partial y^n}{\partial w_{lk}} \quad (5)$$

The optimization process goes like this: propagate the input signal through the FNN in the forward direction to obtain outputs at each layer. Generate the output signal for each node. Compute the matrices for updating weights. Determine the state of a particular node. Proceed if the input to the node is within the ramp region, otherwise there is no need for weight updating; then examine the next node. Update the weight vector using the recursion.

Pruning is a technique, a tool that helps decide upon the structure of the FNN. It addresses only the neurons in the hidden layer. There are two types of pruning: 1) incremental, starting with input or output layers and then incrementally decrease a size of FNN and retrain after each iteration; 2) selective pruning, which starts with an already trained FNN, with a fixed size, and then removes hidden neurons that will not affect the error rate of the FNN. In this way, unproduced neurons are removed (Hansen, Rasmussen, 1994).

After the network updating is finished, the pruning is carried out in the following way: for a network trained to a local minimum error the linear term as well as higher order terms in Taylor's equations vanish. The goal is to set one of weights (a parameter) to zero (Hassibi and Stork, 1993).

Consider the following equations

$$\delta u_m + u_m = 0$$

$$\mathbf{e}_m^T \delta \mathbf{u} + u_m = 0$$

where  $u_m$  is the  $m^{\text{th}}$  parameter,  $\mathbf{e}_m$  is the unit vector of the same dimension as  $\delta \mathbf{u}$ . The objective of this methodology is to prune the parameter  $u_m$  that would cause a minimum increase of an error, as follows

$$\delta \mathbf{u} = -\lambda \mathbf{H}^{-1} \mathbf{e}_m$$

$$\lambda = \frac{u_m}{\mathbf{e}_m^T \mathbf{H}^{-1} \mathbf{e}_m}$$

$$\delta \mathbf{u} = -\frac{u_m}{\mathbf{e}_m^T \mathbf{H}^{-1} \mathbf{e}_m} \mathbf{H}^{-1} \mathbf{e}_m$$

It should be noted that neither  $\mathbf{H}$  nor  $\mathbf{H}^{-1}$  have to be diagonal (Hassibi, Stork and Wolff, 1993).

## Results

The experiments were carried out on the vowel „a“ spoken by a female and a male speaker. Both glottal and vocal signals were used for training and testing. The training was carried out on 1700 samples of speech and the corresponding glottal signals. For the FNN training, the LM method was applied as an optimization algorithm. The network structure was 18-3-1, i.e. 18 inputs (14 inputs for the speech and four inputs for the glottal signal), three neurons in the hidden layer, and one output neuron, with a tangent hyperbolic type for all neurons. According to Protic (2014) the two-pole model for approximately  $(2 \cdot n + 1) \cdot 500\text{Hz}$ ,  $n = 0, 1 \dots$  poles is suitable for speech prediction. Considering the frequency interval of speech sound [0 - 4] kHz, for the purpose of research the seven two-pole, i.e. 14 inputs, model is used. Four inputs of the glottal signal correspond to two zeros. Since the resulting values of neurons' outputs were inside the interval (-1, 1), the signal samples were normalized to the values at the interval [-1, 1]. Weights were initialized as random values at the same interval. This structure simulated the speech production system (glottal and vocal tract). The NSSE was used for optimization, where  $\text{NSSE} = \text{SSE}/n$ ;  $n$  is the size of the error set. The

training was carried out so that the  $NSSE_{train}$  was less than 0.001. The resulting structure was tested on an independent test set, and the value of the  $NSSE_{test}$  was determined. The OBS pruning algorithm was applied to a determined minimum structure of the FNN so that the rejection of neurons did not affect the overall NSSE. The stopping criterion for pruning was that the abrupt change in  $NSSE_{prune}$  was more than 10 times higher than the minimum value of NSSEs calculated in the preceding processes.

The optimal structures were 14-3-1 for the female speaker (Figure 1) and 16-3-1 for the male speaker (Figure 2).

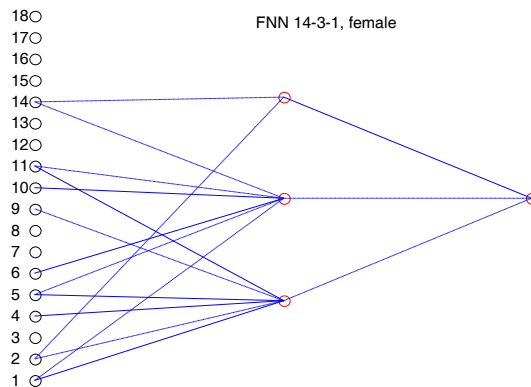


Figure 1 – FNN structure after pruning, 14-3-1, female  
 Slika 1 – FNN struktura nakon pruninga, 14-3-1, žena  
 Рис. 1 – структура FNN после обрезки, 14-3-1, женщины

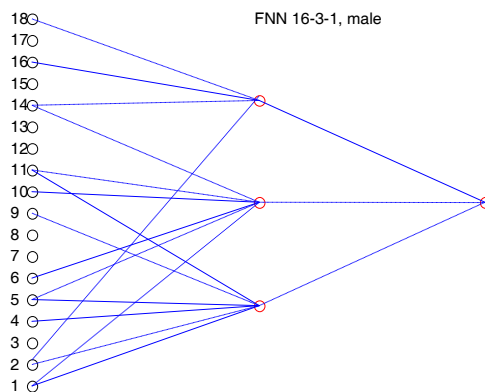


Figure 2 – FNN structure after pruning, 16-3-1, male  
 Slika 2 – FNN struktura nakon pruninga, 16-3-1, muškarac  
 Рис. 2 – структура FNN после обрезки, 16-3-1, мужчины

For these structures, the abrupt changes of NSSEs have shown that  $NSSE_{prune}$  was more than ten times higher than  $NSSE_{train}$  and  $NSSE_{test}$ . (See Table 1).

Table 1 – NSSE for training, test and pruning  
 Tabela 1 – NSSE za trening, test i pruning  
 Таблица 1 – NSSE для тренировки, тестирования и обрезки

Error	Training	Testing	Pruning
	$NSSE_{train}$	$NSSE_{test}$	$NSSE_{prune}$
$NSSE_{male}$	0.0005	0.0004	0.0040 <sub>(16-3-1)</sub>
$NSSE_{female}$	0.0009	0.0006	0.0114 <sub>(14-3-1)</sub>

The fully connected FNNs were reduced in size but the reduction was not significant. As it is presented in Figure 1 and Table 1, the nonlinear structure that takes the form of 14-3-1 is a good predictor of the speech signal for the female speaker. It should be noted that, in this case, the glottal signal has no effect on the prediction, and the FNN behaves as a nonlinear AutoRegressive (AR) model, where there is a grouping of the first six parameters (excluding the fifth node). Grouping is also noticeable for nodes 9-11. It stands out the impact of a sample at the 14<sup>th</sup> node. For the male speaker there is an impact of the glottal signal which can be seen as an influence of the excitation signal, i.e. a lesser vibration frequency of the vocal cords for the male speaker compared to the female. In this case, the network has the structure of 16-3-1, and the nodes that describe the impact of the speech signal are identically arranged as in the previous case (for the woman), so the FNN behaves as a nonlinear AR model with the eXogenous input (ARX).

In both cases, the structure of the FNN is reduced for a small number of parameters. It should be emphasized that if the recognition of speech whose basic frequency is relatively high, the glottal signal does not have to be recorded, which is particularly suitable because the recording technology (electroglottography) is uncomfortable for the speaker (the electrodes are placed externally, on the larynx).

## Conclusion

The FNN with one hidden layer that has the structure of 18-3-1 and the hyperbolic tangent transfer functions of all nodes is a good predictor of the speech signal, for the prediction of vowels. The prediction algorithm involves optimization techniques and pruning of neurons that do not have a significant impact on the change of prediction errors. Several optimization algorithms which are described in this paper can be applied to train a neural network. The most popular algorithms are the GD and the GN as well as a

combination of these which is known as the LM algorithm. For the GD algorithm, the optimization is based on the first derivative SSE which is calculated forward from the input layer to the output layer, after which the parameters are set backward, from the output to the input using the BP algorithm. The GN uses the quadrature approximation of the prediction error that is approximated by the Taylor series, so the optimization method includes solving a quadratic equation, as well. The second derivatives of the error are evaluated. In the first case, convergence is not fast enough, while in the second case the processing time and consumption are high, because of the necessity of calculation of inverse Hessian matrices. The LM algorithm is a combination of the two previous algorithms, which is determined with the damping factor (damping strategy) for the adjustment with the trade-off between the GD and the GN methods.

In this paper, the LM optimization algorithm was used to train the network. The network was tested after training, after which OBS pruning was derived. Those neurons that do not affect the change of the error were rejected by pruning, while the stopping criterion was the abrupt change of the NSSE.

The results showed that the LM algorithm provided high quality solutions in a prediction of vowels. The experiments were based on the prediction of the vowel „a“ that was pronounced by female and male speakers. The amplitudes of signals were normalized to the interval [-1, 1], and adjusted to the tanh transfer functions of neurons. That was also suitable for the comparison of male and female speakers. The optimization algorithm was based on the NSSE, in such a way that the training stopped when the NSSE was less than 0.001. The results showed that this was the proper value for the optimization criterion, considering that the optimized structure gave the minimum test error, and that pruning reduced FNN weights, which were mostly related to the glottal signal. The experiments have proved that OBS pruning can reduce the number of input parameters so that the glottal wave has no influence on the prediction for the female speaker. However, this did not stand for the male speaker, considering the lower basic excitation frequency, i.e. lower speed of opening and closing of the vocal cords. According to the results, it is obvious that the vowel “a” can be predicted right and without mistakes for the given FNN, the training based on the LM algorithm and the OBS pruning.

### References

Azimi-Sadjadi, M.R., & Liou, R.-. 1992. Fast learning process of multilayer neural networks using recursive least squares method. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 40(2), pp.446-450. doi:10.1109/78.124956

Bishop, C. 1995. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press. Oxford University Press.

- Fahlman, S.E. 1988. Fast-learning variation on back propagation: An empirical study. . In: Proceedings of the 188 Connectionist Model Schools, San Mateo, Pittsburg, USA., pp.38-51
- Gavin, H. 2013. *The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems*. Department of Civil and Environmental Engineering Duke University.
- Hansen, L.K., & Rasmussen, C.E. 1994. Pruning from Adaptive Regularization. *Neural Computation*, 6(6), pp.1223-1232. doi:10.1162/neco.1994.6.6.1223
- Hassibi, B., & Stork, D.G. 1993. Second order derivatives for network pruning: optimal brain surgeon. In S.J. Hanson, J.D. Cowan, & C.L. Giles Eds., *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp.164-171.
- Hassibi, B., Stork, D.G., & Wolff, G.J. 1993. Optimal Brain Surgeon and general network pruning. *IEEE International Conference on Neural Networks*. Retrieved from <http://systems.caltech.edu/EE/Faculty/babak/pubs/conferences/00298572.pdf> doi:10.1109/icnn.1993.298572
- Ihler, A. 2013. *Linear regression: Gradient descent & stochastic gradient descent*. Irvine: BREN:ICS University of California. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=WnqQrPNYz5Q>
- Kashyap, R. 1980. Inconsistency of the AIC rule for estimating the order of autoregressive models. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 25(5), pp.996-998. doi:10.1109/TAC.1980.1102471
- Larsen, J. 1993. *Design of Neural Networks*. Lyngby: Electronic Institute, DTH.
- Ljung, L. 1987. *System Identification: Theory for the User*. Prentice Hall Inc.
- Levenberg, K. 1944. A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares. *Quart Appl Math*, 2, pp.164-168.
- Marquardt, D.W. 1963. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *SLAMJ Appl Math*, 11(2), pp.431-441. doi:10.1137/0111030
- Ranganathan, A.(2004). *The Levenberg-Marquardt Algorithm*. Retrieved from <http://www.ananth.in/docs/lmtut.pdf>.
- Protic, D. 2014. A comparative analysis of Serbian phonemes: Linear and non-linear models. *Vojnotehnicki glasnik*, 62(4), pp.7-37. doi:10.5937/vojtehg62-5170
- Riecke, L., Esposito, F., Bonte, M., & Formisano, E. 2009. Hearing Illusory Sounds in Noise: The Timing of Sensory-Perceptual Transformations in Auditory Cortex. *Neuron*, 64(4), pp.550-561. doi:10.1016/j.neuron.2009.10.016
- Shahin, A.J., & Pitt, M.A. 2012. Alpha activity marking word boundaries mediates speech segmentation. *European Journal of Neuroscience*, 36(12), pp.3740-3748. doi:10.1111/ejn.12008
- Silva, L.M., de Sá, J.M., & Alexandre, L.A. 2008. Data classification with multilayer perceptrons using a generalized error function. *Neural Networks*, 21(9), pp.1302-1310. doi:10.1016/j.neunet.2008.04.004
- Wu, W., Wang, J., Cheng, M., & Li, Z. 2011. Convergence analysis of online gradient method for BP neural networks. *Neural Networks*, 24(1), pp.91-98. doi:10.1016/j.neunet.2010.09.007
- Young-tae, K., Ji-won, H., & Cheol-jung, Y. 2011. A new damping strategy of Levenberg-Marquardt algorithm for Multilayer Perceptrons. *Neural Network World*, 21(4), pp.327-340. doi:10.14311/nnw.2011.21.020
- Zinn-Bjorkman, L. 2010. *Numerical optimization using Levenberg-Marquardt Algorithm*. EES-16. LA-UR-11-12010. PowerPoint presentation. PowerPoint presentation.



## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ С ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ: АЛГОРИТМ ЛЕВЕНБЕРГА – МАРКВАРДТА И ОПТИМАЛЬНЫЙ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКИЙ ПРУНИНГ

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации  
 ТИП СТАТЬИ: оригинальная научная статья  
 ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

### Резюме

*Данная статья описывает процесс обучения, тестирования и прунинга нейронной сети с прямой связью с одним скрытым слоем, который был использован для прогнозирования гласного «а». Описаны алгоритмы Gradient Descent, Гаусса-Ньютона и Левенберга-Марквардта. Оптимизация методом нейрохирургического прунинга применена к подготовленной сети. Критерием останова является внезапное изменение нормированной суммы квадратов ошибок. Структура нейронных сетей с прямой связью (FNN) имела 18 входов (четыре для гортанных и 14 для образцов спектра речи). Результаты показали, что после обрезки гортанный сигнал не имеет никакого влияния на модели женской речи, в то время как на модели мужской речи такое влияние зафиксировано. В обоих случаях, структура FNN сводится к небольшому числу параметров.*

Ключевые слова: *Левенберг-Марквардт, анализ речи, нейронные сети с прямой связью.*

---

## FEEDFORWARD NEURONSKE MREŽE: LEVENBERG-MARQUARDT OPTIMIZACIJA I OPTIMAL BRAIN SURGEON PRUNING

OBLAST: telekomunikacije  
 VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak  
 JEZIK ČLANKA: engleski

### Sažetak:

*U radu su opisani obučavanje, testiranje i pruning feedforward neuronske mreže sa jednim skrivenim slojem koji je korišćen za predikciju vokala a. Opisane su Gradient Descent, Gauss-Newton i Levenberg-Marquardt optimizacione tehnike. Optimal Brain Surgeon pruning je primenjen na treniranu mrežu. Kriterijum zaustavljanja je nagla promena normalizovane sume kvadrata grešaka. Struktura feedforward neuronske mreže (FNN) bila je 18 ulaza (četiri za glotalne i 14 za odbirke govora). Rezultati su pokazali da, nakon pruninga, glotalni signal nema uticaja na model za ženskog govornika, dok utiče na predikciju govora kod muškog govornika. U oba slučaja, struktura FNN je redukovana na mali broj parametara.*

## Uvod

Veštačka neuronska mreža je jedna od najboljih struktura za rešavanje različitih problema koji se odnose na veštačku inteligenciju, prepoznavanje oblika, klasifikaciju, predikciju vremenskih serija i mnoge praktične probleme. Višeslojni perceptron je najstariji i najčešće korišćeni oblik veštačke neuronske mreže. Tipično, sastoji se od nekoliko slojeva neurona. Na ulazu mreže nalazi se više neurona, a na izlazu je moguće da postoji jedan ili više izlaznih neurona. Ukoliko je signal propagiran od ulaza ka izlazu onda je ovaj tip mreže tzv. feedforward neuronska mreža. Da bi bili određeni parametri ove mreže, potrebno je minimizirati funkciju greške. Kod gradient descent algoritma računaju se prvi izvodi greške i težine se podešavaju iterativnim putem. Signal greške se propagira unazad. Ova tehnika je poznata kao back-propagation algoritam. Težinski parametri u mreži podešavaju se po pravcu negativnog gradijenta funkcije po parametrima. Međutim, ovaj algoritam je relativno spor, pa rešenja mogu biti „zarobljena” u jednom od lokalnih minimuma, umesto da se izračuna globalni minimum.

Levenberg-Marquardt algoritam daje efikasna rešenja za konvergenciju i bolju optimizaciju, jer koristi i Gauss-Newton metod koji podrazumeva da je greška kvadratna u okolini optimalnog rešenja, što je bazirano na Tejlorovoj aproksimaciji drugog reda greške sume kvadrata. Na taj način feedforward neuronska mreža i Levenberg-Marquardt algoritam omogućuju da se lakše reše problemi konvergencije i trajanje računarskih procesa, što je karakteristično za višeslojne perceptrone.

U radu je prikazana predikcija vokala a za govornike oba pola. U eksperimentima je primenjena feedforward neuronska mreža sa jednim skrivenim slojem strukture 18 ulaza, 3 neurona u skrivenom sloju i jedan izlazni neuron (18-3-1). Aktivacione funkcije svih neurona bile su tangens-hiperbolične, a njihove početne vrednosti slučajni brojevi iz opsega  $[-1, 1]$ . Obučavanje je izvedeno na 1.700 odbiraka govornog signala i odgovarajućeg glotalnog signala, dok je mreža testirana na 1.700 odbiraka u nepoznatom delu signala. Prvih 14 ulaza u mrežu odgovaraju govornom signalu, a druga četiri odbircima glotalnog signala. Prediktuje se odbirak govora, a greška predikcije računa se kao razlika između tačne i prediktovane vrednosti signala i koristi se za dobijanje sume kvadrata. Reultujuća struktura je testirana na nezavisnom test-skupu, pa je izveden pruning tipa optimal brain surgeon. Ova tehnika redukuje broj neurona u skrivenom sloju tako da to ne utiče na ukupnu grešku. Kriterijum zaustavljanja je nagli skok normalizovane sume kvadrata grešaka.

## Levenberg-Marquardt optimizacija

LM algoritam je moguće posmatrati kao linearnu kombinaciju GD i GN metoda. Alternacija ova dva metoda zove se damping strategija koja je kontrolisana damping faktorom. Ukoliko je ovaj faktor veliki, LM se po-

naša kao GD, u suprotnom postaje GN metod. Ove metode su optimizacioni algoritmi za rešavanje problema minimizacije parametara, zasnovane na metodu najmanjih kvadrata. Podešavanje parametara zahteva parametarski model koji minimizira sumu kvadrata reziduala. Rezidual je razlika između tačne i prediktovane vrednosti odbirka signala.

Metod GD je optimizaciona tehnika kojom se minimiziraju vrednosti parametara u pravcu suprotnom gradijentu posmatrane funkcije. To je veoma konvergentan metod za pronalaženje minimuma jednostavnih funkcija. Predstavlja algoritam prvog reda, jer za optimizaciju koristi isključivo prve izvode funkcije grešaka, po parametrima modela.

U GN metodu suma kvadrata grešaka je redukovana uz pretpostavku da je LS funkcija lokalno kvadratura, pa je i nalaženje minimuma odgovarajuće. Pretpostavljeno je da je optimizaciona funkcija približno kvadratna u okolini optimalnog rešenja. Za probleme srednjeg nivoa GN metod brže konvergira od GD metoda.

Algoritam LM takođe obezbeđuje minimizaciju funkcije greške po vektoru parametara, koji je kombinacija prethodna dva metoda. Damping faktorom je određen izbor metode i načina obučavanja mreže. Za mali damping faktor algoritam je bliži GN optimizacionoj tehnici, dok je kod povećanja damping faktora optimizacioni algoritam sve bliži GD metodu. Podešavanje parametara bazirano je na promeni vrednosti damping faktora, a algoritam se odvija na sledeći način: ulazni signal se propagira ka izlazu, izračunaju se reziduali i primeni optimizacioni algoritam promenom parametara unazad. Ukoliko je optimizacioni kriterijum zadovoljen obučavanje se zaustavlja; u suprotnom se izvodi minimizacija korak po korak do zadovoljavanja optimizacionog kriterijuma.

Po Azimi-Sadjadi and Liou (1992) FNN sa jednim skrivenim slojem i nelinearnosti sigmoidalnog tipa može da aproksimira bilo koju nelinearnu funkciju i generiše svaki kompleksni region odlučivanja za proračune koji se odnose na klasifikaciju ili prepoznavanje. Optimizacioni proces odvija se na sledeći način: propagira signal kroz FNN u pravcu od ulaza ka izlazu, kako bi se odredio izlaz svakog sloja i generiše izlazni signal svakog čvora. Zatim se izračunaju matrice za promenu parametara i određuje stanje partikularnog čvora. Ako je izlaz u granicama, region se prihvata, u suprotnom se parametri menjaju i posmatra se sledeći čvor. Parametri se podešavaju rekurzijom.

Pruning je tehnika kojom je moguće minimizirati strukturu FNN. Odnosi se isključivo na skriveni sloj mreže. Postoje dva tipa pruninga: 1) inkrementalni koji počinje na ulaznom ili izlaznom sloju, inkrementalno smanjuje veličinu mreže i izvodi ponovni trening nakon svake iteracije i 2) selektivni pruning, koji počinje sa treniranom mrežom, fiksne veličine, i zatim uklanja skrivene neurone koji ne utiču na grešku neuronske mreže. Na taj način neproduktivni neuroni su uklonjeni. Nakon što je podešavanje završeno, pruning se izvodi na sledeći način: za mrežu koja je obučena da daje lokalni minimum greške, linearni deo, kao i viši delovi (stepenovi) u Tejlorovoj jednačini nestaju. Cilj je da se težine, tj. parametri postave na nulu.

## Rezultati

Eksperimenti su izvedeni na vokalu *a* koji su izgovarali žena i muškarac. Govorni i glotalni signal korišćeni su za obučavanje i testiranje. To je izvedeno na 1.700 odbiraka vokala *a*, uključujući i odgovarajući glotalni signal. Algoritam LM je korišćen za obučavanje i optimizaciju. Struktura je bila 18-3-1, što znači 18 ulaza (14 za govorni i 4 za glotalni signal), 3 neurona u skrivenom sloju i jedan izlazni neuron, sa tangens hiperboličnom prenosnom funkcijom svakog neurona. S obzirom na to da su izlazi iz neurona limitirani na vrednosti (-1, 1), i signali su normalizovani u granice [-1, 1]. Početne vrednosti parametara izabrane su slučajno iz istog intervala. Ova struktura simulira sistem za proizvođenje govora (glotalni i vokalni trakt). Normalizovana suma najmanjih kvadrata (NSSE) korišćena je za optimizaciju. Nakon toga, Optimal Brain Surgeon primenjen je kao pruning. Za govornika ženskog pola optimalna je struktura 14-3-1, dok je za muškarca optimalna struktura neuronske mreže 16-3-1. Trening je izveden tako da je  $NSSE_{train}$  manja od 0,001. Rezultujuća struktura testirana je na nezavisnom test skupu, i izračunata je vrednost  $NSSE_{test}$ . Primenjen je OBS pruning na dobijenu strukturu. Kriterijum zaustavljanja pruninga jeste da je nagla promena u  $NSSE_{prune}$  10 i više puta veća od minimalnih dobijenih NSSE grešaka. Nelinearna struktura kod žene pokazala se kao dobar prediktor, kod kojeg nema uticaja glotalnog signala na predikciju. Kod muškarca postoji uticaj glotalnog signala, što je najverovatnije rezultat niske učestanosti pobude.

U oba slučaja, struktura FNN nije bitno redukovana, tako da je, u slučaju da nije moguće primeniti pruning, moguće koristiti potpuno povezanu mrežu, bez bitnih razlika. Posebna pogodnost je što kod visokih osnovnih učestanosti pobude nije neophodno koristiti elektrotografiju, tehniku snimanja glotalnog signala koja je nekomformna za govornika, jer se, umesto mikrofona, elektrode stavljaju spolja, na larings.

## Zaključak

FNN sa jednim skrivenim slojem, strukturom 18-3-1 i tangens hiperboličnim prenosnim funkcijama svih čvorova predstavlja dobar prediktor govornog signala, kada je osnova predikcije vokal. Algoritam predikcije podrazumeva optimizacione tehnike i pruning neurona koji ne utiču bitno na promenu greške predikcije. Nekoliko optimizacionih algoritama koji su opisani u ovom radu može se primeniti za trening neuronske mreže. Najpopularniji od njih su GD i GN, kao i njihova kombinacija LM algoritam. Kod GD algoritma optimizacija je bazirana na prvim izvodima funkcije SSE greške po parametrima modela unapred, a parametri se podešavaju unazad od izlaza ka ulazu, BP algoritmom. GN koristi kvadratnu aproksimaciju greške parametara koja je razvijena u Tejlorov red, pa i optimizacioni metod podrazumeva rešavanje kvadratnih jednačina. Računaju se drugi izvodi funkcije greške. U prvom slučaju konvergencija je nedovoljno brza, dok je u drugom slučaju za izvršenje algorit-

ma procesno vreme i potrošnja velika, jer je potrebno izračunati inverzne Hesijanove matrice.

Algoritam LM je kombinacija prethodna dva algoritma koja je određena damping faktorom (damping strategija) koji vrši prilagođenje tako da pravi trade-off između GD i GN metoda.

U ovom radu korišćen je LM optimizacioni algoritam za trening mreže. Mreža je nakon treninga testirana, pa je izveden OBS pruning. Pruningom je odbačen višak neurona kada je kriterijum zaustavljanja nagli skok NSSE greške.

Rezultati su pokazali da LM algoritam daje dobra rešenja kod predikcije vokala *a*. Eksperimentima je, pored toga, dokazano da je pruningom moguće redukovati broj ulaznih parametara, tako da glotalni talas nema uticaja na predikciju kod ženskog govornika, što nije slučaj kod muškarca, s obzirom na nižu osnovnu učestanost pobude, odnosno manju brzinu otvaranja i zatvaranja glasnih žica.

Ključne reči: Levenberg-Marquardt; analiza govora; pruning; feedforward neuronske mreže.

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 08. 01. 2015.  
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 01. 03. 2015.  
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 03. 03. 2015.

# НАВЕДЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕЖДУ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ ЧАСТИЦАМИ НА НАНОУРОВНЕ

Леонид И. Гречихин <sup>а</sup>, Светлана Д. Латушкина <sup>б</sup>,  
Викентия М. Комаровская <sup>в</sup>

<sup>а</sup> Белорусская государственная академия авиации, Минск,  
Республика Беларусь, e-mail: Gretchihin@yandex.ru

<sup>б</sup> Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск,  
Республика Беларусь, e-mail: phti@tut.by

<sup>в</sup> Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь, e-mail: maratovna81@tut.by

DOI: 10.5937/vojtehg63-7721

ОБЛАСТЬ: материаловедение на нанорурне  
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: русский

## *Краткое содержание:*

*Обосновано наличие потенциального барьера на границе раздела взаимодействующих частиц. Формирование потенциального барьера в зоне контакта существенно увеличивает энергию связи бинарного взаимодействия. Показано, какую совокупность разных взаимодействий необходимо учитывать при установлении энергии бинарной связи.*

*Ключевые слова: бинарное взаимодействие, потенциальный барьер, энергия связи.*

## Введение

Развитие современного материаловедения основано на последних достижениях нанотехнологий. Это создание новых композиционных материалов на нанорурне, обоснование нанотрибологии и др. Совершенствование нанотехнологий основано на четком описании всех возможных связей между атомами, молекулами, кластерами с анализом разных агрегатных состояний. Во всех этих случаях решающую роль выполняют бинарные взаимодействия. Бинарное взаимодействие является основным механизмом в процессе формирования простых и сложных молекул, а также разных кластерных структур. В настоящее время разработано большое количество квантово-механических методов расчета

энергий связи в сложных молекулярных структурах. Чтобы получить хорошее совпадение с экспериментальными данными, используют разные аппроксимации. При этом применяют сложный потенциал взаимодействия или усложняют вид волновой функции, что в конечном итоге не позволяет применять разработанные модели для анализа широкого класса взаимодействующих частиц. Даже для более простых взаимодействующих частиц, как атомы водорода при образовании молекулы водорода получали хорошее совпадение энергии диссоциации путем конструирования волновой функции с большим количеством поправок.

Молекула водорода интенсивно изучалась в 30-е годы прошлого столетия. Обзор этих работ дан в работе (Гомбаш, 1952). Приведем итоговую таблицу, взятую из этой работы (Табл. 1).

Таблица 1 – Методы расчета и результаты определения равновесного расстояния, энергии диссоциации и эффективного заряда молекулы водорода

Tabela 1 – Metode proračuna i rezultati određivanja izjednačenog rastojanja, energije disocijacije i efektivnog punjenja molekula vodonika

Table 1 – Calculation methods and the results of determining equalized distance, dissociation energy and efficient hydrogen molecule charge

Метод	$R_e$ , Å	$D$ , эВ	$Z'$
1. Гайтлера-Лондона	0,80	3,2	-
2. Гунда-Милликена	0,73	3,47	1,193
3. Хиллерааса	-	3,6	-
4. Ванга	0,76	3,76	1,166
5. Вейнбаума (1)	0,77	4,0	1,193
Вейнбаума (2)	0,77	4,1	1,190
6. Розена с учетом поляризации	0,75	4,02	1,19
7. Джемса и Кулиджа			
С учетом 5-ти членов		4,507	
С учетом 11-ти членов		4,685	
С учетом 13-ти членов	0,74	4,698	
С учетом поправок	0,74	4,722 ± 0,013	
Экспериментальное значение	0,7395	4,73 ± 0,04	

В методе Гайтлера-Лондона использовалась обычная теория возмущений в квантовой механике для определения ковалентной связи без учета взаимодействия электронов и возникновения ионной связи вследствие поляризации молекулы водорода. Поэтому было получено малое значение энергии диссоциации.

Слэтер учел взаимодействие спинов электронов и получил практически мало отличающееся значение от того, что было получено Гайтлером и Лондоном.

В методе Гунда-Милликена учтено, что уравнение Шредингера распадается на два уравнения для двух электронов. При этом каждый электрон находится в основном состоянии ионизированной мо-

лекулы водорода. В этом методе не учтено взаимодействие электронов и поляризация электронных орбит обоих электронов. Поэтому также получено малое значение энергии диссоциации.

В методе Хиллерааса в результирующей волновой функции учтены все возможные возбужденные состояния молекулы водорода, что также не представляет особого интереса.

В методе Ванга была применена результирующая волновая функция с учетом перестановки электронов. Получено несколько лучшее значение, но по-прежнему заметно отличается от экспериментально полученной величины.

В методе Розена дополнительно была учтена поляризация вследствие обобщения валентных электронов исходных атомов водорода. Учет явления поляризации был произведен вследствие пребывания обоих электронов у одного из ядер атомов водорода без четкого определения вероятности возникновения такого состояния. Кроме этого эффект взаимодействия электронов учтен только при их расталкивании без притяжения вследствие обмена.

В методе Вейнбаума учтено, что молекула водорода может пребывать в гомеоплярном и гетероплярном состояниях. Коэффициент связи в волновой функции между этими состояниями рассматривался как вариационный параметр, который должен находиться между 0 и 1. В частности он был определен как 0,256. Такая достаточно грубая вариационная теория не дала желаемого результата.

В методе Джемса и Кулиджа волновая функция представлялась в виде ряда с вариационными коэффициентами. В результате, используя 13 членов в общей волновой функции, было получено значение, совпадающее с экспериментально измеренным. На этом была поставлена точка и больше к молекуле водорода не возвращались.

Во всех методах эффективный заряд ядер атомов водорода  $Z$  рассматривался как вариационный параметр, который определялся из минимума энергии взаимодействия. Этот параметр оказался больше единицы, а это противоречит закону сохранения заряда.

Вариационная математическая модель Джемса и Кулиджа не отражает физическое состояние молекулы водорода. Чтобы результирующая волновая функция для двух валентных электронов состояла из 13 членов, это просто не возможно. Сам же вариационный метод является больше математической, чем физической моделью. В этой связи возникла **цель**: создать адекватную квантово-механическую модель с учетом взаимной поляризации при обмене электронами, которая позволила бы получать правильный результат без применения вариационного метода и обосновывать двухчастичную квантовую механику анализа формирования разных простых и сложных молекулярных систем, а также кластерных образований в разных агрегатных состояниях



Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

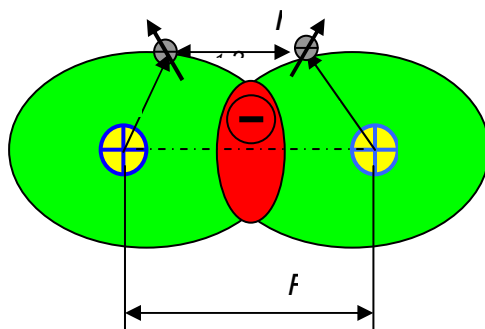
- правильно представлять волновую функцию двухчастичной квантово-механической модели;
- уточнить метод Гайтлера-Лондона применительно к двухчастичной квантово-механической модели;
- разработать четкую теорию возникновения ионной связи;
- обосновать причину возникновения отрицательного потенциального барьера вследствие обмена валентными электронами;
- произвести расчет энергии диссоциации молекулы водорода и сравнить с экспериментальными данными;
- наметить пути совершенствования модели с целью ее применения к более сложным квантово-механическим системам.

Последовательно рассмотрим поставленные задачи.

## Волновая функция двухчастичной квантово-механической системы

Схематично бинарное взаимодействие двух независимых частиц А и В, а также наиболее вероятная траектория движения валентных электронов приведены на фиг. 1. Результирующая волновая функция бинарного взаимодействия с учетом обмена валентными электронами, которая определяет силы притяжения, а это симметричная волновая функция, которая представляется следующим образом:

$$\Phi_{a,b} = \Psi_{a,1} \Psi_{b,2} + \Psi_{a,2} \Psi_{b,1}. \quad (1)$$



Фигура 1 – Схема бинарного взаимодействия

Slika 1 – Šema binarne interakcije

Figure 1 – Binary interaction scheme

Здесь волновые функции применительно к отдельным электронам сложной атомной или молекулярной системе представляются в виде

$$\Psi_{A(B)} = \left( \frac{Z^*}{\pi n^*} \right)^{1/2} \exp \left[ -\frac{Z^*}{n^*} r_{a(b)} \right] \quad (2)$$

где  $Z^*$  и  $n^*$  - соответственно эффективный заряд и эффективное главное квантовое число для валентных электронов взаимодействующих частиц  $A$  и  $B$ . Применительно к молекуле водорода  $Z^* = 1$  и  $n^* = 1$ . Для атомов водорода радиусы  $r_a = r_b = 0,529 \text{ \AA}$ , а межъядерное расстояние  $R_{a,b} = R_e = 0,7395 \text{ \AA}$ . Эти данные получены из анализа спектра излучения молекулы водорода и являются достаточно надежными.

Применяя волновую функцию (2) произведем расчет ковалентной связи атомов в самом простом случае, когда образуется молекула водорода.

## Двухчастичная квантово-механическая модель

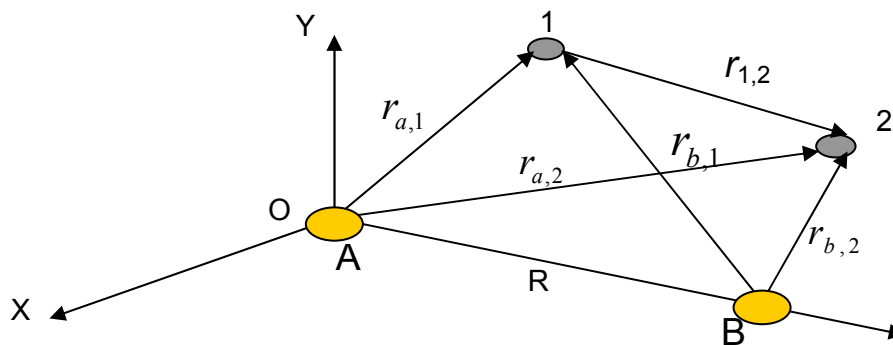
Для волновой функции (1) стационарное уравнение Шредингера в нерелятивистском приближении принимает вид:

$$\hat{H}' \Phi_{a,b} = E_{a,b} \Phi_{a,b}, \quad (3)$$

где  $\hat{H}'$  - возмущающий член общего гамильтониана двух взаимодействующих центров  $A$  и  $B$ ;  $E_{a,b}$  - энергия бинарного взаимодействия.

Возмущающий член общего гамильтониана в координатах Хиллера-аса представляется в виде следующего оператора:

$$\hat{H}' = -\frac{1}{r_{a,2}} - \frac{1}{r_{b,1}} + \frac{1}{r_{1,2}} + \frac{1}{R_{a,b}}. \quad (4)$$



Фигура 2 – Общая схема взаимодействия одной пары электронов частиц A и B в бинарном приближении

Slika 2 – Šema interakcije jednog para čestica elektrona A i B u binarnom približavanju  
Figure 2 – Scheme of the interaction of one pair of electron particles A and B in binary bonding

Здесь  $R_{a,b}$  – расстояние между ядрами взаимодействующих частиц A и B.

На фиг. 2 приведена схема бинарного взаимодействия и соответствующие обозначения.

Решая уравнение (3) для симметричной волновой функции, выраженной в соответствии с (1) и с учетом (4), получаем для бинарного взаимодействия:

$$W_{св}^{бин} = \frac{H_{1,1} + H_{1,2}}{1 + S}. \quad (5)$$

В свою очередь

$H_{1,1} = \iint \Psi_a^*(r_{a,1}) \Psi_b^*(r_{b,2}) \hat{H}' \Psi_a(r_{a,1}) \Psi_b(r_{b,2}) d\xi_1 d\xi_2$  – кулоновский интеграл;

$H_{1,2} = \iint \Psi_a^*(r_{a,2}) \Psi_b^*(r_{b,1}) \hat{H}' \Psi_a(r_{a,2}) \Psi_b(r_{b,1}) d\xi_1 d\xi_2$  – обменный интеграл и

$S = \iint \Psi_a^*(r_{a,1}) \Psi_b^*(r_{b,2}) \Psi_a(r_{a,2}) \Psi_b(r_{b,1}) d\xi_1 d\xi_2$  – интеграл перекрытия.

При вычислениях интегралов кулоновского и обменного, а также интеграла перекрытия использовались биполярные интегралы, значения которых приведены в работе (Гомбаш П. 1952).

Энергию отталкивания электронов

$$\iint \Psi_a^*(r_{a,1}) \Psi_b^*(r_{b,2}) \frac{1}{r_{1,2}} \Psi_a(r_{a,2}) \Psi_b(r_{b,1}) d\xi_1 d\xi_2, \quad (6)$$

легко вычислить, если обратное расстояние  $1/r_{1,2}$  разложить в ряд по обратным степеням расстояния между взаимодействующими центрами:

$$\frac{1}{r_{1,2}} = \frac{1}{|\vec{R} - (\vec{r}_a - \vec{r}_b)|} = \sum_{\lambda=0}^{\infty} r_{a,1}^{-\lambda} R_{a,b}^{-(\lambda+1)} P_{\lambda}(\cos\theta), \quad (7)$$

где  $P_{\lambda}(\cos\theta)$  – шаровая функция Лежандра. Поскольку  $|\vec{R}_{a,b}|$  достаточно велико, то в (7) можно ограничиться двумя членами разложения, т.е., вторым приближением.

Выражение (5) позволяет получать ковалентную связь до равновесного расстояния между взаимодействующими частицами. При расстояниях, меньших равновесного, для описания бинарного взаимодействия используют разные аппроксимации. Наиболее хорошее совпадение при малых значениях расстояний между ядрами атомарных частиц позволяет получать аппроксимация Леннарда - Джонса вида:

$$U(r) = -\frac{a}{r^6} + \frac{b}{r^{12}}, \quad (8)$$

Постоянные  $a$  и  $b$  в потенциале Леннарда - Джонса определяются по значению энергии связи и равенству нулю первой производной от выражения (8) на равновесном расстоянии, т.е.,

$$a = 2E_{св} R_{a,b}^6; \quad b = E_{св} R_{a,b}^{12}. \quad (9)$$

Конкретный расчет ковалентной энергии связи атомов в молекуле водорода приведен в табл. 2. Полученное значение ковалентной связи совпадает с выполненными расчетами по методу Гайтлера-Лондона (табл. 1). Это вполне понятно, так как расчет ковалентной связи производился в соответствии с этим методом.

Таблица 2 – Величина ковалентной, ионной и наведенной связи при обменном взаимодействии, эВ

Tabela 2 – Vrednost kovalentne, jonske i indukovane veze pri uzajamnoj interakciji eV  
Table 2 – Value of the covalent, ionic and induction bonding at the mutual interaction eV

Молекула	Параметры					
	$R_{a,b}, \text{Å}$	$E_{ков.}$	$E_{ион.}$	$E_{взаим}$	$E_{св.,рез.}$	$E_{св.,экс.}$
H <sub>2</sub>	0,7395	3,19	0,598	0,911	4,70	4,73±0,04

Интеграл перекрытия  $S$  следует рассматривать, как вероятность перехода валентного электрона от одной взаимодействующей частицы к другой.

## Ионная связь

Ионная связь определяется вероятностью пребывания обоих валентных электронов вблизи одного из частиц. В этом случае возникает поляризация молекулы, которая учитывалась Розеном. Величину ионной связи Лайнус Полинг (Полинг Л., Полинг П. 1978.) предложил определять чисто эмпирически по величине относительной электроотрицательности, полагая для фтора электроотрицательность равной 4. Для некоторых молекул такой подход давал правильный результат. Например, для молекулы водорода электроотрицательность равна нулю, а, следовательно, и ионная связь равна нулю. На самом деле пребывание двух электронов вблизи одного из атомов вполне реальное событие и ионная связь не должна быть равна нулю.

Следующий шаг в этом направлении был сделан в работе (Коллсон Ч. 1965). Доля ионной связи определялась по величине дипольного электрического момента результирующего силового центра молекулы. В случае молекулы водорода дипольный электрический момент отсутствует. Поэтому ионная связь равна нулю, а это не так.

Определить долю ионной связи можно более простым способом, а именно по времени пребывания валентных электронов вблизи взаимодействующих частиц. Время пребывания валентного электрона вблизи одного из ядер равно:

$$\tau = \frac{2\pi r_n}{v_n}, \quad (10)$$

где  $r_n$  и  $v_n$  – соответственно радиус  $n$ -й орбиты вращения валентного электрона и его скорость вращения на этой орбите. Оба эти параметра определяются из закона сохранения момента импульса. В соответствии с моделью атома по Бору-Зоммерфельду скорость движения валентного электрона в заданном энергетическом состоянии  $\epsilon_k$  из закона сохранения момента импульса и равенства центробежной и центростремительной сил выражается следующим образом:

$$v_k = \begin{cases} \frac{Z^* e^2}{2\epsilon_0 h n^*} & \text{при } l = 0; \\ \frac{Z^* e^2}{2\epsilon_0 h \sqrt{l(l+1)}} & \text{при } l \geq 1; \end{cases}, \quad (11)$$

где  $n^*$  – эффективное главное квантовое число;  $e$  – заряд электрона;  $h$  – постоянная Планка;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая

проницаемость вакуума,  $Z^*$  – эффективный заряд ядра атома. Квантово-механическая зависимость от азимутального квантового числа  $l$  в виде корня квадратного  $\sqrt{l(l+1)}$  связана с тем, что электрон в состоянии с  $l \geq 1$  в перигее проникает внутрь электронного остова и эффективный заряд ядра возрастает. В свою очередь

$$n^* = \sqrt{\frac{E_H}{\theta_i - \varepsilon_k}}; \quad Z^* = \gamma - S/2, \quad (12)$$

где  $E_H$  – энергия ионизации атома водорода,  $\theta_i$  – энергия ионизации взаимодействующих атомов;  $\varepsilon_k$  – рассматриваемое энергетическое состояние;  $S$  – интеграл перекрытия и  $\gamma = 4\pi\varepsilon_0 \langle r \rangle \theta_i / e^2$  – эффективный заряд изолированного нейтрального атома, определяемый по значению энергии ионизации  $\theta_i$  и среднего значения радиуса атома  $\langle r \rangle$ .

Если  $\tau_1$  и  $\tau_2$  время пребывания валентного электрона соответственно вблизи первой и второй взаимодействующих частиц, то вероятность нахождения валентного электрона вблизи первой частицы:

$$P_1 = \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \left( 1 - \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \right), \quad (13)$$

а вблизи второй частицы:

$$P_2 = \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \left( 1 - \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \right). \quad (14)$$

Как в первом, так и во втором случаях возникает ионная связь. В результате вероятность возникновения доли ионной связи равна сумме этих вероятностей:

$$\Theta = P_1 + P_2. \quad (15)$$

Все одинаковые частицы в соответствии с (13) – (15), не зависимо от их строения, на близких расстояниях при бинарном взаимодействии с вероятностью 0,5 могут пребывать друг относительно друга в виде отрицательных ионов. Однако при этом следует учитывать вероятность обмена валентными электронами в процессе взаимодействия, которая определяется величиной интеграла перекрытия. По-

этому следует рассматривать совместную вероятность следующего события: валентный электрон с вероятностью  $P_1$  находится вблизи атома А и не переходит к атому В с вероятностью  $1 - S$ , а валентный электрон с вероятностью  $P_2$  пребывает вблизи атома В и переходит к атому А с вероятностью  $S$ . Учитывая идентичность атомов и неразличимость электронов, ионная связь для молекулы водорода

$$E_{\text{ион.}} = \frac{2P_1P_2S(1-S)e^2}{4\pi\epsilon_0 R_{a,b}}. \quad (16)$$

Конкретный расчет, выполненный по (16) для молекулы водорода, приведен в табл. 2. Результирующее значение совместно с ковалентной связью дает значение 3,79 эВ. Результат получается близким к значению, которое было получено Розеном (табл. 1).

### Наведенная энергия связи<sup>1)</sup>

Кроме этого следует учитывать следующее обстоятельство. Электрон, переходя от одного атома к другому, частично отражается и задерживается на границе раздела взаимодействующих атомов. Вероятность такого события равна произведению  $P_1(1-S)$ . Одновременно и второй электрон, отражается от границы раздела с вероятностью  $P_2(1-S)$ . Возникшее облако электронной плотности на границе раздела создает отрицательный барьер, который взаимодействует с ионным остовом первой и второй частиц. В результате возникает дополнительная энергия связи

$$E_{\text{взаим.}} = \frac{2P_1P_2(1-S)^2 e^2}{4\pi\epsilon_0 0,5R_{a,b}} (1-D) \quad (17)$$

где  $D$  – коэффициент прозрачности потенциального барьера.

Расчет по (17) приведен в табл. 2. Результирующая энергия связи является энергией диссоциации и совпадает с экспериментальным значением. Возникает вопрос, как разработанную модель описания бинарного взаимодействия применить не только к молекуле водорода, но и к другим более сложным молекулярным и атомным системам.

<sup>1)</sup> Этот вид связи был уточнен авторами и позволил создать физическую модель формирования бинарного взаимодействия, а на примере молекулы водорода показать эффективность предложенной модели.

## Описания сложных молекулярных систем

Двухчастичная квантовая механика применительно к сложным молекулярным системам разработана и описана в работах (Гречихин Л. И. 2004) и (Гречихин Л. И. 2008), а для конденсированных систем впервые применена в работе (Гречихин Л. И., Василенко А. Г., Спиридонов Н. В. и др. 1990). В основу предложенной физической модели положены следующие принципы:

1. В каждом бинарном взаимодействии учитываются ковалентные связи:

а) валентных электронов первой кратности ионизации друг с другом; б) электронов второй кратности ионизации с валентным электроном первой кратности ионизации, электронов третьей кратности ионизации с первой и второй кратностью ионизации и с) электронов второй и третьей кратности ионизации друг с другом и т.д.

Волновые функции взаимодействующих частиц определяются по формулам (1) и (2). Для расстояний меньше равновесного для атомов применяется аппроксимация Леннарда-Джонсона, а для молекулярных систем – аппроксимация Морза.

2. Доля ионной связи для взаимодействующих частиц определяется по времени пребывания валентного электрона вблизи каждой частицы в бинарном взаимодействии с учетом их обобщения.

3. Учитывается образование отрицательного потенциального барьера между взаимодействующими частицами, который в ряде случаев в основном определяет энергию бинарной связи.

4. Расчет электрон-дипольной и диполь-дипольной связей выполняется с учетом присутствия встроенных электрических моментов в частицах ионного остова.

Полученные результаты определения энергий бинарной связи с учетом образования отрицательного потенциального барьера между взаимодействующими частицами позволили не только правильно обосновать формирование сложных молекулярных систем, но и получить структуру многих кластерных образований в разных агрегатных состояниях. Для нанопленок установлено новое агрегатное состояние в виде плотно упакованной структуры без наличия межкластерных пустот (Гречихин Л. И. 2012).

## Выводы

Проведенные исследования формирования бинарной связи позволили на примере молекулы водорода, как достаточно известной структуры, установить наличие отрицательного потенциального барьера на границе раздела взаимодействующих частиц. Наличие такого



потенциального барьера существенно увеличивает энергию связи бинарного взаимодействия. Показано, как правильно учитывать долю ионной связи. Разработанная двухчастичная квантовая механика успешно применена для получения энергий связи бинарного взаимодействия многих сложных молекулярных систем и позволила правильно описать кластерную структуру разных конденсированных сред.

### *Литература / Literature*

Гомбаш, П. 1952. Проблема многих частиц в квантовой механике. (Теория и методы решения). Москва: Мир., стр.279. (Gombas, P.1952. Theory and method solution of many particle problems in Quantum mechanics. Mir, p.270).

Гречихин, Л.И. 2004. *Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства.* Минск.: УП "Технопринт", стр.399. (Gretchikhin, L.I. 2004. Physics of nanoparticles and nanotechnologicals. General foundations, mechanical, thermal and emission properties. Mn.: UP "Technoprint", p.399).

Гречихин, Л.И. 2008. *Наночастицы и нанотехнологии.* Минск: ИООО «Право и экономика», стр.406. (Gretchikhin, L.I. 2008. Nanoparticles and nanotechnologicals. Mn.: ИООО "Law and Economics", p.406).

Гречихин, Л.И., Василенко, А.Г., Спиридонов, Н.В., & и др., 1990. Повышение адгезионной связи оплавленных лазерным излучением газотермических покрытий. *Физика и химия обработки материалов*, 3, стр.76-81. (Gretchikhin, L.I., Vasilenko, A.G., Spiridonov, N.V. and others. 1999. Increase of adhesives connection gas-thermal surface ways and means of the laser radiation. /Physics and Chemistry process, 3, pp.76-81).

Гречихин, Л.И. 2012. Плотнупакованное состояние – основа нанотехнологий. У: Машиностроение и техносфера XXI века //Сб. трудов XIX международной научно- технической конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2012 г. в 3-х томах. Донецк: ДонНТУ., стр.195-197 (Gretchikhin, L.I., 2012. The thickness condition – basis of nanotechnologicals. In: Mechanical engineering and technical region XXI century //Proceedings of XIX International Scientific Technical Conference in Sevastopol 17-22 September 2012 j. in 3 volumes. Donetsk: DonNTU. V. 1, pp.195-197).

Коулсон, Ч. 1965. *Валентность.* Москва: Мир., стр.426. (Coulson, C. 1965. Valence. M.: "Mir", p.426).

Полинг, Л., & Полинг, П. 1978. *Химия.* Москва.: Мир., стр.683. (Poling, L., & Poling, P.1978. Chemistry. M.: Mir, p.683).

### INDUKOVANI POTENCIJAL IZMEĐU INTERAKTIVNIH ČESTICA U NANO NIVOIMA

*Leonid I. Grečihin*<sup>a</sup>, *Svetlana D. Latuškina*<sup>b</sup>, *Vikentija M. Komarovskaja*<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Beloruska državna vazduhoplovna akademija, Minsk, Republika Belorusija,

<sup>b</sup> Fakultet fizike i tehničkih nauka NAN Belorusije, Minsk, Republika Belorusija,

<sup>c</sup> Beloruski nacionalni tehnički univerzitet, Minsk, Republika Belorusija

OBLAST: nanomaterijali

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: ruski

**Sažetak:**

*U članku je objašnjena pojava stvaranja potencijalne barijere na pragovima razdvajanja čestica u interakciji. Stvaranje potencijalne barijere u kontaktnoj zoni znatno povećava vezanu energiju binarne interakcije. U radu su navedene različite vrste interakcija relevantne za stvaranje energije binarne veze.*

**Ključne reči:** *binarna interakcija, potencijalna barijera, vezana energija.*

---

**INDUCED POTENTIAL BETWEEN INTERACTING PARTICLES AT NANOLEVELS**

*Leonid I. Gretchihin*<sup>a</sup>, *Svetlana D. Latushkina*<sup>b</sup>, *Vikentiya M. Komarovskaya*<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Belarusian State Academy of Aviation, Minsk, Republic of Belarus,

<sup>b</sup> Physico-Technical Institute, National Academy of Sciences, Minsk, Republic of Belarus

<sup>c</sup> Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

FIELD: Nanomaterials

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: Russian

**Summary:**

*One has substantiated the existence of a potential barrier at the interface of interacting particles. The formation of the potential barrier in the contact area significantly increases the binding energy of the binary interaction. It has been shown which sets of different interactions should be taken into account when establishing the energy of binary binding.*

**Key words:** *binary interaction, potential barrier, binding energy.*

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 12. 02. 2015.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 14. 03. 2015.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 16. 03. 2015.

# PREGLED METRIKA RUTIRANJA ZA VIŠEKANALNE VIŠEINTERFEJSNE BEŽIČNE MESH MREŽE

Marija Z. Malnar <sup>a,b</sup>, Nataša J. Nešković <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd

<sup>b</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd

e-mail: m.malnar@sf.bg.ac.rs; natasha@etf.rs

DOI: 10.5937/vojtehg63-7448

OBLAST: telekomunikacije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

## Sažetak:

Bežične mesh mreže – WMNs (*Wireless Mesh Networks*) predstavljaju noviji trend u bežičnim komunikacijama kojim se obezbeđuju veća fleksibilnost, pouzdanost i bolje performanse nego standardnim bežičnim lokalnim mrežama. Imajući u vidu sve veće potrebe korisnika za brzim i efikasnim prenosom podataka, povećanje protoka, ostvarenje uvođenjem višekanalnih višeinterfejsnih – MCMI (*Multi-Channel Multi-Interface*) WMNs, predstavlja glavni izazov u projektovanju WMNs. Kako bi se ostvarile što bolje mrežne performanse neophodno je definisati protokole i metrike rutiranja kojima se određuje optimalna putanja između izvorišnog i odredišnog čvora. S obzirom na to da WMN karakteriše velika dinamika signala, posebno kada se realizuju u kompleksnim okruženjima kakva su zatvoreni objekti, neophodno je definisati metrike rutiranja koje mogu da isprate brze promene uslova propagacije koje se dešavaju na svakom pojedinačnom linku u mreži. U ovom radu predstavljen je kritički osvrt na najpoznatije metrike rutiranja za MCMI bežične mesh mreže. Navedeni su osnovni kriterijumi za formiranje metrika rutiranja, kao što su: interferencija, količina informacija, opterećenje linka, agilnost, stabilnost i sposobnost praćenja brzih promena na svakom linku. Opisani su i novi trendovi u razvoju metrika rutiranja za bežične mesh mreže, kao i poređenje opisanih metrika u skladu sa prethodno pomenutim kriterijumima. Na kraju rada predstavljena su zaključna razmatranja.

Ključne reči: kanal, protokoli rutiranja, bežične mesh mreže, rutiranje, metrike, interferencija.

\* ZAHVALNICA: Autor se zahvaljuje za finansijsku podršku, Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (naziv projekta: Razvoj novih metoda i alata za unapređenje performansi, mrežne i ekonomske efikasnosti telekomunikacionih mreža naredne generacije, TR32025).

## Uvod

Primena bežičnih komunikacija raste svakim danom i može se reći da savremeno društvo ne bi funkcionisalo bez njih. Potrebu za sve većim kapacitetima bežičnih komunikacionih mreža povećavaju laptop uređaji, tablet računari, mobilni telefoni i slični uređaji. Usled porasta popularnosti bežičnih mreža, sve su aktuelniji zahtevi korisnika za velikim protocima podataka. Sa druge strane, cena bežičnih uređaja je u opadanju, pa i ta činjenica dodatno podstiče sve veće razmene saobraćaja bežičnim putem.

Bežične *mesh* mreže – WMNs (*Wireless Mesh Networks*) predstavljaju noviji trend u bežičnim komunikacijama koji obezbeđuje veću fleksibilnost, pouzdanost i bolje performanse u poređenju sa standardnim bežičnim lokalnim mrežama. Mreže koje rade sa jednim radio-interfejsom (primopredajnikom) i na jednom radio-kanalu više ne mogu da zadovolje sve veće zahteve korisnika za velikim protocima i brzim i efikasnim prenosom podataka. Zato se sve veća pažnja posvećuje razvoju tzv. višekanalnih višeinterfejsnih mreža, u okviru kojih svaki čvor ima više radio-interfejsa koji mogu da rade na više radio-kanala.

Analize protokola i metrika rutiranja od velikog su teorijskog i praktičnog značaja za procenu performansi bežičnih komunikacionih sistema već duži niz godina. Protokoli rutiranja imaju važnu ulogu u pronalaženju optimalne putanje, konfiguraciji mreže, održavanju mreže i kreiranju mrežne topologije. Za određivanje optimalne putanje od izvora do odredišta protokoli rutiranja koriste različite metrike rutiranja.

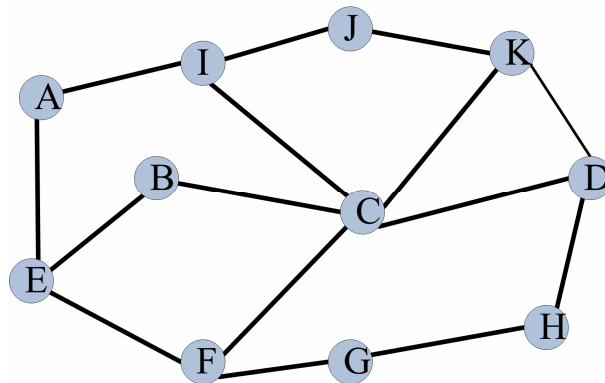
Metrika rutiranja predstavlja pravilo po kojem se od više formiranih putanja od izvorišta do odredišta podataka bira optimalna. Metrika se može definisati za putanju – metrika putanje ili za link – metrika linka. Metrika putanje predstavlja „težinu”, odnosno „cenu” jedne putanje od izvora do odredišta i zavisi od metrika linkova na toj putanji. Prilikom formiranja metrike rutiranja uzimaju se u obzir različiti parametri linka: verovatnoća gubitka paketa, interferencija, kašnjenje, potrošnja snage i sl.

U ovom radu predstavljen je kritički osvrt na metrike rutiranja u dostupnoj literaturi, kao njihovo poređenje u zavisnosti od kriterijuma koje treba da zadovolje.

## Osnovni pojmovi

Radi lakšeg objašnjenja razlika između metrika rutiranja, neophodno je prvo uvesti osnovne pojmove i komponente od kojih se sastoji jedna *mesh* mreža. Iz tog razloga, na slici 1 prikazan je primer jedne jednostavne *mesh* mreže. Na slici 1 čvorovi mreže označeni su slovima A, B, C,..., K. Svaka dva čvora koja su u međusobnom dometu povezana su „linijom”,

odnosno linkom, na primer čvor A i čvor E povezani su linkom AE. Kod jednokanalnih mreža link između dva čvora postoji ako su u međusobnom dometu, dok je kod višekanalnih mreža neophodno da, osim da čvorovi budu u međusobnom dometu, rade i na istom kanalu.



Slika 1 – Primer mesh mreže  
Figure 1 – Example of a mesh network  
Рис. 1 – Пример ячеистой сети

Pod pojmom putanje između dva čvora podrazumeva se bilo koja putanja koja povezuje izvorišni čvor (koji inicira slanje paketa) i odredišni čvor (kojem izvorišni čvor želi da pošalje pakete). Na primer, ako bi čvor A, sa slike 1, bio izvorišni čvor koji želi da komunicira sa odredišnim čvorom D, između ova dva čvora moguće je naći više putanja, od kojih su neke: A-I-J-K-D, A-I-C-D, A-E-B-C-D, A-E-F-C-D ili A-E-F-G-H-D. Zadatak protokola rutiranja je da pronađe sve raspoložive putanje od izvorišnog do odredišnog čvora. S druge strane, metrika rutiranja svakoj putanji dodeljuje težinu (cenu) i ima zadatak da odredi koja je putanja optimalna, u zavisnosti od kriterijuma koji definišu metriku rutiranja. Neki od najvažnijih kriterijuma za kreiranje metrika navedeni su u sledećem poglavlju.

## Kriterijumi za kreiranje metrika

Radi pronalaženja optimalne metrike, potrebno je definisati kriterijume o kojima treba voditi računa kada se ona formira. Ti kriterijumi mogu da pomognu prilikom odluke o tome koja je metrika optimalna za datu situaciju. Ipak, nijedna metrika ne može da bude bolja od ostalih po svim kriterijumima (Bahl, et al., 2004, pp.39-46). Efikasna metrika treba da sadrži neki parametar koji predstavlja meru kvaliteta linkova kako bi se pomoću nje izračunala optimalna putanja. Svaka metrika rutiranja ima svoje prednosti i nedostatke, koje zavise od kriterijuma za izbor optimalne pu-

tanje. Osim što služe određivanju optimalne putanje od izvora do odredišta, metrike treba da obezbede i stabilnost mreže.

Najznačajniji kriterijumi koje treba uzeti u obzir prilikom formiranja metrike rutiranja su:

- interferencija koja nastaje kao posledica deljenja medijuma za prenos. U zavisnosti od toga pod kojim uslovima se javlja, interferencija se deli u tri kategorije: interferencija unutar saobraćajnog toka (*intra-flow*), interferencija usled uticaja drugih tokova saobraćaja (*inter-flow*) i eksterna interferencija. *Intra-flow* interferencija javlja se kada više linkova na jednoj putanji (u okviru jednog toka saobraćaja), koji se nalaze u međusobnom dometu, radi na istom kanalu (Couto, et al., 2003, pp.134-146). S druge strane, *inter-flow* interferencija nastaje kada različiti saobraćajni tokovi, ostvareni među čvorovima koji su u međusobnom dometu, rade na istom kanalu, tj. nadmeću se za medijum. Imajući u vidu da na *inter-flow* interferenciju utiče više tokova saobraćaja, nju je mnogo teže predvideti i kontrolisati nego *intra-flow* interferenciju. Za razliku od prethodne dve interferencije, eksterna interferencija se javlja usled uticaja prenosa bežičnog signala koji radi na istoj učestanosti kao čvor koji detektuje eksternu interferenciju, ali koju stvaraju čvorovi iz neke druge spoljne mreže (Subramanian, et al, 2006, pp: 55-63);

- količina informacija, koja predstavlja meru koliko dodatnih informacija o linkovima (npr. verovatnoća uspešnog prenosa, nivo šuma, opterećenje linka i sl.) treba da prenose kontrolni paketi kako bi se na osnovu metrike odredila optimalna putanja. Ako bi kontrolni paketi prenosili prevelik broj informacija potrebnih metrikama za određivanje optimalne putanje, veličina kontrolnih paketa bila bi prevelika i došlo bi do zagušenja u mreži. S druge strane, ako se kontrolnim paketima prenosi mali broj informacija, posledica može biti da se na taj način biraju putanje koje ne daju optimalne performanse mreže. Zato je veoma važno proceniti koja je mera količine informacija optimalna za formiranje metrike rutiranja;

- opterećenje linka, koje predstavlja meru iskorišćenja mrežnih kapaciteta. Da bi se metrikom postiglo ravnomerno iskorišćenje svih linkova u mreži, neophodno je odrediti kapacitet svakog linka. Kapacitet linka može se odrediti slanjem probnih paketa (radi merenja brzine prenosa podataka) ili korišćenjem informacije o raspoloživom protoku (npr. tip korišćene modulacione tehnike) sa fizičkog sloja. Balansiranjem opterećenja u mreži ostvaruju se bolje performanse mreže. Kada bi se metrikom selektovala putanja koja se ostvaruje preko linkova sa najvećim kapacitetima, ali da se pritom ne proverava koliko su ti linkovi opterećeni, došlo bi do neravnomerne raspodele raspoloživih kapaciteta linkova i smanjenja performansi mreže. Umesto toga, metrika treba da koristi relevantne (*real-time*) informacije o zauzeću linkova, koje prikuplja od susednih čvorova i da na osnovu tih informacija donosi odluku koja je putanja optimalna;

– agilnost metrike, koja predstavlja njenu sposobnost da se brzo i efikasno prilagodi promenama u mrežnoj topologiji i promenama opterećenja mreže. Da bi neka metrika mogla da zadovolji uslove po pitanju agilnosti, brzina kojom se dobijaju i osvežavaju podaci, dobijeni merenjima, mora biti veća od brzine kojom se menja topologija ili opterećenje u mreži. Ako se promene u mreži dešavaju brže nego što se odvijaju merenja, metrika neće obezbediti pravu sliku o stanju u mreži, pa samim tim neće biti pouzdana;

– stabilnost metrike, koja direktno utiče i na stabilnost izabrane putanje, a samim tim i na ukupne performanse mreže. Izborom nestabilnih putanja utiče se na smanjenje performansi mreže, pa je neophodno da se metrika putanje što manje menja tokom vremena (Yang, et al., 2006, pp.3-5). Ako bi se vrednost metrike putanje često menjala, često bi se menjali i podaci o optimalnim putanjama, što bi uticalo na zagušenje mreže i smanjenje protoka;

– praćenje dinamike signala na svakom pojedinačnom linku. Imajući u vidu da na propagaciju signala bežičnim putem utiču različiti parametri, stanje svakog pojedinačnog linka menja se u toku vremena veoma brzo. Zbog toga je neophodno da metrika rutiranja prati te brze promene, kako bi se, u slučaju da kvalitet nekog od linkova na izabranoj putanji opadne u nekom trenutku, metrikom odabrala nova putanja koja se sastoji iz kvalitetnijih linkova.

## Pregled metrika dostupnih u literaturi

Kako bi se metrikom rutiranja odredila optimalna putanja, izvorišnom čvoru koji „bira” putanju moraju biti na raspolaganju podaci o broju skokova, interferenciji, protoku i sl. U zavisnosti od kriterijuma koje uzimaju u obzir, metrike se mogu podeliti na dve grupe: metrika dužine putanje (*hop count*) i metrike koje uzimaju u obzir kvalitet linka (*link-quality*). U nastavku ovog poglavlja opisana je *hop count* metrika, i dat pregled najznačajnijih metrika koje uzimaju u obzir kvalitet linka.

### *Metrika dužine putanje (hop count)*

Metrika dužine putanje (*hop count*) koristi se kod poznatih protokola rutiranja kao što su DSR (*Dynamic Source Routing*) (Johnson, 2007), AODV (*Ad hoc On demand Distance Vector*) (Parkins, et al., 2003) i DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector*) (Parkins, Bhagwat, 2004, pp.234–244). Kod ove metrike optimalna putanja je ona sa najmanjim brojem skokova (najkraća putanja).

*Hop count* metrika je najjednostavnija. Veoma je stabilna, ne zahteva dodatne informacije o kvalitetu linka i omogućava efikasno pronalaženje putanje sa najmanjim brojem skokova. U mrežama čiji su čvorovi veoma mobilni, *hop count* metrika daje jednostavnije i brže rezultate, nego metrike koje zavise od

kvaliteta linka. Kada se koristi *hop count* metrika, kontrolni paketi koji određuju putanju su mali, jer metrika ne zahteva dodatne informacije o linkovima, pa se samim tim i brže prenose. Međutim, *hop count* metrika sve linkove u mreži posmatra na isti način, ne uzimajući u obzir njihovo opterećenje, kao ni interferenciju. Imajući u vidu da su čvorovi u bežičnim *mesh* mrežama uglavnom statični, *hop count* metrika ne daje optimalne rezultate kod ovih mreža.

### *ETX (Expected Transmission Count) metrika*

*ETX (Expected Transmission Count)* (Couto, et al., 2003, pp.419–434) predstavlja jednu od najznačajnijih metrika rutiranja. *ETX* metrika je prva koja uvodi princip određivanja optimalne putanje na osnovu kvaliteta linka (*link-quality*). Ona bira putanju za koju je potreban najmanji broj prenosa za uspešno slanje paketa od izvorišnog do odredišnog čvora.

*ETX* metrika za link računa se korišćenjem *forward* i *reverse* verovatnoća uspešnog prenosa paketa podataka duž tog linka. *Forward* verovatnoća,  $p_f$ , predstavlja verovatnoću da paket podataka uspešno stigne od čvora X koji je inicirao slanje, do čvora Y kojem je paket poslat. Kada čvor Y uspešno primi paket, on odgovara ACK (*Acknowledgement*) paketom. *Reverse* verovatnoća,  $p_r$ , je verovatnoća da ispravan ACK paket stigne do čvora X. Čvor X smatra da je paket uspešno primljen samo ako dobije ACK, pa je verovatnoća uspešnog prenosa paketa  $p_f \cdot p_r$ .

Verovatnoće uspešnog prijema određuju se pomoću LPP (*Link Probe Packet*) paketa na način opisan u (Couto, et al., 2003, pp.419–434). Svaki čvor difuzno šalje LPP pakete, svakih  $\tau$  sekundi (npr. svake sekunde) i broji koliko je LPP paketa primio u poslednjih  $\mu$  sekundi (npr. 10 sekundi) od svakog njemu susednog čvora posebno.

Neka su X i Y dva susedna čvora, i  $count_f(t-\mu, t)$  i  $count_r(t-\mu, t)$  broj LPP paketa koje je Y primio od X i X primio od Y, respektivno, u intervalu  $(t-\mu, t)$ . Tada su *forward* i *reverse* verovatnoće uspešnog prijema paketa u trenutku  $t$ , date formulama (1) i (2):

$$p_f(t) = \frac{count_f(t-\mu, t)}{\mu / \tau} \quad (1)$$

$$p_r(t) = \frac{count_r(t-\mu, t)}{\mu / \tau} \quad (2)$$

*ETX* metrika za link XY, između čvorova X i Y je (Couto, et al., 2003, pp.419–434):

$$ETX_{XY} = \frac{1}{p_f \cdot p_r} \quad (3)$$



Metrika putanje  $p$  određena je zbirom ETX metrika svih linkova  $l$  koji je čine, (4). Optimalna putanja je putanja sa najmanjom metrikom.

$$ETX_p = \sum_{l \in p} ETX_l \quad (4)$$

ETX metrika favorizuje putanje koje čine linkovi sa većom verovatnoćom uspešnog prenosa paketa i manjom interferencijom, čak i ako te putanje imaju više skokova. To znači da ETX indirektno vodi računa o *inter-flow* interferenciji. Linkovi sa većom *inter-flow* interferencijom imaju veći broj izgubljenih paketa, pa samim tim i veće vrednosti ETX metrike. Primenom ETX metrike izbegavaće se prethodno pomenuti linkovi, kad god je to moguće. Međutim, u formuli za ETX metriku ne figuriše parametar koji zavisi od *inter-flow* interferencije, tj. ETX je ne meri direktno. Takođe, ne postoji parametar koji zavisi od karakteristika radio-kanala na kojem radi link, što znači da ETX metrika ne razlikuje kanale u mreži, tj. dizajnirana je za jednokanalne mreže i ne vodi računa o *intra-flow* interferenciji. ETX metrika ne uzima u obzir opterećenje linka.

### ***LAETT (Load Aware Expected Transmission Time) metrika***

LAETT (*Load Aware Expected Transmission Time*) (Aiache, et al., 2008, pp.629-634) metrika linka između čvorova X i Y, data formulom (5), meri očekivano vreme potrebno za prenos podataka, vodeći računa koliko je preostali kapacitet čvorova X i Y:

$$LAETT_{XY} = ETX_{XY} \cdot \frac{S}{\left( \frac{RX_X + RX_Y}{2\gamma_{XY}} \right)} \quad (5)$$

gde je  $ETT_{XY}$  (*Expected Transmission Time*) metrika data formulom (6),  $S$  prosečna veličina paketa,  $\gamma_{XY}$  faktor kvaliteta linka definisan tabelom 1 (rastojanje predstavlja udaljenost između čvorova Y i X), a  $RC$  (*Remaining Capacity*) raspoloživo opterećenje čvorova koje se računa po formuli (7).

$$ETT_{XY} = ETX_{XY} \cdot \frac{S}{B_{XY}} \quad (6)$$

gde je  $ETX_{XY}$  metrika data formulom (3),  $S$  prosečna veličina paketa, a  $B_{XY}$  maksimalni raspoloživi protok linka XY.

$$RC_X = B_X - \sum_{k=1}^{N_X} f_{XY_k} \cdot \gamma_{XY_k} \quad (7)$$

gde je  $N_X$  ukupan broj interfejsa čvora X,  $f_{XYk}$  je protok kroz  $k$ -ti link, koji se množi faktorom linka  $\gamma_{XYk}$ , a  $B_X$  je ukupan maksimalni protok koji može da se ostvari preko svih interfejsa čvora X.

Tabela 1 – Vrednosti faktora kvaliteta linka  $\gamma_{XY}$   
 Table 1 – Values for the link quality factor  $\gamma_{XY}$   
 Таблица 1 – Значения Q-фактора (добротности)  $\gamma_{XY}$

Rastojanje (m)	>1600	>800	>560	>480	>400
Faktor linka $\gamma_{XY}$	$\infty$	4	3	2	1

Metrika putanje  $p$  računa se kao suma svih metrika linkova  $l$  koji je čine (8):

$$LAETT_p = \sum_{l \in p} LAETT_l \quad (8)$$

LAETT metrikom računa se potrebno vreme za uspešan prenos paketa u zavisnosti od preostalog raspoloživog kapaciteta čvorova. Ako su čvorovi veoma opterećeni, imaće male  $RC$  vrednosti, pa će povećati ukupnu metriku linka. Na taj način vrši se raspodela opterećenja u mreži. Međutim, i LAETT metrika indirektno uračunava *inter-flow* interferenciju, dok se *intra-flow* interferencija ne uzima u obzir.

### *EETT (Exclusive Expected Transmission Time) metrika*

EETT (*Exclusive Expected Transmission Time*) (Jiang, et al., 2007, pp.1550-1553) metrika rutiranja, osim vremena potrebnog za uspešan prenos paketa, uračunava i uticaj *intra-flow* interferencije. Neka se posmatra putanja  $p$ , od izvorišnog čvora S do odredišnog čvora D i neka je XY jedan od linkova na toj putanji. Ako je  $IS(XY)$  broj uzastopnih linkova na putanji  $p$  koji interferiraju sa linkom XY (uključujući i sam link), i ako je  $ETT_{XY}$  dato formulom (6), EETT linka XY definiše se kao:

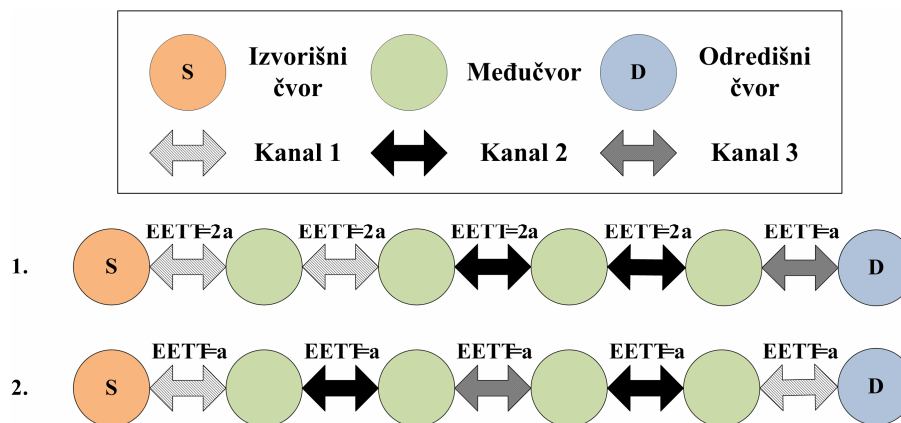
$$EETT_{XY} = \sum_{i \in IS(XY)} ETT_i \quad (9)$$

Metrika putanje  $p$  računa se kao suma svih metrika linkova  $l$  koji je čine:

$$EETT_p = \sum_{l \in p} EETT_l \quad (10)$$

Da bi se lakše objasnila metrika, dat je primer na slici 2, na kojoj su prikazane dve putanje od čvora S do čvora D. Neka je uvedena pretpo-

stavka da je ETT metrika za svaki link, kod obe putanje, ista i iznosi  $a$ . Osim toga, na slici je označeno na kom kanalu rade pojedini linkovi. Ako se posmatra prva putanja, prvi i drugi link na putanji rade na kanalu 1, a treći i četvrti na kanalu 2. Pošto linkovi međusobno interferiraju, smanjuje im se raspoloživi protok. Na osnovu izraza za EETT metriku, (9), metrike sva četiri linka su po  $2a$  (slika 2). Kod druge putanje prvi i peti link rade na kanalu 1, a drugi i četvrti na kanalu 2. Međutim, nijedna dva susedna linka ne rade na istom kanalu, pa je *intra-flow* interferencija ove putanje manja. Svi linkovi na drugoj putanji imaju isto EETT koje iznosi  $a$ . Na osnovu formule za metriku putanje (10), za optimalnu putanju biće izabrana druga putanja, jer ima manju EETT ( $5a$ ), u odnosu na prvu (koja ima EETT  $9a$ ).



Slika 2 – Primer određivanja EETT metrike za različite putanje  
 Figure 2 – Counting the EETT metric for different paths  
 Рис. 2 – Подсчет EETT- метрик для различных путей

EETT metrika efikasno rešava problem *intra-flow* interferencije, dok *inter-flow* interferenciju računa indirektno kroz ETT metriku. EETT metrikom se ne uračunava opterećenje linka.

### *WCETT (Weighted Expected Transmission Time) metrika*

*WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time)* (Draves, et al., 2004, pp.114-128) jeste prva metrika kod koje se metrika putanje ne računa prostim sabiranjem metrika linkova. Takođe, *WCETT* metrikom se, prilikom formiranja cene putanje, uzima u obzir upotreba odgovarajućeg kanala na svakom pojedinačnom linku, tj. *WCETT* metrika je formirana za rad sa višekanalnim mrežama.

Formulom (11) dat je izraz za WCETT metriku putanje  $p$ , koju čine linkovi  $l$ :

$$WCETT_p = (1 - \beta) \sum_{l \in p} ETT_l + \beta \max_{1 \leq c \leq k} X_p(c) \quad (11)$$

gde je ETT metrika data formulom (6),  $k$  broj kanala na kojima radi mreža,  $X_p(c)$  metrika data formulom (12), a  $\beta$  je parametar koji uzima vrednost između 0 i 1.

Da bi se u metriku putanje  $p$  uračunao i uticaj *intra-flow* interferencije, za svaki kanal  $c$ , na putanji  $p$ , definiše se  $X_p(c)$ , kao:

$$X_p(c) = \sum_{i \in p} ETT_i, 1 \leq c \leq k \quad (12)$$

gde  $i$  predstavlja link na putanji  $p$  koji radi na kanalu  $c$ .

Prvi sabirak u formuli (11) predstavlja sumu ETT metrika linkova na putanji, i određuje koliko je ukupno kašnjenje prilikom prenosa paketa. Drugi sabirak zavisi od najveće sume  $X_p(c)$ , tj. od zbira ETT metrika linkova koji rade na najviše korišćenom kanalu putanje  $p$ . To znači da će putanja koja koristi više različitih kanala imati manju maksimalnu vrednost  $X_p(c)$ , a, suprotno tome, putanje koje imaju puno linkova koji rade na istom kanalu imaće veću maksimalnu vrednost  $X_p(c)$ . Podešavanjem parametra  $\beta$  reguliše se da li je važniji uticaj prvog ili drugog sabirka, tj. da li je bitnije da je manje kašnjenje od izvora do odredišta (prvi) ili da je manja *intra-flow* interferencija (drugi sabirak).

### *iAWARE (Interference Aware Routing) metrika*

*iAWARE (Interference Aware Routing)* (Subramanian, et al., 2006, pp.55-63) metrika uračunava efekte promene verovatnoće gubitka paketa, *inter-flow* i *intra-flow* interferenciju. Ako je ETT za link  $XY$  dat formulom (6), *iAWARE* metrika linka  $XY$  računa se kao:

$$iAWARE_{XY} = \frac{ETT_{XY}}{IR_{XY}} \quad (13)$$

U formuli (13),  $IR_{XY}(X)$  predstavlja odnos  $SINR_{XY}(X)$  (signal/(šum + interferencija)) i  $SNR_{XY}(X)$  (signal/šum) linka  $XY$ , na strani čvora  $X$ . Ako nema interferencije,  $SINR$  i  $SNR$  će biti isti, pa će  $IR$  biti 1.

$$IR_{XY} = \frac{SINR_{XY}(X)}{SNR_{XY}(X)} \quad (14)$$

ako se uzme u obzir bidirekcionalnost linka,  $IR_{XY}$  za link  $XY$  definiše se kao:

$$IR_{XY} = \min(IR_{XY}(X), IR_{XY}(Y)) \quad (15)$$

Konačno, iAWARE metrika putanje  $p$  računa se kao:

$$iAWARE_p = (1 - \beta) \cdot \sum_{l \in p} iAWARE_l + \beta \max_{1 \leq c \leq k} Y_p(c) \quad (16)$$

gde je  $Y_p(c)$  dato formulom (17), a  $\beta$  je parametar kojim se reguliše da li je bitnije kašnjenje u prenosu (prvi sabirak) ili *intra-flow* interferencija (drugi sabirak).

Da bi se u metriku putanje uračunao i uticaj *intra-flow* interferencije, za svaki kanal  $c$ , na putanji  $p$ , definiše se  $Y_p(c)$ , kao:

$$Y_p(c) = \sum_{i \in p} iAWARE_i, \quad 1 \leq c \leq k \quad (17)$$

gde su  $i$  linkovi na putanji  $p$  koji rade na kanalu  $c$ , a  $k$  broj raspoloživih kanala u mreži.

iAWARE metrika računa efekte promena gubitaka na linku, razlike u brzini prenosa i *intra-flow* i *inter-flow* interferenciju. Kada link ima veću vrednost  $IR$  nego  $ETT$ , iAWARE metrika će biti manja, biće favorizovan link koji ima manje  $ETT$ , ali veću interferenciju. iAWARE metrikom se ne vodi računa o opterećenju linka.

### ***MIC (Metric of Interference and Channel-switching) metrika***

MIC (*Metric of Interference and Channel-switching*) (Yang, et al., 2006, pp.3-5) sastoji se od dve metrike IRU (*Interference aware Resource Usage*) koja u metriku putanje unosi uticaj *inter-flow* interferencije i CSC (*Channel Switching Cost*) koja unosi uticaj *intra-flow* interferencije.

IRU metrika linka između čvorova  $X$  i  $Y$ , koji radi na kanalu  $c$ , definišana je kao:

$$IRU_{XY}(c) = ETT_{XY}(c) \cdot N_{XY}(c) \quad (18)$$

gde je  $ETT_{XY}(c)$  metrika data formulom (6), a  $N_{XY}(c)$  ukupan broj čvorova koji stvaraju interferenciju linku  $XY$  na kanalu  $c$ .  $N_{XY}(c)$  se računa kao:

$$N_{XY}(c) = |N_X(c) \cup N_Y(c)| \quad (19)$$

gde su  $N_X(c)$  i  $N_Y(c)$  broj suseda čvorova  $X$  i  $Y$ , respektivno, koji sa njima interferiraju tokom emitovanja na kanalu  $c$ .

CSC komponenta metrike za čvor  $X$  računa se na sledeći način:

$$CSC_X = \begin{cases} \omega_1, & CH(prev(X)) \neq CH(X) \\ \omega_2, & CH(prev(X)) = CH(X) \end{cases} \quad 0 \leq \omega_1 < \omega_2 \quad (20)$$

gde je  $prev(X)$  prethodni čvor čvora  $X$  na putanji koja se posmatra, a  $CH(X)$  kanal koji čvor  $X$  koristi za prenos podataka do sledećeg čvora na putanji. Veza  $\omega_1 < \omega_2$  omogućava da, kada čvor  $X$  emituje podatke na istom kanalu po kojem su mu podaci i stigli od prethodnog čvora,  $prev(X)$ , CSC metrika bude veća nego kada susedni čvorovi na putanji koriste različite kanale. Na taj način, putanja sa manjom *intra-flow* interferencijom imaće manju vrednost CSC.

Kombinacijom IRU i CSC definiše se MIC metrika putanje  $p$  kao:

$$MIC_p = \frac{1}{N_n \cdot ETT_{\min}} \cdot \sum_{l \in p} IRU_l + \sum_{X \in p} CSC_X \quad (21)$$

gde je  $N_n$  broj čvorova u mreži,  $ETT_{\min}$  najmanji ETT na putanji,  $l$  predstavlja linkove putanje  $p$ , a  $X$  čvorove na putanji  $p$ .

MIC metrika podržava korišćenje više radio-kanala na putanji, i, kroz CSC komponentu, uključuje uticaj *intra-flow* interferencije u metriku putanje. Kroz IRU komponentu, u metriku putanje uključena je *inter-flow* interferencija. Međutim, MIC metrika podrazumeva da svi linkovi imaju isti nivo interferencije, nezavisno da li u nekom trenutku postoji prenos preko tog interferirajućeg linka ili ne. Pored toga, CSC računa *intra-flow* interferenciju samo kod susednih linkova.

### *PowerETX (power Expected Transmission Count) metrika*

Kada se računa ETX metrika za neki link, za njega se određuje verovatnoća uspešnog prenosa paketa tokom određenog perioda. Međutim, kako protok na pojedinačnim linkovima zavisi od trenutnog saobraćajnog opterećenja u kompletnoj mreži, verovatnoća uspešnog prenosa paketa može znatno da osciluje tokom vremena. Može se desiti da usled različitih uticaja na stanje linka (npr. gubitak LoS uslova između predajnika i prijemnika, promena položaja prepreka, i sl.) jedan isti link u jednom trenutku ima malu, a u nekom drugom trenutku veliku verovatnoću gubitka paketa. Do ove pojave dolazi usled brzih promena u kvalitetu linka tokom vremena, koje su posebno izražene u zatvorenom prostoru, gde veliki uticaj na propagaciju signala ima sama struktura objekta kroz koji se signal prostire između bežičnih čvorova u mreži.

Radi praćenja brzih promena koje se dešavaju na svakom linku u mreži, definisana je *powerETX* metrika za link XY, između čvorova X i Y, data formulom (22) (Malnar, et al., 2014, pp.41-51).

$$powerETX_{XY} = a_{XY} \cdot ETX_{XY} \quad (22)$$

gde je  $a_{XY}$  koeficijent, definisan tabelom 2, za link XY, a ETX metrika tog linka data formulom (3).

Tabela 2 – Vrednosti koeficijenata u zavisnosti od nivoa snage na ulazu u prijemnik (Malnar, et al., 2014, pp.41-51).

Table 2 – Coefficient values depending on the received signal power

Таблица 2 - Значения коэффициентов в зависимости от уровня мощности на входе

Interval [dBm]	Koeficijent $a_i$	Interval [dBm]	Koeficijent $a_i$
[- 81, -75)	$a_7$	[- 60, -55)	$a_3$
[- 75, -70)	$a_6$	[- 55, -50)	$a_2$
[- 70, -65)	$a_5$	[- 50, -45)	$a_1$
[- 65, -60)	$a_4$	$\geq - 45$	$a_0$

Kao što se može primetiti iz tabele 2, koeficijenti  $a_i$  su klasifikovani u osam kategorija, u zavisnosti od nivoa snage signala na linku za koji se određuje *powerETX* metrika. Minimalna snaga za koju je vršena klasifikacija iznosi -81dBm, što odgovara karakteristikama opreme koja je korišćena za merenje. Između koeficijenata  $a_i$  definisana je sledeća relacija (Malnar, et al., 2014, pp.41-51):

$$a_0 < a_1 < \dots < a_7 \quad (23)$$

Na osnovu relacije (23), linkovima kod kojih je snaga signala na prijemu manja dodeljuje se veći koeficijent, a linkovima na kojima je snaga signala na prijemu veća dodeljuje se manji koeficijent. U radu (Malnar, et al., 2014, pp.41-51) pokazano je da odabir vrednosti koeficijenta ne utiče znatno na performanse mreže, već je bitno da se zadrži međusobni odnos koeficijenata definisan izrazom (23), kako bi se u metrici favorizovali linkovi sa većim nivoom snage signala na prijemu. Ako se posmatraju dva linka sa istim ETX, bolji link biće onaj koji u tom trenutku ima veći nivo snage signala na prijemu, i na taj način se vodi računa o trenutnom stanju svakog linka.

Za koeficijente  $a_i$  uzete su vrednosti:  $a_0=0,4$ ,  $a_1=0,5$ , ...,  $a_7=1,1$  (Malnar, et al., 2014, pp.41-51). Podela je izvršena za vrednosti u opsegu od -81 dBm do -45 dBm (što odgovara parametrima korišćene opreme u mreži u kojoj su sprovedena merenja). Poređenjem rezultata simulacija sprovedenih za različite širine intervala (nivoa snage na ulazu u prijemnik) kojima se dodeljuje jedna vrednost koeficijenta  $a_i$ , autori u (Malnar, et al., 2014, pp.41-51) došli su do zaključka da je optimalna širina intervala 5 dB.

Konačno,  $powerETX$  metrika putanje  $p$ , koja se sastoji od linkova  $l$ , određena je formulom (24). Optimalna putanja je putanja koja ima najmanju metriku.

$$powerETX_p = \sum_{l \in p} powerETX_l \quad (24)$$

### *PowerWCETT (power Weighted Expected Transmission Time) i powerMIC (power Metric of Interference and Channel-switching) metrike*

Princip zasnovan na  $powerETX$  metrici primenjen je i na metrike WCETT i MIC. Na taj način formirane su  $powerWCETT$  i  $powerMIC$  metrike (date formulama (25) i (27), respektivno) (Malnar, et al., 2014, pp.41-51).

$$powerWCETT_p = (1 - \beta) \sum_{l \in p} powerETT_l + \beta \max_{1 \leq c \leq k} X_p(c) \quad (25)$$

gde je  $\beta$  parametar koji uzima vrednosti između 0 i 1,  $k$  broj kanala na kojima radi mreža,  $X_p(c)$  definisano formulom (12), dok se  $powerETT$  metrika za link  $XY$  računa na osnovu  $powerETX$  metrike za link  $XY$  i formule (6), na sledeći način:

$$powerETT_{XY} = powerETX_{XY} \cdot \frac{S}{B_{XY}} \quad (26)$$

gde je  $S$  prosečna veličina paketa, a  $B_{XY}$  maksimalni raspoloživi protok linka  $XY$ .

$PowerMIC$  metrika definisana je formulom:

$$MIC_p = \frac{1}{N_n \cdot powerETT_{\min}} \cdot \sum_{l \in p} powerIRU_l + \sum_{X \in p} CSC_X \quad (27)$$

pri čemu je  $N_n$  broj čvorova u mreži,  $powerETT_{\min}$  najmanji  $powerETT$  na putanji  $p$ ,  $CSC$  metrika definisana formulom (20), dok se  $powerIRU$  računa na sledeći način:

$$powerIRU_{XY}(c) = powerETT_{XY}(c) \cdot N_{XY}(c) \quad (28)$$

gde je  $powerETT$  metrika za link  $XY$  definisana formulom (26), a  $N_{XY}(c)$  dato formulom (19).



## Uporedna analiza opisanih metrika

U tabeli 3 dat je pregled metrika po osnovnim kriterijumima koji su opisani i definisani na početku rada: interferencija, opterećenje čvorova, agilnost, stabilnost i sposobnost da prati brze promene na svakom pojedinačnom linku. Na osnovu tabele može se zaključiti da svaka metrika ima ograničenja po nekom kriterijumu.

Metrika dužine putanje (*hop count*) ne uzima u obzir parametre kao što su interferencija i kvalitet linka, ali je jednostavna, ne zahteva dodatne informacije i ima visok stepen agilnosti.

ETX metrika je prva metrika koja u izbor optimalne putanje unosi parametar koji opisuje kvalitet linka (*link-quality*). Bira putanje sa većom verovatnoćom uspešnog prenosa paketa i ne vodi računa o kapacitetu linka. S obzirom na to da određivanje ETX metrike zahteva periodično slanje dodatnih LPP paketa, ETX (i sve njene modifikacije) nema dobru agilnost. ETX ne vodi računa o opterećenju linka, indirektno vodi računa o *inter-flow* i ne vodi se računa o *intra-flow* interferenciji.

LAETT metrika uvodi balansiranost opterećenja u mreži, vodi računa o opterećenju i kvalitetu linka. Kao i ETX, samo indirektno uračunava *inter-flow* interferenciju, dok ne uključuje *intra-flow* interferenciju. Zbog slanja probnih paketa ima mali stepen agilnosti.

EETT metrika računa *intra-flow* interferenciju, a indirektno računa i *inter-flow* interferenciju.

WCETT računa uticaj *intra-flow* interferencije; biraju se putanje na kojima se ređe koriste isti kanali. Kao i prethodne metrike, WCETT samo indirektno meri *inter-flow* interferenciju, nije agilna i ne vodi računa o opterećenju linkova.

iAWARE metrikom proverava se da li ima generisanog saobraćaja, jer se susedni čvorovi samo tada međusobno ometaju. Računa *intra-flow* i *inter-flow* interferenciju i direktno meri interferenciju od susednih čvorova.

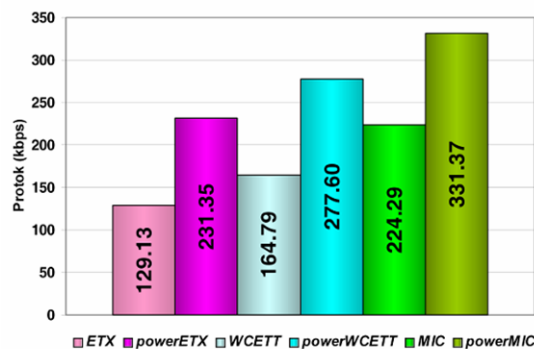
MIC metrika pokušava da prevaziđe ograničenja WCETT metrike direktnim računanjem *intra-flow* i *inter-flow* interferencije, ali se *intra-flow* interferencija računa samo između susednih linkova. Ne vodi računa o opterećenju linkova i nema sposobnost agilnosti.

Zanimljivo je da navedene metrike ne mogu da isprate veliku dinamiku promena stanja svakog pojedinačnog linka, koja je karakteristična za bežične *mesh* mreže, posebno kada se realizuju unutar objekata. Zbog toga su autori, u svojoj prethodnoj publikaciji (Malnar, et al., 2014, pp.41-51), predložili tri metrike: *powerETX*, *powerWCETT* i *powerMIC*, koje nadoknađuju ovu manu prethodnih metrika.

Tabela 3 – Poređenje metrika  
 Table 3 – Metrics comparison  
 Таблица 3 – Систематизированные метрики

	Inter-flow	Intra-flow	Opterećenje	Agil-nost	Stabil-nost	Dina-mika
Hop count	Ne	Ne	Ne	Da	Da	Ne
ETX	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Ne
LAETT	Ne	Da	Da	Ne	Ne	Ne
EETT	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Ne
WCETT	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Ne
iAWARE	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Ne
MIC	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Ne
powerETX	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Da
powerWCETT	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Da
powerMIC	Da	Da	Ne	Ne	Ne	Da

Na slici 3 prikazana je uporedna analiza šest metrika u zavisnosti od protoka korisničkih podataka, dok je na slici 4 data uporedna analiza po ostvarenom srednjem kašnjenju s kraja na kraj.



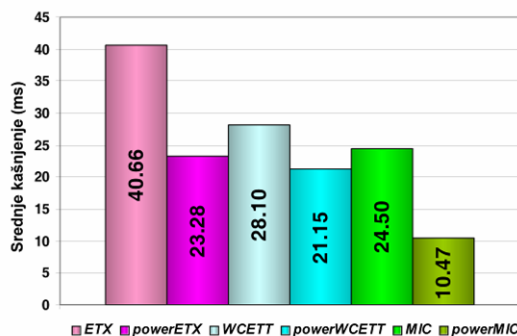
Slika 3 – Uporedna analiza metrika po ostvarenom protoku korisničkih podataka (Malnar, et al., 2014, pp.41-51)

Figure 3 – Comparative analysis of the metrics by the throughput of user data  
 Рис. 3 – Системный анализ реализованного пользовательского трафика

Rezultati su dobijeni simulacijom mreže koja se sastoji od 12 statičnih čvorova, raspoređenih na prostoru dimenzija 141,7 m × 66,1 m, tako da ostvaruju optimalno radio- pokrivanje u zatvorenom prostoru. Simulirano okruženje odgovara prizemlju zgrade Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Detaljan opis okruženja, kao i parametara propagacionog modela korišćenog za simulacije može se naći u (Malnar, et al., 2014, pp.41-51).

U radu (Malnar, et al., 2014, pp.41-51) pokazano je da se powerETX metrikom ostvaruje 78% bolji protok (slika 3) i 42,5% manje kašnjenje s kraja na kraj (slika 4) nego primenom ETX metrike. Na taj način, powerETX metrika, kao i ETX metrika, nema dobru agilnost, indirektno vodi ra-

čuna o *inter-flow* interferenciji, ne vodi računa o *intra-flow* interferenciji, ali za razliku od ETX metrike prati brze promene u stanju svakog pojedinačnog linka na trasi.



Slika 4 – Usporedna analiza metrika po ostvarenom srednjem kašnjenju s kraja na kraj (Malnar, et al., 2014, pp.41-51)

Figure 4 – Comparative analysis of the metrics by the average end to end delay  
Рис. 4 – Системный анализ метрик по среднему запаздыванию „end to end“

Kao i WCETT metrika, i *powerWCETT* metrika računa uticaj *intra-flow* interferencije, indirektno meri *inter-flow* interferenciju, nije agilna i ne vodi računa o opterećenju linkova. Međutim, *powerWCETT* metrikom prati se dinamika promene stanja svakog linka, te i ona pokazuje poboljšanje po pitanju protoka (68%) i po pitanju kašnjenja (24,7%) u odnosu na WCETT metriku (Malnar, et al., 2014, pp.41-51) (slike 3 i 4).

Konačno, *powerMIC* metrika uključuje *intra-flow* i *inter-flow* interferencije, ali, kao i MIC, *intra-flow* interferenciju računa samo između susjednih linkova. Ne vodi računa o opterećenju linkova, nema sposobnost agilnosti, ali vodi računa o dinamici promene stanja linkova. *PowerMIC* metrikom ostvaruje se 47% veći protok (slika 3) i 57,2% manje kašnjenje (slika 4), nego korišćenjem MIC metrike (Malnar, et al., 2014, pp.41-51).

Na osnovu analiza sprovedenih u radu (Malnar, et al., 2014, pp.41-51) po pitanju protoka *powerMIC* metrika pokazala je 19% bolje rezultate nego *powerWCETT*, a *powerWCETT* 20% bolje nego *powerETX* (slika 3). Dok je po pitanju kašnjenja *powerWCETT* metrika dala 9,1% manje kašnjenje nego *powerETX*, *powerMIC* metrika pokazuje 50,5% manje kašnjenje nego kada se primenjuje *powerWCETT* (slika 4). Na osnovu prethodnog, može se zaključiti da je *powerMIC* metrika dala najbolje rezultate i po pitanju protoka i po pitanju kašnjenja s kraja na kraj.

Kako je naglašeno (Malnar, et al., 2014, pp.41-51) unapređene su ETX, WCETT i MIC, jer su to najčešće korišćene metrike, dok je modifikacija primenjena na njima moguća i za bilo koju drugu metriku koja u sebi sadrži ETX metriku.

## Zaključak

Imajući u vidu sve veće potrebe korisnika za brzim i efikasnim prenosom podataka, neophodno je povećanje protoka u bežičnim mrežama, što se ostvaruje uvođenjem višekanalnih višeinterfejsnih WMN. Kako bi se ostvarile što bolje mrežne performanse neophodno je definisati protokole i metrike rutiranja kojima se određuje optimalna putanja između izvorišnog i odredišnog čvora. Imajući u vidu da kvalitet bežičnog linka predstavlja jednu od najvažnijih karakteristika bežičnih mreža, metrike koje opisuju kvalitet linka imaju veoma važnu ulogu u dizajniranju optimalnog protokola rutiranja u bežičnim mrežama. Svakom linku potrebno je dodeliti odgovarajuću metriku, kako bi protokol rutiranja dobro funkcionisao.

Osim toga, bežične *mesh* mreže, kao i sve bežične mreže, karakteriše velika dinamika signala na ulazu u prijemnik, posebno kada se realizuju unutar objekata. Kod većine metrika rutiranja obično se o toj očekivanoj, velikoj dinamici signala ne vodi računa. Ovakav pristup može imati za posledicu da sprovedena analiza ne daje realnu sliku performansi mreže.

U ovom radu predstavljeni su klasifikacija i kritički pregled metrika rutiranja koje se najčešće razmatraju u literaturi i čije se ideje najčešće koriste za realizaciju novih metrika rutiranja, dat je njihov opis i, konačno, izvršena je njihova uporedna analiza.

### Literatura

Aiache, H., Lebrun, L., Conan, V., & Rousseau, S. 2008. A load dependent metric for balancing Internet traffic in Wireless Mesh Networks, Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. U: IEEE Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, Atlanta., str.629-634

Bahl, P., Adya, A., Padhye, J., & Walman, A. 2004. Reconsidering wireless systems with multiple radios. *SIGCOMM Comput. Commun. Review*, 34(5), str.39-46. doi:10.1145/1039111.1039122

De Couto, S., Aguayo, D., Bicket, J., & Morris, R. 2003. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing. *Wireless Networks*, 11(4), str.419-434. doi:10.1145/1039111.1039122

Draves, R., Padhye, J., & Zill, B. 2004. Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks. U: ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Philadelphia., str.114-128

Jiang, W., Liu, S., Zhu, Y., & Zhang, Z. 2007. Optimizing Routing Metrics for Large-Scale Multi-Radio Mesh Networks. U: International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai., str.1550-1553

Johnson, D. 2007. *The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4*. RFC 4728. Microsoft Research.

Malnar, M., Nešković, N., & Nešković, A. 2014. Novel power-based routing metrics for multi-channel multi-interface wireless mesh networks. *Wireless Networks*, 20(1), str.41-51. doi:10.1007/s11276-013-0587-8

Parkins, C., Belding-Royer, E., & Das, S. 2003. *Ad Hoc On demand Distance Vector (AODV) routing*, IETF Experimental RFC 3561.

Parkins, C., & Bhagwat, P. 2004. Highly dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for mobile computers. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications review*, 24(4), str.234-244. doi:10.1145/190809.190336

Subramanian, A., Buddhikot, M., & Miller, S. 2006. Interference Aware Routing in Multi-Radio Wireless Mesh Networks. U: IEEE International Workshop on Wireless Mesh Networks, Reston., str.55-63

Yang, Y., Wang, J., & Kravets, R. 2006. Load-balanced routing for mesh networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 10(4), str.3-5. doi:10.1145/1215976.1215979

## ОБЗОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ МУЛЬТИ-ИНТЕРФЕЙСНЫХ ЯЧЕИСТЫХ СЕТЕЙ

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации

ТИП СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме:

*Беспроводные ячеистые сети - WMNs (Wireless Mesh Networks) являются новой тенденцией в области беспроводной связи, которые предоставляют большую гибкость, надежность и лучшую производительность, чем стандартные беспроводные локальные сети. Учитывая растущий спрос на быстрый и эффективный способ передачи данных, увеличение трафика осуществлено путем введения многоканальных мульти-интерфейсных ячеистых сетей – MСMI (Multi-Channel Multi-Interface) WMNs. Для того, чтобы достичь максимально возможной производительности сети необходимо определить протоколы маршрутизации и метрик, которые определяют оптимальный путь между источником и узлом назначения. Учитывая, что WMN характеризуется высокой динамикой сигнала, особенно при реализации в сложных условиях (например в закрытых помещениях), необходимо определить показатели маршрутизации, которые не могут справиться с быстрыми изменениями условий распространения, которые происходят на каждой линии в сети. Эта статья представляет собой критический обзор наиболее известных метрик MСMI маршрутизации для беспроводных ячеистых сетей. Таковы основные критерии формирования маршрутизации по таким показателям, как помехи, объем информации, загруженность линии, маневренность, стабильность и способность отслеживать быстрые изменения в каждом узле. Описаны новые тенденции в развитии показателей маршрутизации для беспроводных ячеистых сетей, а также сравнения метрик, описанных в соответствии с вышеупомянутыми критериями. В заключении автор представляет итоговые замечания.*

Ключевые слова: канал, протокол маршрутизации, беспроводная ячеистая сеть, маршрутизация, метрика, интерференция

## SURVEY OF ROUTING METRICS FOR MULTI CHANNEL MULTI INTERFACE WIRELESS MESH NETWORKS

FIELD: Telecommunications  
ARTICLE TYPE: Original scientific paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*WMNs (Wireless Mesh Networks) represent a new trend in wireless communications, providing greater flexibility, reliability and better network performances than standard WLANs (Wireless Local Area Networks). Having in mind a need for more efficient and faster data transmission, one of the greatest challenges in designing WMNs is to provide greater throughput. This is done by introducing networks the nodes of which have multiple interfaces that can work on one of multiple channels (the channel is chosen by a predefined algorithm), so-called Multi-Channel Multi-Interface (MCMI) WMNs. In order to provide better network performances, it is necessary to define routing protocols and metrics used to find and select the optimal route from the source to the destination node. Since WMNs are characterised by a high dynamic range of the received signal level, especially when they are realized in complex environments such as indoors, it is necessary to define routing metrics that can follow these fast changes in propagation conditions that occur in each link in the network.*

This paper presents a critical review of the most well-known routing metrics for MCMI-WMNs. The paper is organised as follows:

### Introduction

*In this section, it is pointed that the need for wireless communications is growing in the modern society. Since wireless networks are widely used, the overall wireless communication is greatly increased. In order to provide greater throughput of user data, it is very important to select the optimal route between the source and the destination node. Therefore, a great attention is dedicated to creating an optimal routing protocol and routing metrics. Routing protocols have an important role in finding paths from the source to the destination nodes, and the routing metrics have the task to select the optimal route from multiple routes.*

### Criteria for creating metrics

*In order to find the optimal metric, it is necessary to define criteria to be taken into account when the metric is formed. These criteria are: interference (intra-flow, inter-flow and external), the amount of information, link load, agility, stability and ability to track rapid changes at every link in the network. In this section, each of the criteria is defined and it is explained what a metric should have in order to satisfy the defined criteria.*

#### Overview of the metrics available in the literature

*In this section, the metrics available in the literature are described. Based on the criteria taken into account, metrics are divided into two categories: hop count metric and link-quality metrics. Link-quality metrics described in this paper are: ETX (Expected Transmission Count), LAETT (Load Aware Expected Transmission Time), EETT (Exclusive Expected Transmission Time), WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time), iAWARE (Interference Aware Routing), MIC (Metric of Interference and Channel-switching), powerETX, powerWCETT, and powerMIC. The rest of this section is organised into the following sub-sections:*

##### Hop count metric

*ETX (Expected Transmission Count) metric  
LAETT (Load Aware Expected Transmission Time) metric  
EETT (Exclusive Expected Transmission Time) metric  
WCETT (Weighted Cumulative Expected Transmission Time) metric  
iAWARE (Interference Aware Routing) metric  
MIC (Metric of Interference and Channel-switching) metric  
powerETX (power Expected Transmission Count) metric  
powerWCETT (power Weighted Cumulative Expected Transmission Time), and powerMIC (power Metric of Interference and Channel-switching) metrics*

*In each of the sub-sections, a detailed description of a particular metric is given as well as its basic characteristics. The metric forming formulas are given as well.*

##### Comparative analysis of the described metrics

*In this section, the comparative analysis of the previously described metrics is given. Besides, the comparative analysis in the terms of throughput of user data and average end to end delay is provided, based on the results given in the literature. The analysis is performed on six metrics: ETX, WCETT, MIC, powerETX, powerWCETT and powerMIC. The first three metrics are chosen since they are most frequently used in the literature, and the other three metrics are formed based on the first three by introducing a parameter that follows fast changes in the state of each link independently.*

##### Conclusion

*In the final section, the concluding remarks are given. This section represents an overview of the entire paper, as well as the reasons why this subject was chosen as a topic of this paper.*

*Key words: channel; Routing protocols; Wireless mesh networks; routing; Metrics; interference.*

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 26. 12. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 13. 02. 2015.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 15. 02. 2015.

# REALIZACIJA KRIPTOLOŠKIH ALGORITAMA U SISTEMIMA VELIKIH PROTOKA PODATAKA

Nikola M. Jaćimović, Bratislav Ž. Planić  
Vojska Srbije, Generalštab, Uprava za telekomunikacije  
i informatiku (J-6), Centar za primenjenu matematiku  
i elektroniku, Beograd  
e-mail: nikola.jacimovic@vs.rs; bratislav.planic@vs.rs

DOI: 10.5937/vojtehg63-7392

OBLAST: računarske nauke, elektronika, telekomunikacije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

Sažetak:

*U radu je analizirana implementacija kriptoloških algoritama tako da se dobiju što je moguće bolje performanse sa aspekta brzine. Na taj način pruža se podrška zaštićene komunikacije između dva učesnika sa što je moguće manjim uticajem na performanse date mrežne infrastrukture. U radu je objašnjena razlika između hardverske i softverske realizacije algoritama za šifrovanje. Prikazane su osnovne karakteristike FPGA čipova i napredne mogućnosti VHDL jezika za dizajniranje koji su korišćeni za implementaciju šifarskog algoritma. Za implementaciju je odabran AES-256 algoritam šifrovanja koji ne samo da predstavlja jedan od najpoznatijih javnih algoritama danas, već se jednako dobro pokazao kako u hardverskoj tako i u softverskoj varijanti. Razvojno okruženje koje je korišćeno je Xilinx ISE Design Suite, a razvojne ploče Xilinx Spartan SP-605 i Xilinx Kintex KC-705. Svi dobijeni rezultati odgovaraju uređajima koji u sebi imaju Spartan®-6, odnosno Kintex®-7 čip.*

Ključne reči: AES, optimizacija dizajna, VHDL, FPGA, šifrovanje.

## Uvod

Konvergencijom podataka, govora i videa u svetu računara, pojavom novih računarskih tehnologija, te povećanjem broja korisnika koji svoje poslovanje oslanjaju na elektronskoj razmeni podataka doveli su do toga da je potražnja za propusnim opsegom sve veća. Istovremeno, sa porastom i realizacijom takvih zahteva javlja se i sve veća potreba za bržom razmenom informacija koje tokom prenosa moraju biti zaštićene.

U jednom takvom okruženju, u današnje vreme, najčešće ni količina podataka ni kapaciteti prenosnog kanala ne predstavljaju problem u pogledu propusne moći čitavog sistema. Razlog za to krije se u sve nižoj ceni



same mrežne opreme. Ono što se po pravilu javlja kao „usko grlo” je sam proces šifrovanja, odnosno dešifrovanja informacije koja se razmenjuje, a koji iziskuje dodatno vreme za obradu. Samim tim, ili će vreme potrebno za predaju biti zakašnjeno, ili će protok razmene podataka biti umanjen.

Prvi slučaj se javlja, na primer, ukoliko se postupak šifrovanja izvršava na višim nivoima OSI (*Open Systems Interconnection*) modela (npr. aplikativni). U takvim situacijama prvo se izvrši šifrovanje, a zatim se šalju podaci. Kao primer može se uzeti slanje elektronske pošte. Mada vreme potrebno za šifrovanje često izgleda zanemarljivo sa aspekta krajnjeg korisnika i pripada vremenu koje odgovara obradi informacija, a ne njihovom prenosu, potrebno je napomenuti da predmet istraživanja ovog rada predstavljaju sistemi velikih protoka, u kojima se svako kašnjenje koje postoji mora uzeti u razmatranje.

Drugi slučaj, smanjenje protoka razmene podataka, dešava se u sistemima koji kriptozastitu realizuju na fizičkom nivou OSI referentnog modela. To najčešće podrazumeva da je implementacija kriptološkog algoritma i pratećih interfejsa izvršena na hardverskom nivou. Koliko će proces kriptološke obrade podataka uticati na brzinu prenosa u datom sistemu najviše zavisi od kompleksnosti samog algoritma. Međutim, ne sme se zanemariti ni činjenica da i sam način implementacije i postupak dizajniranja pomenutih hardverskih kriptoblokova bitno menja performanse čitavog sistema. Upravo ova oblast predstavlja osnovnu temu rada i praktično dokazuje navedenu tvrdnju.

Dakle, u zavisnosti od složenosti i načina realizacije algoritma koji se koristi za kriptozastitu podataka, može se razmatrati maksimalna brzina razmene zaštićenih podataka, bez obzira na performanse koje data mrežna infrastruktura pruža.

Imajući to u vidu, a s obzirom na to da se jedan kriptosistem, kao sistem koji obezbeđuje šifrovanje i dešifrovanje podataka, može implementirati i hardverski i softverski, prvo pitanje koje se postavlja jeste koji će od ova dva načina implementacije dati bolje performanse čitavog sistema. Sledeće pitanje je koja vrsta tehnologije će biti korišćena. Poslednji problem, koji u pojedinim slučajevima može biti od presudne važnosti za performanse, predstavlja način same implementacije prethodno odabranih elemenata.

Upravo na ovaj način će se, u daljem razmatranju, izvršiti pristup problemu realizacije kriptoloških algoritama u sistemima velikih protoka.

## Hardverski i softverski kriptosistemi

Već je napomenuto da algoritmi u jednom šifarskom sistemu mogu biti implementirani na dva načina: softverski ili hardverski.

Osnovne prednosti softverske realizacije algoritma za šifrovanje su: prenosivost, fleksibilnost i jednostavnost korišćenja i nadgradnje. To znači da se algoritam napisan u nekom programskom jeziku (npr. C/C++,

JAVA, ...) može izvršavati, uz male izmene i bez velikih dodatnih troškova, na svakom računaru. Takođe, ne postoje bitnija ograničenja ni prilikom prenošenja koda sa jedne na drugu aplikaciju.

Uprkos tome, NSA (*National Security Agency* – državna bezbednosna agencija Sjedinjenih Američkih Država) autorizuje isključivo hardversko šifrovanje (Schneier, 1996, p.192). Takođe, za vojne i ozbiljne komercijalne primene hardver se još uvek koristi kao glavni vid realizacije algoritama za šifrovanje. Prema Schneier-u (1996, pp.192-194) postoji nekoliko razloga za to.

Prvi razlog je brzina. Svaki algoritam za šifrovanje sastoji se od mnoštva komplikovanih operacija nad bitovima. S obzirom na to da te operacije nisu podrazumevano ugrađene ni u jedan računar (procesor) opšte namene, softverske realizacije kriptoloških algoritama će raditi neefikasno. Osim toga, šifrovanje je često postupak sa mnogo izračunavanja, a dodeljivanje takvog zadatka osnovnom procesoru je takođe neefikasno. Hardversko šifrovanje podrazumeva šifrovanje podataka na posebnom (specijalnom) čipu unutar uređaja, čime se bitno dobija na brzini. Mada postoje naponi pojedinih istraživača da optimiziraju vremensko izvršavanje softverskih rešenja, dobijeni rezultati su uvek lošiji od onih koje nudi specijalizovan hardver.

Drugi razlog je bezbednost. Algoritam za šifrovanje koji se izvršava na računaru opšte namene nema nikakvu fizičku zaštitu koja bi sprečila napadača da upadne u sistem i izvrši određene izmene algoritma. Za razliku od njih, uređaji za hardversko šifrovanje mogu biti dodatno fizički zaštićeni – od načina čuvanja takvih uređaja (zaključane prostorije, video nadzor itd.) do načina realizacije fizičke zaštite na samom uređaju (npr. *tamper-proof*). VLSI čipovi posebne namene mogu da budu obloženi takvom supstancom da će svaki pokušaj pristupanja njihovoj unutrašnjosti dovesti do uništavanja logike čipa (takvi su svojevremeno bili čipovi američke vlade *Clipper* i *Capstone*). Na ovaj način, oprema koja štiti od upada može da spreči i izmenu uređaja za hardversko šifrovanje.

Treći razlog za nadmoćnost hardvera je jednostavnost instalacije. Naime, šifrovanje komunikacije između uređaja koji ne predstavljaju računare opšte namene (telefon, faks, modem itd.) mnogo je jednostavnije i jeftinije realizovati ugradnjom hardvera za šifrovanje nego ugradnjom softvera i određenog mikroprocesora.

Imajući to u vidu, sasvim je jasno da će se za primenu u sistemima velikih protoka radije koristiti hardverska realizacija kriptoaigoritama od softverske. To se u praksi svakodnevno potvrđuje od strane mnogih vodećih organizacija koje u svojim proizvodima (kriptouređajima) koriste ovaj pristup zaštite informacija (mada su podaci o tehničkoj realizaciji aktuelnih rešenja veoma oskudni i teško se mogu naći na zvaničnim sajtovima).

Zbog niza prednosti, kao jedna od najzahvalnijih tehnologija hardverske realizacije kriptoloških algoritama nameće se primena programabilnih čipova.

## FPGA logička kola

Danas je na tržištu dostupan veliki broj različitih tipova programabilnih logičkih kola (*Programmable Logic Device* – PLD kola), koja se razlikuju po načinu programiranja, složenosti, brzini rada i broju pinova.

Osnovna prednost FPGA (*Field Programmable Gate Array*) čipova u odnosu na ostala PLD kola jeste što je proces projektovanja dosta ubrzan, a proces testiranja i *debug*-ovanja znatno olakšan zbog mogućnosti jednostavnog rekonfiguriranja delova sistema u toku projektovanja (El Mezeni, et al., 2008). Kada se uzme u obzir i činjenica da je cena razvoja takvog dizajna niža od drugih načina programiranja hardvera (npr. izrada ASIC kola), jasno je zašto su FPGA kola veoma privlačna za dizajniranje.

Da bi se napravio efikasan FPGA dizajn, HDL (*Hardware Description Language*) opis mora se prilagoditi zahtevima FPGA arhitekture, tako da bude iskorišćeno što više ponuđenih hardverskih resursa. Osim toga, potrebno je proučiti određeni alat za sintezu, dok je vrsta HDL-a koji se koristi (VHDL, Verilog,...) od manjeg značaja (Gschwind, Salapura, 1995) (Farooq, et al., 2012).

Kao jedno od rešenja koja se mogu primeniti za dizajniranje kompleksne logike u ovom radu korišćen je VHDL (*Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language*) – jezik za opis hardvera.

## Primena FPGA čipova u kriptozastiti

Usled komercijalnih potreba koje se ogledaju u smanjenju troškova dizajniranja kola, ali i u pogledu smanjenja rizika i bržeg pojavljivanja na tržištu, upotreba FPGA programabilnih kola se povećala. Drugim rečima, za neke aplikacije više nije neophodno prebacivanje prototipskog dizajna sa FPGA na ASIC kola, već se takvi proizvodi pojavljuju na tržištu sa već programiranim FPGA kolom (Good, Benaissa, 2005).

U sistemima kriptozastite prednost upotrebe ovakvih čipova je višestruka (Wollinger, et al. 2004):

- Prilagodljivost algoritama (eng. *algorithm agility*) koja se ogleda u zameni kriptografskih algoritama usled različitih potreba (promena trenutne sesije, narušavanje tajnosti kriptoparametara, itd.) nezavisno od komunikacionih protokola.

- Nadogradnja algoritma (eng. *algorithm upload*) je veoma bitna karakteristika, s obzirom da neophodne modifikacije (ili izmene) već implementiranog bloka za šifrovanje u slučaju drugih tehnologija (na primer ASIC čipova) mogu biti nemoguće.

- Modifikacija algoritma (eng. *algorithm modification*) koji podrazumeva izmenu osnovnih kriptoparametara (npr. *S-box* tabela).

– Propusnost (eng. *throughput*), budući da procesori opšte namene ne moraju biti optimizovani za brzo izvršavanje određenih operacija.

– Cena (eng. *cost efficiency*) koja se posmatra sa dva aspekta: cena razvoja i cena hardverske komponente. Kada se posmatra razvoj na jednom FPGA čipu, dolazi se do zaključka da je to mnogo jeftinije nego npr. ASIC implementacija. To, takođe, rezultira bržom pojavom proizvoda na tržištu, što u današnje vreme može biti veoma značajno.

Naravno, kako bi navedene prednosti bile što bolje iskorišćene, potrebno je efikasno koristiti resurse čipa koji su na raspolaganju. U zavisnosti od toga koliko će se prilikom dizajniranja voditi računa o optimizaciji kritičnih putanja signala, mogu se dobiti različite performanse sistema. S obzirom na to, u sledećem poglavlju biće dat detaljniji prikaz naprednih tehnika VHDL jezika za dobijanje optimiziranog dizajna.

## VHDL optimizacija

Inicijalna struktura sintetizovane logike direktno se dobija od strukture njenog opisa. Dakle, da bi ostvarili neophodne optimizacije u vidu efikasnog iskorišćenja ponuđenih resursa na samom FPGA čipu, potrebno je prilagoditi opis tog dizajna i kodovati ga na način kojim će se, alatu za sintezu, precizno definisati kako da implementira opisanu logiku. Osim toga, sofisticirani alati za optimizaciju često nisu dovoljno dobri za postizanje neophodnih performansi određenog dizajna. Pod pojmom performansi digitalnog kola možemo posmatrati tri osnovne grupe – brzinu rada, površinu koju zauzima na čipu i napajanje (eng. *power*). U ovom radu od posebnog je interesa brzina, pa se ostale performanse mogu posmatrati kao manje restriktivne kategorije.

Postoje tri osnovne definicije brzine u zavisnosti od konteksta problema: propusnost (eng. *throughput*), kašnjenje (eng. *latency*) i vremensko usaglašavanje (eng. *timing*) (Kilts, 2007).

Propusnost podrazumeva količinu podataka koji se mogu obraditi za jedan takt. Najčešće se izražava jedinicom bps (eng. *bits per second*).

Kašnjenje se odnosi na vreme koje protekne od prijema ulaznog podatka (signala) do dobijanja odgovarajućeg izlaza. Uglavnom se meri vremenskim jedinicama ili brojem taktova.

Vremensko usaglašavanje podrazumeva logička zadržavanja između sekvencijalnih elemenata. Naime, ako naš dizajn ne ispunjava uslov vremenskog usaglašavanja, to znači da je kašnjenje signala na kritičnom putu (put signala koji ima najveće kašnjenje) između dva flip-flopa veće od zadatog perioda takta. To se može desiti iz više razloga, kao što su – kompleksna kombinaciona logika, kompleksno rutiranje signala itd. Mer na jedinica za *timing* je period takta i frekvencija rada.

## *Propusnost (throughput)*

Da bi dobili veću propusnost signala, uvodi se koncept *pipeline*-a. Ova tehnika se koristi u skoro svim uređajima sa visokim performansama, kao što su centralne procesorske jedinice, stekovi mrežnih protokola, ali i uređaji za šifrovanje.

Najčešće *pipeline* nastaje tako što se podeli neka kompleksna operacija na više jednostavnijih. Kako se svaki kript algoritam sastoji od mnoštva složenih operacija nad bitovima, lako je zaključiti da se tehnika *pipeline*-a mora javljati u svakom dobro optimizovanom kodu za šifrovanje. U zavisnosti od načina implementacije razlikuju se dve vrste *pipeline*-a: instrukcijski (koji predstavlja način rada raznih procesorskih jedinica) i hardverski (koji se koristi prilikom dizajniranja logike).

Implementacija instrukcijskog *pipeline*-a pomoću VHDL-a je moguća, ali samo ukoliko se dizajnira mikroprocesor na FPGA. S obzirom na to da je, na početku ovog rada, objašnjena prednost hardverske realizacije algoritama sa aspekta brzine izvršavanja, i da takva implementacija ne podrazumeva procesor kao hardversku podlogu, to implementacija instrukcijskog *pipeline*-a pomoću VHDL-a neće biti razmatrana u daljem radu.

S druge strane, kako se svaki FPGA dizajn sastoji od skupa elemenata za obradu informacija povezanih u niz, tako da izlaz iz jednog elementa predstavlja ulaz u sledeći, ideja hardverskog *pipeline*-a sastoji se u obradi manje količine podataka za kraći period. Drugim rečima, ukoliko je dizajn kompleksan, potrebno je prepoznati i razviti ga u manje, jednostavnije korake. To se postiže pamćenjem međurezultata složenih operacija. Na taj način povećava se maksimalna frekvencija takta, smanjuje vreme sinteze koda i, što je u ovom slučaju najvažnije, povećava propusnost sistema.

Bez obzira na to što je ovaj način pisanja koda nešto komplikovaniji od uobičajenog, on se ne sme zaobilaziti ukoliko je potrebno maksimalno povećanje brzine rada algoritma. To se posebno odnosi na velike projekte koji mogu biti usko grlo u pogledu performansi za čitav dizajn.

*Pipeline* ima veliku primenu u iterativnim sistemima koji koriste iste registre i resurse za obradu podataka tokom čitavog procesa izračunavanja, i u kojima se ne može početi sa novom obradom podataka dok se prethodna operacija ne obavi u potpunosti. Ovaj koncept poznat je pod nazivom „razvijanje petlji” (eng. *unrolling the loop*) (Kilts, 2007), a sastoji se u tome da se dati signal propušta kroz nivoe *pipeline*-a, koristeći nezavisne resurse za izračunavanje međurezultata. Tako, dok se računa vrednost  $X_k$  u drugom, sledeća vrednost  $X_{k+1}$  može se istovremeno obrađivati u prvom nivou *pipeline*-a.

Jedini nedostatak razvijanja petlje je povećanje prostora koji dizajn zauzima na čipu. Iterativna implementacija zahteva jedan registar, jedan kombinacioni blok za obradu signala i određenu kontrolnu logiku, dok *pipeline* implementacija zahteva, osim kontrolne logike, posebne registre za međurezultate, ali i po jedan kombinacioni blok za obradu signala za svaki nivo *pipeline*-a.

## Kašnjenje (*latency*)

Kašnjenje dizajna predstavlja vremensku razliku između trenutka pojave signala na ulazu do dobijanja validnog izlaznog signala. Da bi to kašnjenje trajalo što kraće, potrebno je da se protok podataka sa ulaza na izlaz odvija što je moguće brže. To se ostvaruje optimiziranjem vremena potrebnog za obradu međurezultata. Često, smanjenje kašnjenja podrazumeva paralelizam, uklanjanje *pipeline*-a ili logičke prečice, što može prouzrokovati smanjenje propusnosti ili maksimalnog takta dizajna.

Posmatrajući problem razvijanja petlji ponovo, može se uočiti da ne postoji optimizacija kašnjenja kod iterativne implementacije, zbog toga što se rezultat jedne operacije obrade signala svakako mora snimiti u registar, pre nego što se izvrši sledeća obrada. Međutim, kod *pipeline* implementacije postoji jednostavan način za smanjenje kašnjenja. Lako se uočava da se posle svakog nivoa *pipeline*-a rezultat dobijene obrade smešta u registre i čeka narednu ivicu takta kako bi prešao u sledeći nivo. Uklanjanjem tih registara može se izvršiti minimizacija vremena kašnjenja kola, čime se u potpunosti dobija kombinaciona mreža.

Nedostatak ovakve realizacije digitalnog kola je u vremenu. Naime, *pipeline* implementacije bi teoretski mogle da se izvršavaju pri taktu sa periodom čije je trajanje približno kašnjenju jedne operacije obrade signala, dok eliminacijom registara *pipeline*-a taj period mora biti jednak zbiru kašnjenja svih operacija za obradu signala, plus kašnjenje kontrolne logike kritičnog puta.

## Vremenska usaglašenost (*timing*)

Maksimalna brzina signala takta (eng. *clock speed*) u kolu određena je maksimalnim kašnjenjem između bilo koja dva sekvencijalna elementa. Mada ona dosta zavisi od odnosa kompromisa učinjenih u sferi „brzina”/„prostor na čipu”, sama ideja brzine signala takta javlja se na mnogo nižem nivou apstrakcije. Drugim rečima, bez detaljnog uvida u kompletnu implementaciju, ne možemo jasno reći da li će, na primer, *pipeline* dizajn biti brži od iterativnog ili ne, i slično.

Ukoliko se kao sekvencijalni elementi u dizajnu koriste D-flip-flopovi, maksimalna brzina, ili maksimalna frekvencija, može se definisati na sledeći način (Kilts, 2007):

$$F_{max} = \frac{1}{T_{cik-q} + T_{logic} + T_{routing} + T_{setup} - T_{skew}} \quad (1)$$

gde je:

$F_{max}$  – maksimalna dopuštena frekvencija takta;

$T_{clk-q}$  – vreme od pojavljivanja ivice takta do pojavljivanja podatka na Q izlazu flip-flopa;

$T_{logic}$  – propagaciono kašnjenje logike između flip-flopova;

$T_{routing}$  – kašnjenje usled rutiranja signala između flip-flopova;

$T_{setup}$  – minimalno vreme za koje podatak mora stići na  $D$  ulaz flip-flopa, pre nego što se pojavi naredna ivica takta;

$T_{skew}$  – propagaciono kašnjenje takta između izlaznog i ulaznog flip-flopa

Brzina takta može se poboljšati korišćenjem različitih metoda. To su:

- dodavanje registara koji čuvaju međurezultate na kritičnoj putanji. Ovu tehniku poželjno je primenjivati u dizajnima sa velikim nivoima *pipeline*-a, kako kašnjenje zbog dodatog takta ne bi mnogo narušilo dobijene performanse, a ukupna funkcionalnost kola ostala nepromenjena;

- paralelne strukture, odnosno reorganizacija kritične putanje, tako da se logičke strukture implementiraju u paraleli. Ovu tehniku bi trebalo koristiti kad god nam funkcija koja se izvršava serijski dozvoljava da se razdvoji i obrađuje u paraleli. Na taj način, bitno se može smanjiti i maksimalno kašnjenje;

- spljoštene (eng. *flatten*) logičke strukture kao tehnika koja se posebno primenjuje kod logike ulančanih prioriteta kodiranja. Na primer, u kodu se može javiti neki od prioriternih zahteva, koji realno nije neophodan za dizajn. Alat za sintezu će ga prepoznati i implementirati, iako ignorisanje tog zahteva ne bi uopšte uticalo na funkcionalnost kola, a istovremeno bi, uvođenjem paralelizma, mogle da se dobiju bolje performanse;

- balansiranje registara predstavlja ravnomernu preraspodelu logike između registara radi minimiziranja najgoreg slučaja kašnjenja između bilo koja dva registra. Ovu tehniku trebalo bi koristiti kad god postoji velika neujednačenost između kritičnog i njemu susednog puta. Pošto je brzina takta ograničena najgorim slučajem putanje, ponekad se na ovaj način, uz veoma male izmene dizajna, može dobiti velika optimizacija;

- preraspodela puta toka podataka je tehnika koja se koristi kad god je više putanja kombinovano sa kritičnom, i ta kombinovana putanja se može preraspodeliti tako da se deo logike kritičnog puta pomeri bliže odredišnom registru.

## Implementacija AES-256 (Rijndael) kriptološkog algoritma

### *Osnovni koncept AES algoritma*

U zavisnosti od operacija koje se izvršavaju nad nizom otvorenog teksta, algoritmi za šifrovanje mogu biti efikasniji kao softversko nego kao hardversko rešenje, i obrnuto. Pojedini algoritmi, kao što je AES, pokazali

su se jednako dobri za implementaciju u obe ove varijante (Karimian, et al., 2012). Radi dobijanja objektivnih rezultata, za konkretan primer efikasne hardverske realizacije kriptosistema korišćen je algoritam AES-256 (Rijndael).

Šifarski algoritam *Advanced Encryption Standard (AES)* jedan je od najpopularnijih šifarskih algoritama danas (Jevremović, 2011). Odobrio ga je *NIST* 2000. godine, kao federalni standard za obradu informacija, a njegov opis je dokumentovan u publikaciji poznatoj kao FIPS-197 (<http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>, 2001).

AES algoritam predstavlja simetrični blokovski algoritam koji može koristiti ključeve dužine 128, 192 i 256 bitova. Osnovna jedinica za obradu podataka kod AES algoritma je bajt i sve operacije se izvršavaju nad dvodimenzionalnim nizovima bajtova koji se nazivaju stanja. Dužina ulaznog bloka, izlaznog bloka i stanja je 128 bitova. Ovi nizovi sadrže po četiri reda bajtova, od kojih svaki sadrži  $N$  bajtova ( $N$  je veličina bloka podeljena sa 32) (Veinović, Jevremović, 2011).

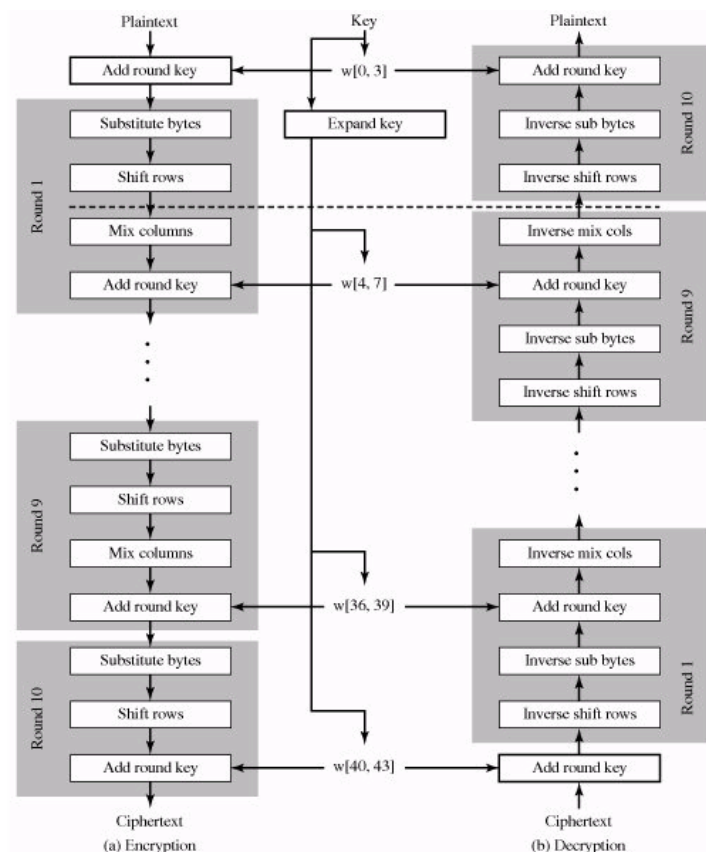
Broj rundi kod ovog algoritma zavisi od dužine ključa i iznosi 10, 12 ili 14 rundi za dužine ključa od 128, 192 i 256 bitova respektivno. Za procese šifrovanja i dešifrovanja podataka AES algoritam koristi sledeće transformacije:

- nelinearnu zamenu bajtova na osnovu supstitucione tabele (*ByteSub*),
- promenu mesta bajtova unutar istog reda (*ShiftRow*),
- transformaciju bajtova unutar iste kolone (*MixColumn*) i
- sabiranje po modulu dva sa odgovarajućim delom ključa (*AddRoundKey*).

Celokupan proces šifrovanja prikazan je dijagramom na slici 1 (Marković, 2012).

Na početku procesa šifrovanja ulazni niz kopira se u matricu stanja. Nakon dodavanja *RoundKey* vrednosti matrica stanja se transformiše u rundama. Nakon poslednje runde, matrica stanja se kopira u izlazni niz. *RoundKey*, kao jedan od ulaznih parametara svake runde, jednodimenzionalni je niz reči od po četiri bajta, dobijen na osnovu *KeyExpansion* rutine. Ova rutina od glavnog ključa generiše tzv. raspored ključeva dužine  $Nr$  reči ( $Nr$  je broj ciklusa) od po četiri bajta (32 bita) (Veinović, Jevremović, 2011). U poslednjem ciklusu šifrovanja se ne odvija transformacija bajtova unutar iste kolone (*MixColumn*).





Slika 1 –AES algoritam  
 Figure 1 – AES algorithm  
 Рис. 1 – алгоритм AES

Algoritam ekspanzije ključa (*KeyExpansion* rutina) kao ulaznu vrednost uzima ključ  $K$ . Rezultat njegovog izvršenja predstavljaće niz 4-bajtnih reči  $W$  dužine  $4 \times (Nr+1)$  (gde  $Nr$  predstavlja broj rundi u algoritmu). Tako da, ukoliko je npr. dužina ključa 128 bita, algoritam će imati 10 rundi, pa će niz  $W$  biti dužine  $4 \times (10+1) = 44$  reči od 32 bita.

Ako sa  $w_i$  predstavimo  $i$ -ti element niza  $W$ , onda će način formiranja niza  $W$  biti (Marković, 2012):

$$\begin{aligned}
 w_0 &= k_0 \\
 w_1 &= k_1 \\
 w_2 &= k_2 \\
 w_3 &= k_3 \\
 w_4 &= w_0 \text{ XOR } \text{temp}_1 \\
 w_5 &= w_1 \text{ XOR } w_4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
w_6 &= w_2 \text{ XOR } w_4 \\
w_7 &= w_3 \text{ XOR } w_4 \\
w_8 &= w_4 \text{ XOR } \text{temp}_2 \\
&: \\
&: \\
w_{43} &= w_{39} \text{ XOR } w_{42} \\
w_{44} &= w_{40} \text{ XOR } \text{temp}_{11}
\end{aligned}$$

gde su  $k_0, k_1, k_2$  i  $k_3$  elementi ključa  $K$ . Može se primetiti da za izračunavanje  $w_i$  postoje dva slučaja:

- $w_i = w_{i-Nk} \text{ XOR } w_{i-1}$  za  $i \bmod Nk \neq 0$ ,
- $w_i = w_{i-Nk} \text{ XOR } \text{temp}_k$  za  $i \bmod Nk = 0$ , gde je  $\text{temp}_k = \text{ByteSub}(S_1, W_{i-1}) \text{ XOR } rcon_k$ , pri čemu je funkcija *ByteSub* zapravo funkcija supstitucije

## VHDL implementacija AES algoritma

### Pregled dosadašnjih rešenja

Odmah nakon objavljivanja AES algoritma, on postaje predmet mnogih istraživanja u oblasti pronalaženja pogodne arhitekture za hardversku implementaciju. Odabir te arhitekture i način realizacije konkretne logičke strukture zavisi od sistemskih zahteva u pogledu brzine i resursa.

Danas postoji niz radova koji obrađuju problem implementacije ovog algoritma za šifrovanje u FPGA ili ASIC čipove. Autori, osim osnovne implementacije, uglavnom obrađuju dve vrste optimizacije – optimizaciju prostora koji dizajn zauzima na čipu i optimizaciju vremena izvršavanja. Takođe, česta oblast istraživanja je i ukupna potrošnja snage određenog dizajna, što je posebno popularno za aplikacije koje se razvijaju za potrebe prenosnih uređaja. S obzirom na to da je za potrebe ovog rada od posebnog interesa optimizacija vremena izvršavanja algoritma, u ovom poglavlju detaljnije će biti prikazani trenutni rezultati do kojih su došli istraživači u svetu.

Jedno od prvih istraživanja na ovu temu je svakako rad (Gaj, Chodowicz, 2001) koji se pojavio iste godine kada je AES i prihvaćen kao standard. Performanse koje su tada dobijene pružale su adekvatnu podršku algoritma za rad na brzinama do 12,2 Gb/s.

Ukoliko se uzmu u obzir i drugi parametri na čipu, mogu se dobiti znatne razlike u brzini. Tako je u radu (Rodriguez-Henriquez, et al. 2003), s obzirom na to da on obrađuje paralelnu optimizaciju i prostora i vremena izvršavanja, dobijena brzina od 4121 Mb/s. Razlog ovakvih performansi je obrnuto srazmeran međusobni uticaj ove dve vrste optimizacija. Osnovni način vremenske optimizacije u ovom radu je *pipeline* tehnika i dobijeni rezultat je (i pored vođenja računa o prostoru na čipu) za 27,23% brži u odnosu na rešenje opisano u (McLoone, McCanny, 2001).

Značaj i rezultati koji se mogu dobiti pomoću korišćenja *pipeline*-a su dosta dobro objašnjeni u radu (Hodjat, Verbauwhede, 2003) gde su prikazana tri načina realizacije AES-128 algoritma na ASIC kolima. Prvi način realizacije predstavlja najbržu verziju AES-128 algoritma koja može dostići brzinu od 77,6 Gb/s, i ima 41 *pipeline* stanje (svaka runda je razbijena na 4 stanja). Druga verzija dizajna podrazumeva jedno *pipeline* stanje za jednu rundu, odnosno ukupno 11 stanja. Brzina koja se dobila ovom tehnikom je 48,2 Gb/s i oko 25% uštede prostora na čipu. Konačno, treći način realizacije podrazumeva izvršavanje 2 runde za jedno stanje, odnosno ukupno 5 *pipeline* stanja. Očekivano, ova verzija je i najsporija i iznosi 23,1 Gb/s. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da različitim pristupom kodovanja možemo dobiti i do 3 puta brže izvršavanje algoritma, dok je ušteda na prostoru između najbrže i najsporije verzije algoritma oko 50%.

Postoji nekoliko radova u oblasti implementacije efikasnog AES algoritma koji za potrebe optimizacije uvode novi koncept u pogledu hardverske realizacije *S-box* tabele. Naime, implementacija operacije zamene bajtova (*Sub-Byte*) uglavnom se izvršava pomoću *look-up* tabele, čime se, zbog vremena potrebnog za prolazak kroz memorijske blokove FPGA, dobija kašnjenje koje nije moguće optimizirati. Realizovanjem ove operacije pomoću aritmetike dozvoljava se dublji nivo *pipeline*-a, a time i veća propusnost dizajna. Jedan od radova na ovu temu je svakako i rad (Good, Benaissa, 2005), u kojem su autori predstavili AES-128 verziju algoritma koja radi na brzini od 25 Gb/s.

### Sopstveno rešenje

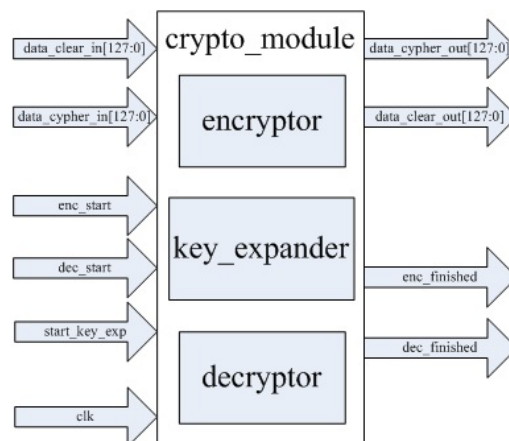
Za efikasnu implementaciju sopstvenog hardverskog rešenja kriptološkog algoritma AES moraju se uzeti u obzir tehnike optimizacije VHDL dizajna, a kao polazna pretpostavka razmatranje mogućnosti njihovog dostizanja i/ili boljih rezultata od onih koji su trenutno dostupni. Takođe, mora se uzeti u obzir i kašnjenje koje se može javiti usled korišćenja različitih kriptografskih modova rada.

Poznato je da je najjednostavniji mod za realizaciju mod elektronske kodne knjige ECB (*Electronic Code Book*). S obzirom na to da ovaj mod ne podrazumeva nikakva dodatna preprocesiranja bloka otvorenog teksta, on nam omogućava rad u *pipeline* režimu, čime se propusnost bitno povećava. S druge strane, ECB mod je najmanje otporan na napad, s obzirom na to da se identični blokovi otvorenog teksta uvek preslikavaju u iste blokove šifrata. Ostali modovi rada (CBC, OFB...) povećavaju otpornost na napade, ali bitno utiču na performanse, upravo zbog toga što ograničavaju efikasnost *pipeline*-a.

U ovom radu, a radi boljeg uočavanja rezultata koji se mogu dobiti optimizacijom dizajna, koristiće se ECB mod rada i verzija algoritma AES-256. Razvoj algoritma izvršen je u programskom okruženju Xilinx ISE 14.2. Ovo programsko okruženje, osim prevođenja koda, izvršava i detaljnu analizu dizajna. Vremenski parametri koji se koriste u ovom radu su parametri koji su dobijeni od razvojnog okruženja.

Algoritam je podeljen na dva dela – jedan za šifrovanje i drugi za dešifrovanje. Ova dva dela algoritma su nezavisna, iako dele jednu zajedničku komponentu – blok za ekspanziju ključa. S obzirom na to da se ekspanzija ključa izvršava jedanput, na početku rada algoritma, i da se dobijeni potključevi rundi ne menjaju tokom rada, već su isti za svaki naredni blok otvorenog teksta, dobijeni potključevi se smeštaju na interni ROM. Njihovo čitanje može se vršiti simultano i nezavisno od blokova za šifrovanje, odnosno za dešifrovanje otvorenog teksta.

Na slici 2 vidi se blok kompletnog kriptomodula, koji sadrži blokove za šifrovanje, dešifrovanje i ekspanziju ključa.



Slika 2 – Blok kriptomodula namenjenog za šifrovanje, dešifrovanje i ekspanziju ključa  
 Figure 2 – Block of a cryptomodule for encryption, decryption and key expansion  
 Рис. 2 – Блок криптологического модуля шифрования, дешифрования и расширения (увеличения длины) ключа

S obzirom na to da je ukupna brzina izvršavanja algoritma jednaka maksimalnoj brzini njegove najsporije komponente, razvijanjem ovog algoritma i posebnom vremenskom analizom svake od njegovih celina dobiće se opšti uvid u maksimalnu brzinu kompletnog kriptomodula.

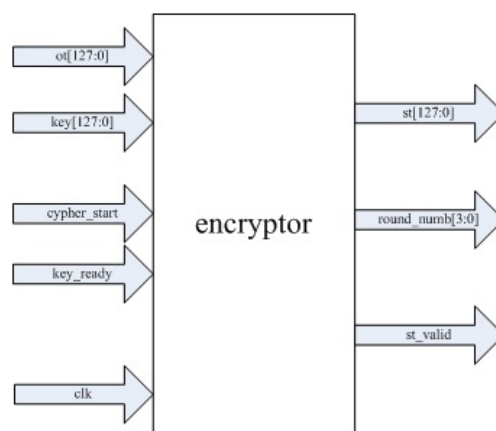
Kako blok za šifrovanje i blok za dešifrovanje imaju istu složenost, u daljem razmatranju posebna pažnja posvećena je samo bloku za šifrovanje.

### Blok za šifrovanje

Ulazni i izlazni portovi bloka za šifrovanje prikazani su na slici 3.

Sa slike se može uočiti da se kao ulazni signali (na slici su predstavljeni sa leve strane) osim dva 128-bitna vektora, koji predstavljaju blok otvorenog teksta (*ot*) i potključ za trenutnu rundu (*key*), i ulaznog signala

takta (*clk*), javljaju i dva kontrolna signala (odnosno porta) *key\_ready* i *cypher\_start*. Ukoliko je signal *key\_ready* jednak '1' to znači da se završila ekspanzija ključa i da je vrednost potključa runde validna i u skladu sa brojem runde koji je prosleđen signalom *round\_numb* bloku za ekspanziju ključa. Drugi signal *cypher\_start* predstavlja kontrolu validnosti otvorenog teksta koji se dovodi na ulaz bloka za šifrovanje. Dakle, ukoliko je vrednost ovog signala jednaka '1' na ulazu *ot[127:0]* nalazi se validan blok otvorenog teksta i proces šifrovanja može da počne.

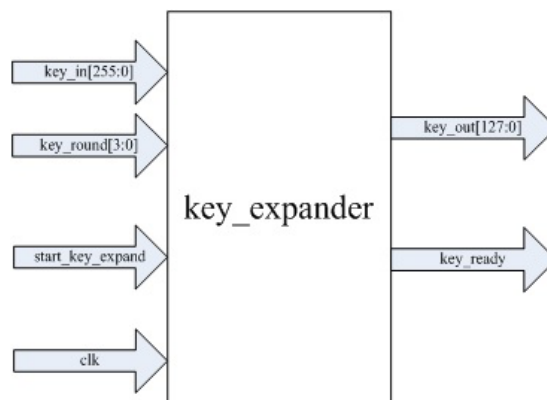


Slika 3 – Blok za šifrovanje  
Figure 3 – Encryption block  
Рис. 3 – Блок шифрования

Kao rezultat dobijamo blok šifrata na izlazu i kontrolni signal *st\_valid* koji označava validnost bloka šifrata. Važno je napomenuti da je blok šifrata na izlazu validan samo jedan takt, što mora biti dovoljno za njegovo prosleđivanje na liniju. Na ovaj način se bloku za dešifrovanje, koji kao svoj ulaz prihvata i *st* i *st\_valid* signale iz *encryptor*-a, jasno daje do znanja kada treba da započne proces dešifrovanja.

#### *Blok za ekspanziju ključa*

Sledeći blok koji je specifičan jeste blok za ekspanziju ključa. Ovaj deo algoritma dizajniran je tako da u matrici ključeva čuva sve potključeve runde. Na taj način smanjeno je vreme čekanja validnog potključa na minimum, s obzirom na to da ostvorena veza predstavlja kombinacionu logiku koja ne zavisi od takta (u pitanju je multiplekser kome blok za šifrovanje prosleđuje signale za selekciju potključa). Na slici 4 dat je prikaz bloka za ekspanziju ključa.



Slika 4 – Blok za ekspanziju ključa  
 Figure 4 – Key expansion block  
 Рис. 4 – Блок расширения (увеличения длины) ключа

Potrebno je napomenuti da se signal *key\_ready* ovog bloka vezuje za signal *key\_ready* blokova za šifrovanje, odnosno dešifrovanje i predstavlja znak da je ekspanzija ključa završena i da se na ulazu u multiplexer nalaze validne vrednosti potključeva rundi. Na slici nisu prikazani signali koji se odnose na blok za dešifrovanje (ulazni signal broja runde i izlazni signal ključa za tu rundu) radi jednostavnijeg prikaza.

#### Brzina izvršavanja VHDL implementacije AES-a

Brzina izvršavanja hardverske realizacija AES algoritma na FPGA čipu zavisi od načina dizajniranja samog algoritma, ali i od vrste FPGA čipa na koji se implementira. Zbog toga će se u daljem radu izvršiti analiza uticaja oba navedena faktora zasebno, tako što će se najpre izvršiti vremenska optimizacija algoritma intervencijom u samom kodu dizajna, a zatim će se dobijena rešenja testirati na dve različite serije FPGA čipova istog proizvođača: *Xilinx Spartan-6* i *Xilinx Kintex-7*.

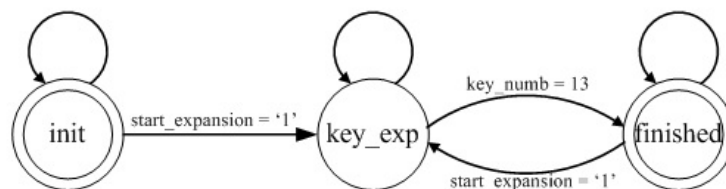
Kao što je rečeno, u ovom radu izvršena je vremenska analiza svakog bloka zasebno, kao i njihova optimizacija.

#### Vremenska analiza bloka za ekspanziju ključa

Prva verzija *key\_expander*-a dizajnirana je pomoću mašine stanja. Inicijalno se posmatraju stanja u kojima se može naći blok za ekspanziju, i prilikom procesa kodovanja svakom stanju dodeli se po jedna perioda takta. To podrazumeva da se kompletna obrada signala u datom stanju izvršava za tačno jedan takt i dolaskom naredne uzlazne ivice takta prelazi se u sledeće stanje. Kod ovakvog pristupa i uz dobro modelovanu

mašinu stanja greške u dizajniranju svedene su na minimum. Loša strana ovog pristupa, sa vremenskog aspekta, ogleda se u različitoj složenosti svakog stanja. Naime, dovoljno je da postoji samo jedno stanje koje podrazumeva kompleksnu i vremenski zahtevnu obradu signala, pa da se maksimalna frekvencija takta čitavog sistema uspori. Upravo taj pristup pokazan je na primeru bloka za ekspanziju ključa.

Prva neoptimizovana verzija dizajna podrazumeva mašinu stanja prikazanu na slici 5. Maksimalna frekvencija ovakvog dizajna za *Spartan-6* čipove iznosi 102.558MHz (Jaćimović, Planić, 2014), dok je kod *Kintex-7* serije ta vrednost 226.827MHz. Lako se uočava da „usko grlo” ovakvog sistema predstavlja stanje *key\_exp\_state*, jer ono podrazumeva obavljanje nekoliko sukcesivnih operacija za jedan takt, a da bi sve one mogle da postave svoje vrednosti pre naredne uzlazne ivice takta, perioda trajanja takta mora biti duža.

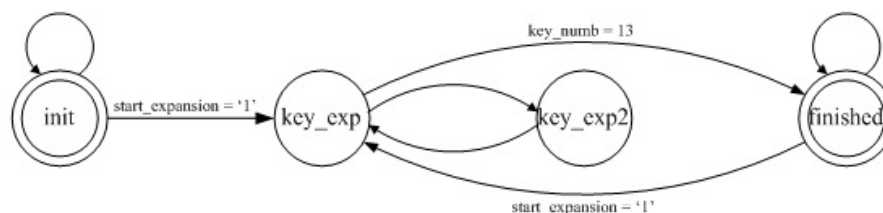


Slika 5 – Mašina stanja neoptimiziranog bloka za ekspanziju ključa

Figure 5 – State machine of the non-optimizing key expanding block

Рис. 5 – Автомат неоптимизированного блока расширения (увеличения длины) ключа

Njegovom optimizacijom *pipeline* tehnikom i razbijanjem na dva podstanja (*key\_exp\_state1* i *key\_exp\_state2*) od kojih svako generiše tačno po jedan potključ (slika 6), dobija se znatno poboljšanje u brzini, odnosno maksimalnoj frekvenciji na kojoj može raditi ovakvo kolo, a koja iznosi 154.616MHz za *Spartan-6* (Jaćimović, Planić, 2014), odnosno 306.607MHz za *Kintex-7* čipove. Dakle, prilično jednostavnom intervencijom u kodu dobilo se vremensko poboljšanje nešto veće od 50% u prvom, odnosno oko 36% u drugom slučaju.



Slika 6 – Mašina stanja optimizovanog bloka za ekspanziju ključa

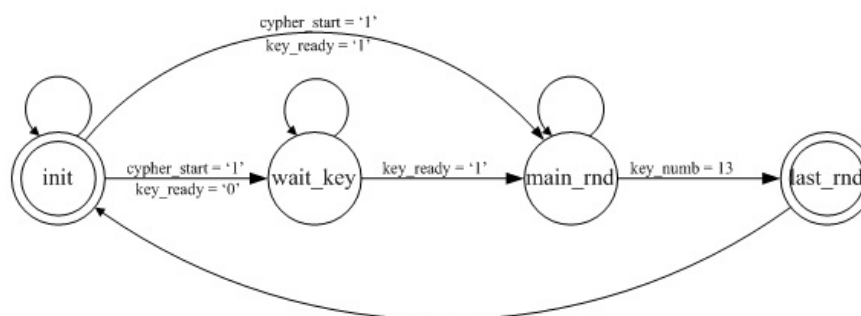
Figure 6 – State machine of the optimizing key expanding block

Рис. 6 – Автомат оптимизированного блока расширения (увеличения длины) ключа

Najveće poboljšanje vremena izvršavanja dao je tzv. sekvencijalni način kodovanja. Ovim pristupom dizajniramo ponaosob svaki podblok i smeštamo ga i povezujemo u jednu celinu. S obzirom na to da skoro kompletnim izgledom logike upravlja dizajner, a razvojno okruženje manjim delom, uz dobro poznavanje i modelovanje sistema na hardverskom nivou mogu se dobiti optimalna rešenja. Rezultati vremenske analize ovako dobijenog dizajna pokazali su najbolje rezultate – za *Spartan-6* čipove dobijena maksimalna frekvencija koja iznosi 269.920MHz (Jaćimović, Planić, 2014), a za *Kintex-7* 336.655MHz, što znači da ukoliko blok za šifrovanje bude u stanju da podrži ovu frekvenciju, čitav sistem može raditi na jednom taktu.

#### Vremenska analiza bloka za šifrovanje

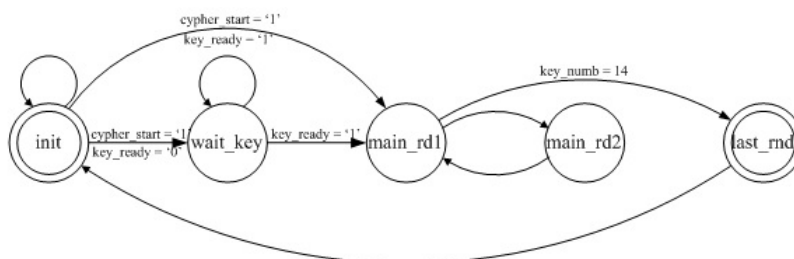
Prva verzija koda, čija je mašina stanja prikazana na slici 7, implementirana na *Spartan-6* čipu, u stanju je da teorijski podrži rad na frekvenciji od 212.326MHz, odnosno maksimalna brzina između dva uređaja za kriptozastitu može biti do 27,2 Gbps (Jaćimović, Planić, 2014). Kod čipova iz serije *Kintex-7* dobijaju se (očekivano) bolje performanse i one iznose 274.907 MHz, odnosno 35,2Gbps.



Slika 7 – Mašina stanja neoptimiziranog bloka za šifrovanje  
 Figure 7 – State machine of the non-optimizing encryption block  
 Рис. 7 – Автомат неоптимизированного блока шифрования

I ovde je, kao i kod bloka za ekspanziju ključa, „usko grlo” glavna runda (*main\_round*) koja ima najkompleksniju kombinacionu logiku u odnosu na ostala stanja (*init*, *wait\_key* i *last\_rnd*). Uvođenjem *pipeline* tehnike optimizacije dizajna, svako stanje glavne runde razbijamo na dva podstanja. Pri tome, operacije *SubByte* i *ShiftRows*, kao i operacije *MixColumn* i *AddRoundKey* moguće je spojiti u jedan izraz. Na taj način izbegavamo ponavljanje kombinacionih blokova između dva flip-flopa. Mašina stanja ovakvog dizajna prikazana je na slici 8.





Slika 8 – Mašina stanja optimiziranog bloka za šifrovanje  
 Figure 8 – State machine of the optimizing encryption block  
 Рис. 8 – Автомат неоптимизированного блока шифрования

Nakon optimizacije, povećanje brzine iznosi oko 16% za *Spartan-6*, odnosno oko 23% u slučaju *Kintex-7* čipova, što dovodi do zaključka da je, u ovom slučaju, alat za sintezu prepoznao i sa većim uspehom izvršio optimizaciju logike već u prvom dizajnu, što nije bio slučaj sa blokom za ekspanziju ključa. Bez obzira na to, direktnom intervencijom u VHDL kodu dobija se nezanemarljivo poboljšanje brzine, pa je sada ostvarena podrška telekomunikacionim sistemima do 31,6 Gbps kod *Spartan-6* (Jaćimović, Planić, 2014), odnosno 43,3 Gbps kod *Kintex-7* čipova.

Najbolji rezultat dobijen je opet sekvencijalnom tehnikom opisivanja logike. Integralno kolo koje implementira logiku na ovaj način podržava rad sa taktom brzine 273.459 MHz, odnosno može vršiti šifrovanje podataka na brzini od 35 Gbps (oko 4,4 GB/s), na *Spartan-6* familiji (Jaćimović, Planić, 2014). Ukoliko bi ovakav dizajn bio implementiran na novijoj *Kintex-7* arhitekturi, maksimalna frekvencija iznosila bi 375.340 MHz, odnosno bila bi pružena podrška za rad telekomunikacionim sistemima brzine do 48 Gbps (oko 6 GB/s). Svi dobijeni rezultati navedeni su u tabeli 1.

## Zaključak

U sistemima velikih protoka podataka neophodno je imati efikasnu implementaciju kriptoloških algoritama. Vreme potrebno za šifrovanje, odnosno dešifrovanje podataka često predstavlja usko grlo za takve sisteme. Opravdanje za ovakvu tvrdnju može se naći u činjenici da je svaki sistem brz onoliko koliko je brza njegova najsporija komponenta. U takvim situacijama jedno od najoptimalnijih rešenja je hardverska realizacija algoritma za šifrovanje.

U ovom radu razmatrana je implementacija algoritma na FPGA čipove, jer se ova tehnologija poslednjih godina pokazala kao veoma pogodna za primenu iz više razloga. Na prvom mestu je reprogramabilnost koja nam pruža mogućnost izmene kriptološkog algoritma ili njegovih delova ukoliko se za to pojavi potreba. Druga veoma bitna osobina zastupljenosti FPGA na tržištu je i njihova cena.

*Tabela 1 – Usporedni prikaz dobijenih rezultata*  
*Table 1 – Comparative review of the obtained results*  
*Таблица 1 – Полученные результаты в систематизированном виде*

Način realizacije algoritma AES-256 (Version of the implementation of AES-256)	Maksimalna frekvencija bloka za ekspanziju ključa (Maximum frequency of the Key-Expansion blok) (MHz)		Maksimalna frekvencija bloka za šifrovanje (Maximum frequency of the Encryption blok) (MHz)		Maksimalna brzina (Maximum speed) (Gbps)	
	Spartan-6	Kintex-7	Spartan-6	Kintex-7	Spartan-6	Kintex-7
Neoptimizovano rešenje (Nonoptimized solution)	102.558	226.827	212.326	274.907	27,2	35,2
Rešenje sa pipeline-om (Solution with pipeline)	154.616	306.607	246.935	338.593	31,6	43,3
Strukturno dizajniranje (Structural design)	269.920	336.655	273.459	375.340	35	48

Na osnovu dobijenih rezultata može se primetiti značaj koji sam način korišćenja VHDL-a, kao jezika za opis hardvera, ima u pogledu performansi koje se mogu dobiti. Za dobijanje dizajna koji mora da pruži podršku rada na većim frekvencijama, *pipeline* se nameće kao nezaobilazni koncept u procesu pisanja koda. Na taj način dobit u brzini može iznositi i preko 50% za isti algoritam i hardversku podlogu. Strukturnim dizajniranjem taj procenat može biti i znatno veći (tabela 1).

Naravno, kao što se moglo i očekivati, uvođenjem novijih hardverskih čipova (u ovom slučaju serija *Kintex-7*) dobijaju se znatno bolje performanse. Razlog za to ogleda se u činjenici da su novije serije FPGA čipova u pogledu performansi bolje realizovane u odnosu na prethodne. Detaljnije o tome moguće je obavestiti se na zvaničnom sajtu proizvođača (<http://www.xilinx.com>). Međutim, i pored boljih tehničkih karakteristika samog hardvera, i ovde znatno poboljšanje performansi pruža dobro optimizovan VHDL kod – u konkretnom slučaju nešto manje od 50%.

Dalja istraživanja mogu se voditi u smeru optimizacije prostora koje dizajn zauzima na čipu, ali i smanjenja potrošnje snage koja je potrebna da se jedan takav sistem napaja. Time bi se otvorila vrata za realizaciju pokretnih kriptoloških sistema velikih protoka podataka. Drugi smer u kojem se istraživanja mogu nastaviti predstavlja proučavanje i dizajniranje interfejsne logike koja bi omogućila međusobno povezivanje ovakvih realizacija kriptoaigoritma i testiranje brzine njihovog rada u realnim uslovima.

## Literatura

- El Mezeni, D., & Novaković, M. 2008. Embedded FPGA Linux sistemi. . U: 16. Telekomunikacioni forum TELFOR 2008, Beograd, November 25-27.. , str.925-928
- Farooq, U., Marrakchi, Z., & Mehrez, H. 2012. *Tree-Based Heterogeneous FPGA Architectures*. New York: Springer Science.
- Federal Information Processing Standards Publication 197* 2001. Preuzeto sa <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>
- Gaj, K., & Chodowiec, P. 2001. Fast Implementation and Fair Comparison of the Final Candidates for Advanced Encryption Standard Using Field Programmable Gate Arrays. . U: RSA Security Conference, San Francisco, April 8-12. , str.84-99
- Good, T., & Benaissa, M. 2005. AES on FPGA from the Fastest to the Smallest. . U: 7th International Workshop Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES 2005, Edinburgh, August 29–September 1. , str.427-440
- Gschwind, M., & Salapura, V. 1995. A VHDL Design Methodology for FPGAs. . U: 5th International Workshop Field-Programmable Logic and Applications - FPL '95, Oxford, August 29–September 1. , str.208-217
- Hodjat, A., & Verbauwhede, I. 2003. Speed-Area Trade-off for 10 to 100Gbit/s Throughput AES Processor. . U: 37th Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, November 9-12. , str.2147-2150
- Preuzeto sa <http://www.xilinx.com>.
- Jačimović, N., & Planić, B. 2014. Vremenska optimizacija hardverske implementacije AES-256 algoritma. . U: 22. Telekomunikacioni forum TELFOR 2014, Beograd, Novembar 25-27. , str.427-430
- Jevremović, A. 2011. *Integracija sopstvenih kriptoloških sistema u standardnu računarsko-telekomunikacionu infrastrukturu*. Univerzitet Singidunum. Doktorska disertacija.
- Karimian, G.H., Rashidi, B., & Farmani, A. 2012. A High Speed and Low Power Image Encryption with 128-Bit AES Algorithm. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 4(3), pp367-372.
- Kilts, S. 2007. *Advanced FPGA Design: Architecture, Implementation, and Optimization*. USA: John Wiley & Sons Inc..
- Marković, M. 2012. *Osnove kriptozastite*. Banja Luka.
- McLoone, M., & McCanny, J.V. 2001. High Performance FPGA Rijndael Algorithm Implementations. . U: 3rd International Workshop Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES 2001, Paris, May 14–16. , str.65-76
- Rodríguez-Henríquez, F., Saqib, N.A., & Díaz-Pérez, A. 2003. 4.2 Gbit/s single-chip FPGA implementation of AES algorithm. *Electronics Letters*, 39(15), pp1115-1116. doi:10.1049/el:20030746
- Schneier, B. 1996. *Applied Cryptography, 2nd ed*. USA: John Wiley & Sons Inc..
- Veinović, M., & Jevremović, A. 2011. *Računarske mreže*. Beograd: Univerzitet Singidunum.
- Wollinger, T., Guajardo, J., & Paar, C. 2004. Security on FPGAs: State of the Art Implementations and Attacks. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 3(3), pp534-574. doi:10.1145/1015047.1015052

## РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ С ВЫСОКИМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ТРАФФИКОМ

ОБЛАСТЬ: компьютерные науки, электроника, телекоммуникации  
ТИП СТАТЬИ: оригинальная научная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме.

*В этой статье анализируется применение алгоритмов шифрования, с учетом требований производительности. Таким образом, обеспечивая поддержку защищенного соединения, оказывается наименьшее возможное влияние на производительность сетевой инфраструктуры. Также в работе разъяснены различия между аппаратным и программным способами реализации алгоритмов шифрования. Приведены основные характеристики FPGA-чипов(ПЛИС) и перспективы использования языка проектирования VHDL при разработке алгоритмов шифрования. Для применения был выбран алгоритм шифрования AES-256, который не только является одним из самых известных на сегодняшний день, но одинаково хорошо зарекомендовал себя как в аппаратных, так и в программных версиях. При разработке использовался пакет программ Xilinx ISE Design Suite, предназначенный для реализации цифровых систем на базе ПЛИС фирмы Xilinx и аппаратно-программные наборы Spartan®-6 FPGA SP605 и Xilinx Kintex-7 FPGA KC705. Полученные результаты поддерживаются всеми устройствами на базе ПЛИС Spartan®-6 или Kintex®-7.*

Ключевые слова: AES, оптимизация архитектуры, VHDL, FPGA, шифрование.

---

## IMPLEMENTATION OF CRYPTOLOGY ALGORITHMS IN HIGH BIT RATE SYSTEMS

FIELD: Computer Sciences, Electronics, Telecommunications  
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*This paper analyzes the implementation of cryptology algorithms in order to obtain the best possible performance in terms of speed, thus providing support for protected communication between two participants with the smallest possible impact on the performance of the given network infrastructure. The paper explains the difference between the hardware and software implementation of encryption algorithms. It shows the main characteristics of FPGA chips and the advanced techniques of the VHDL design language that were used for the implementation of crypto algorithms. The AES-256 encryption algorithm is selected for the implementation since it has proven to be good both in hardware and in software versions. The development environment used is the Xi-*

*linx ISE Design Suite as well as the development boards Xilinx Spartan SP-605<sup>th</sup> and Xilinx Kintex KC-705<sup>th</sup>. All the results correspond to the devices that contain Spartan®-6 and Kintex®-7 chips.*

#### Introduction

*At the present time, there is an increasing need for faster exchange of information which must be protected during transmission. However, the "bottleneck" of the entire system is the process of encryption and decryption. Therefore, in search of optimal solutions, there are three main issues: which method of implementation, hardware or software, will give better performance, which technologies are to be used, and which way of the crypto algorithm coding to apply.*

#### Hardware and software cryptosystems

*Despite various advantages offered by the software implementation of crypto algorithms, NSA, for example, authorizes only hardware encryption for several reasons such as speed, security, and ease of installation (Schneier, 1996 p.192-194). Thus, in high bit rate systems, hardware implementation will be used, and, as one of the most rewarding technologies of such implementation, the application of programmable chips imposes itself.*

#### FPGA logic circuits

*The structure of FPGA (Field Programmable Gate Array) logic gates is made of a large number of identical logic cells subsequently linked to achieve a desired function. The design process is significantly accelerated by using these circuits, so that the implementation can quickly hit the market, and the price of such a development design is lower than other ways of programming hardware. One of the hardware description languages (VHDL, Verilog, etc.) is used for designing logic. Regardless of the language used, the performance of the final design will be most affected by how we use different optimization techniques when writing the code.*

#### Application of FPGA chips in cryptography

*Due to commercial needs reflected in the reduction of the costs of designing circuits, and in terms of risk reduction and faster appearance on the market, the use of FPGA programmable circuits has increased, so that now these chips are not only used in the prototype device (in order to be replaced by ASIC chips during production), but also in mainstream production. In crypto-systems, the advantages of such chips are multiple (Wollinger, et al., 2004): algorithm agility, algorithm upload, algorithm modification, throughput and cost efficiency.*

#### VHDL optimization

*There are three basic definitions of speed, depending on the context of the problem: throughput (amount of data that can be processed in one cycle), latency (the time that elapses from the receipt of the input signal to obtain the corresponding outputs) and timing (logic retention between sequential elements) (Kilts, 2007).*

*In order to get a higher signal bandwidth, the concept of pipelines is introduced. This concept involves dividing some of more complex operations to more simpler ones. The idea is to perform the processing of small amounts of data in a shorter period of time. This increases the maximum clock frequency, reduces the synthesis time, and increases the throughput of the system. In order to achieve the design with as little latency as possible, the data flow from the input to the output is necessary to take place as quickly as possible. This is achieved by optimizing the time required for the processing of intermediate results. Clock speed can be improved by using different methods such as adding registers, parallel structures, flatten logical structure, registers balancing and the redistribution of the data flow.*

The basic concept of the AES algorithm

*The AES (Advanced Encryption Standard), as one of the most popular cipher algorithms today, is well demonstrated both in software and in hardware variants. In this paper we used the AES-256.*

A review of past solutions

*Today, there are a number of papers dealing with the problem of the implementation of this crypto algorithm into the FPGA or ASIC chips. The authors, in addition to the basic implementation, mainly deal with two types of optimization - optimization area and time optimization.*

Own solution

*For an effective implementation of the AES algorithm, all optimization techniques of VHDL designs must be taken into account and, as a starting assumption, a possibility of achieving the same and/or better results than those currently available. In this paper, the ECB mode and the AES-256 were used for better observing the results that may be obtained by optimizing the design. The development of the algorithm was executed in the programming environment Xilinx ISE 14.2. The time parameters used in this paper are the parameters obtained from the development environment.*

Structure of the design

*The algorithm is divided into three parts – encryption block, decryption block and key-expansion block. Since the key-expansion is executed once, at the beginning of the algorithm, and since the resulting round keys do not change during the operation, these subkeys are stored in the internal ROM.*

Encryption block

*The main purpose of this block is the encryption of the input signals and sending the resulting ciphertext to the output. It is important to note that the ciphertext block on the output is valid for only one clock, which should be enough for its referral to the line.*

Key-expansion block

*This part of the algorithm is designed so that the matrix of keys keeps all subkeys of rounds. The waiting time for a valid subkey is thus reduced to a minimum.*

### Speed of the VHDL implementation of the AES

*This paper presents a timing analysis of each block separately as well as their optimization.*

#### Time analysis of the key-expansion block

*The first version of the key\_expander is designed using state machines. The first, unoptimized, design version involves the state machine shown in Figure 5. The maximum frequency of this design is 102.558MHz for the Spartan-6, and 226.827MHz for the Kintex-7 chip. It is easy to observe that the "bottleneck" of such a system is the state key\_exp\_state. By optimizing it and breaking it into two substates (key\_exp\_state1 and key\_exp\_state2), each of which generates exactly one subkey, a significant improvement is achieved in terms of speed and the maximum frequency which is 154.616MHz (Figure 6) (306.607MHz for the Kintex-7). The best results are obtained by the so-called sequential coding – the received maximum frequency is 269.920MHz for the Spartan-6 and 336.655MHz for the Kintex-7.*

#### Time analysis of the encryption block

*The first version of the code, the state machine of which is shown in Figure 7, is able to successfully execute at a frequency of 212.326MHz (in the case of the Spartan-6), i.e. the maximum speed between the two crypto devices can be up to 27,2Gbps. In the case of the Kintex-7, the maximum frequency is 274.907MHz (or 35,2Gbps). As the most complex combinational logic is contained in the main round, the introduction of pipeline optimization techniques divides each state of the main round into two substates. The state machine of this design is shown in Figure 8. After the optimization, the increase in speed is about 16% (Spartan-6) or 23% (Kintex-7), which is a theoretically gained support to telecommunication systems up to 31,6Gbps or 43,3Gbps, respectively. The best result was obtained again with the sequential technique of describing the logic and for the Spartan-6 it is 273.459MHz, and data encryption can be done at a speed of 35Gbps (about 4,4Gb/s). In the case of the Kintex-7, those results are 375.340MHz or 48Gbps (or 6GB/s).*

#### Conclusion

*This paper considers the implementation of the algorithm on FPGA chips. Based on these results, we can notice the importance that a way of using VHDL has on the performance. To obtain a design that has to support the operation at higher frequencies, the pipeline imposes itself as an indispensable concept in the process of code writing.*

**Keywords:** AES; Design optimization; VHDL; FPGA; encryption.

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 20. 12. 2014.  
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 17. 01. 2015.  
 Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 19. 01. 2015.

# UNAPREĐENJE ODRŽAVANJA UREĐAJA SPECIJALNE NAMENE REALIZACIJOM MODERNIZACIJE ANALOGNOG FILTERA

Vojkan M. Radonjić<sup>a</sup>, Slobodan R. Đukić<sup>b</sup>,  
Danko M. Jovanović<sup>c</sup>, Saša M. Petrović<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Tehnički remontni zavod Čačak,

e-mail: vojkan.r.69@gmail.com

<sup>b</sup> Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet Čačak,

e-mail: slobodan.djukic@ftn.kg.ac.rs

<sup>c</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,

e-mail: danko.jovanovic@gmail.com

<sup>d</sup> Generalštab Vojske Srbije, Uprava za logistiku, Beograd,

e-mail: saskop@eunet.com

DOI: 10.5937/vojtehg63-5412

OBLAST: održavanje tehničkih sistema  
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak  
JEZIK ČLANKA: srpski

## Sažetak:

*U radu će biti izvršena analiza i poređenje pokazatelja pouzdanosti dve vrste uređaja specijalne namene koji se koriste u radio-relejnim sistemima.*

*Na osnovu rezultata sprovedene analize, stečenog iskustva iz domena najvišeg nivoa održavanja uređaja, predložiće se modernizacija postojećeg analognog radio-frekventnog filtera sa odgovarajućim digitalnim filterom. Predložena modernizacija unapređuje tehnološki proces održavanja uređaja, poboljšava karakteristike pogodnosti za održavanjem, povećava pouzdanost u radu uređaja uz znatno smanjenje troškova održavanja uređaja.*

Ključne reči: *pouzdanost, održavanje, modernizacija, filter.*

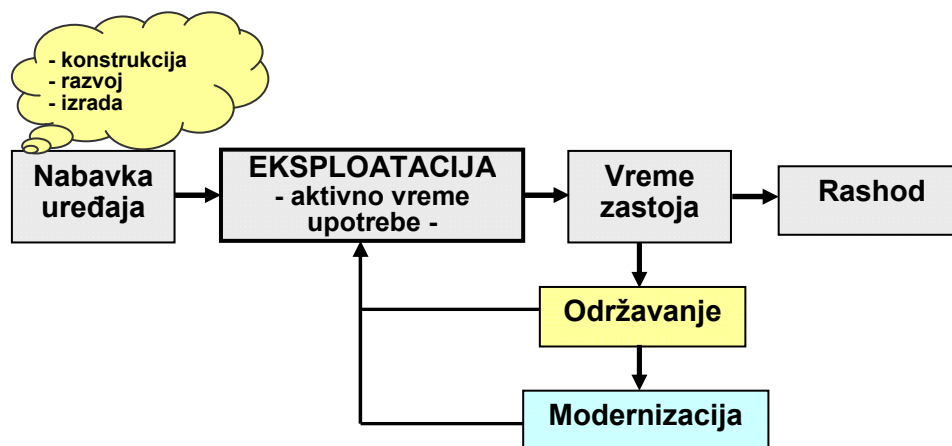
## Uvod

Svako tehničko sredstvo tokom svog životnog veka prolazi različite faze od konstrukcije, razvoja, izrade, eksploatacije, održavanja do rashoda, kada prestaje životni vek (slika 1). U radu su sprovedeni istraživanja i analiza na uređaju specijalne namene GRC 408E, koji u domaćim institucijama nije prošao faze konstrukcije, razvoja i izrade.

U dostupnoj literaturi iz ove oblasti predstavljen je optimalni model koncepta održavanja i organizacija održavanja ove vrste uređaja (Rado-



njić, i dr., 2014), (Radonjić, i dr., 2013). Metod održavanja sastoji se u održavanju prema stanju sa kontrolom pouzdanosti i kontrolom bitnih parametara koji utiču na funkcionalnu ispravnost uređaja. Organizacija održavanja sastoji se od tri nivoa održavanja u skladu sa postojećom specijalnom mernom opremom, obučanim ljudstvom i propisanim tehnološkim procedurama za svaki nivo održavanja.



Slika 1 – Ilustracija životnog veka uređaja  
 Figure 1 – Display of the product life  
 Рис. 1 – Структура существования продукта

U radu će se održavanje uređaja analizirati i sa terotehnološkog pristupa, koji podrazumeva analizu „slabih mesta” na osnovu pokazatelja pouzdanosti, iskustva iz eksploatacije i održavanja efikasnosti i uvećanja troškova održavanja.

Posmatrajući sliku 1 na kojoj su prikazane moguće faze životnog veka tehničkog sredstva, uočava se vreme zastoja u radu uređaja zbog održavanja. Takođe, na slici je prikazano da se modernizacija uređaja realizuje u okviru održavanja uređaja, što je najracionalnije.

Do potrebnih elemenata za ideju modernizacije nekog dela uređaja dolazi se detaljnom analizom pokazatelja pouzdanosti i iskustva iz eksploatacije. Svakako, bilo koji oblik modernizacije doprinosi podizanju nivoa kvaliteta održavanja, efikasnosti funkcionisanja uređaja, smanjenju troškova održavanja i zastoja.

Sprovedena istraživanja u radu temelje se na:

1. određivanju funkcija pouzdanosti uređaja RRU-9B i njegovih sastavnih modula,
2. određivanju funkcija pouzdanosti uređaja GRC 408E i njegovih sastavnih modula,

3. analizi i međusobnom poređenju vrednosti funkcija pouzdanosti ove dve vrste uređaja i njihovih sastavnih modula,
4. laboratorijskim merenjima karakteristika,
5. iskustvu iz najvišeg nivoa održavanja uređaja GRC 408E.

Na osnovu sprovedene analize i dobijenih rezultata istraživanja predložena je modernizacija jednog od sastavnih modula sa napred navedenim ciljem.

### *Uslovi u kojima se realizuju istraživanja*

Istraživanja su uslovljena nizom nepogodnosti. Pre svega, ne postoji dovoljan broj podataka koji se mogu iskoristiti kao pokazatelji efikasnosti eksploatacije uređaja u praksi i vremenima otkaza uređaja. Stoga su analiza i realizovana istraživanja usmereni u pravcu da se funkcije pouzdanosti, koje su neophodne u daljim istraživanjima i analizi, za predmetne uređaje, proračunavaju na dva načina:

– za RRU-9B na osnovu  $n$  broja uzoraka o vremenima otkaza uređaja koji su radili u radio-relejnim sistemima i koji su dolazili na opravku u vremenu od 2006. do 2013. godine,

– za GRC 408E na osnovu intenziteta otkaza sastavnih komponenti svakog pojedinačnog modula.

Proračunate vrednosti funkcija pouzdanosti za predmetne uređaje poslužiće za grafoanalitičko poređenja funkcija pouzdanosti. Na osnovu tih rezultata, stečenog iskustva iz održavanja, predložiće se potrebna modernizacija, način njene realizacije i prikazati dobijeni rezultati modelovanja odgovarajućim softverskim alatima.

### **Određivanje funkcije pouzdanosti uređaja RRU-9B**

Određivanje funkcije pouzdanosti realizuje se određivanjem zakona raspodele vremena rada do otkaza uređaja. Uzorak je veličine  $n = 50$ , gde su posledice otkaza bile neispravnosti sledećih modula:

- |                                     |                 |
|-------------------------------------|-----------------|
| – modul napajanja                   | – 21 slučaj,    |
| – modul pojačavača                  | – 10 slučajeva, |
| – pilotska sekcija                  | – 5 slučajeva,  |
| – regulator izlazne snage           | – 5 slučajeva,  |
| – delitelj frekvencije u prijemniku | – 4 slučaja,    |
| – modulator                         | – 3 slučaja,    |
| – filter                            | – 2 slučaja.    |

Na osnovu podataka o vremenima rada do otkaza uređaja RRU-9B određuje se empirijska funkcija raspodele rada uređaja do otkaza. Nakon toga, odgovarajućim postupkom izvršiće se aproksimacija empirijske raspodele sa odgovarajućom teorijskom, a potvrda o aproksimaciji verifikovaće se odgovarajućim testiranjem (Čatić, 2005).

Kako je neophodno odrediti funkciju pouzdanosti i za uređaj i za sastavne module, to će se u analizi primeniti dve vrste proračuna, i to (Ivanović, Stanivuković, 1988):

- za uređaj – proračun za veliki uzorak,
- za module – proračun za mali uzorak.

Na osnovu uzorka o neispravnosti uređaja poznati su sledeći podaci:

- broj uzoraka -  $n = 50$ ,
- minimalno vreme rada uređaja do otkaza -  $t_{\min} = 30000 \text{ sati}$ ,
- maksimalno vreme rada do otkaza -  $t_{\max} = 90000 \text{ sati}$ .

Statističke mere:

- $t_{sr} = 62100 \text{ sati}$ ,
- standardna devijacija  $SD = 16158 \text{ sati}$ ,
- medijana vremena rada  $medijana = 63000 \text{ sati}$ ,
- rang (raspon)  $rang = 67000 \text{ sati}$ .

Broj intervala izračunava se prema formuli:  $z = 1 + 3,3 \cdot \log(n)$ . U ovom slučaju usvaja se broj intervala:  $z = 7$ .

Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1 – Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti

Table 1 – Estimated reliability values

Таблица 1 – Оценочные значения надежности

$i$	1	2	3	4	5	6	7
$n_i$	5	6	9	13	10	4	3
$cn_i s$	2.5	8	15.5	26.5	38	45	48.5
$sv_{inter}$	34785.7	44357.1	53928.5	63499.9	73071.3	82462.7	92214.1
$f(10^{-4})$	0.1045	0.1254	0.1881	0.2716	0.2090	0.0836	0.0627
$R$	0.95	0.84	0.69	0.47	0.24	0.10	0.03
$F$	0.05	0.16	0.31	0.53	0.76	0.9	0.97
$h(10^{-3})$	0.011	0.0149	0.0273	0.0578	0.0871	0.0836	0.209

U tabeli 1 korišćene su sledeće oznake:

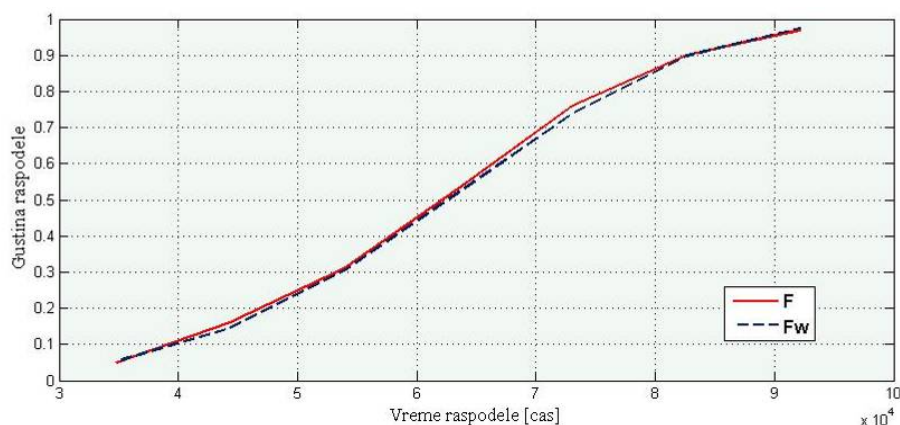
$i$  – redni broj intervala,  $n_i$  – broj otkaza u intervalu,  $cn_i s$  – broj otkaza na sredini intervala,  $sv_{inter}$  – srednja vrednost intervala,  $f$  – funkcija učestanosti stanja u otkazu,  $R$  – funkcija pouzdanosti,  $F$  – funkcija ku-

mulativne raspodele verovatnoće – funkcija nepouzdanosti,  $h$  – funkcija intenziteta otkaza.

Procenjena funkcija pouzdanosti aproksimiraće se odgovarajućim teorijskim raspodelama: *Wejbulovom, eksponencijalnom i normalnom*. Izvršiće se testiranja na osnovu kojih će se zaključiti kojoj teorijskoj raspodeli je najpribližnija empirijska raspodela, odnosno koja od teorijskih raspodela najbolje aproksimira vrednosti empirijske raspodele.

### Aproksimacija empirijske raspodele Wejbulovom raspodelom

Korišćenjem programskog paketa MATLAB izračunavaju se: parametar oblika, položaja i vrednost aproksimativne Wejbulove raspodele. Na slici 2 prikazano je odstupanje aproksimativne Wejbulove raspodele ( $F_w$ ) od empirijske raspodele ( $F$ ).



Slika 2 – Grafički prikaz odstupanja Wejbulove raspodele od empirijske raspodele  
Figure 2 – Variation of the Weibull distribution from the empirical distribution  
Рис. 2 – Отклонение распределения Вейбулла от экспериментального начения

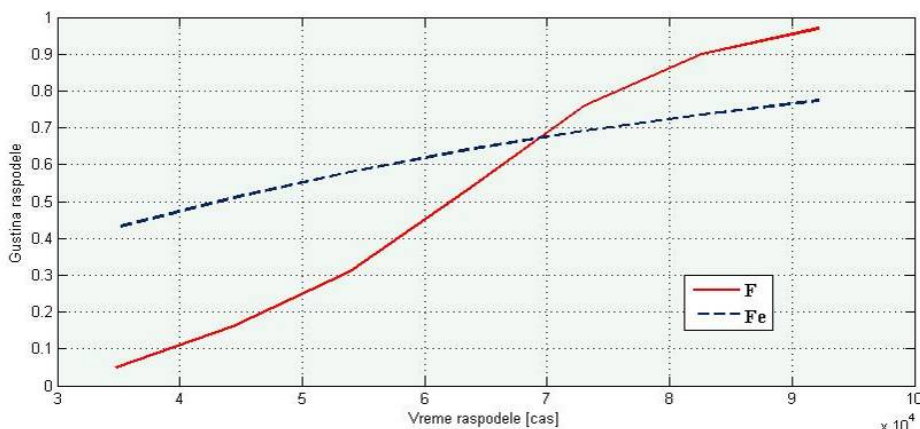
### Testiranje testom Kolmogorov-Smirnova

Za usvojeni nivo rizika  $\alpha = 0.2$  i veličinu uzorka  $n = 50$ , tablična vrednost iznosi  $d_\alpha = D_{dozv} = \frac{1.07}{\sqrt{n}} = 0.1414$ . Najveća vrednost odstupanja između teorijske Wejbulove raspodele  $F_w$  i procenjene vrednosti  $F$  iznosi  $Max(\Delta F) = 0.0208$ . Kako je maksimalno odstupanje manje od dozvoljene vrednosti, tj.  $0.0208 < 0.1414$ , to aproksimacija empirijske raspodele teorijskom Wejbulovom raspodelom zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova.

Aproksimacija empirijske raspodele teorijskom raspodelom zadovoljava i ostale testove, jer je  $\chi^2 = 0.0028 < 9.488$  (test Pirsona) i  $R_o = 1.4132 < 3$  (test Romanovskog).

### *Aproksimacija empirijske raspodele eksponencijalnom raspodelom*

Na sličan način kao u prethodnoj tački, na slici 3 prikazano je odstupanje teorijske eksponencijalne raspodele ( $F_e$ ) od empirijske raspodele ( $F$ ).



Slika 3 – Grafički prikaz odstupanja eksponencijalne raspodele od empirijske raspodele

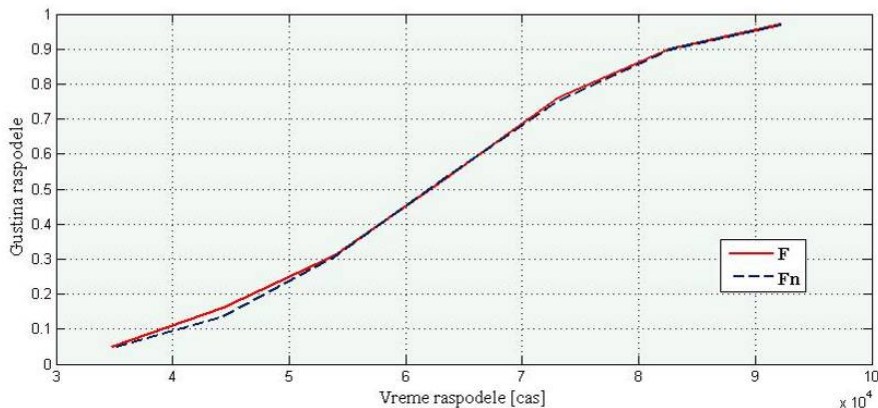
Figure 3 – Variation of the exponential distribution from the empirical distribution

Рис. 3 – Отклонения экспоненциального распределения от экспериментального значения

Sprovedenim testiranjem aproksimativna eksponencijalna raspodela ne zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova, jer je  $\text{Max}(\Delta F) = 0.3789 > D_{dozv} = 0.1414$ . Ostale testove aproksimativna eksponencijalna raspodela zadovoljava, jer je  $\chi^2 = 0.8317 < 9.488$  i  $R_o = 1.3238 < 3$ .

### *Aproksimacija empirijske raspodele normalnom raspodelom*

Na slici 4 prikazano je odstupanje teorijske normalne raspodele ( $F_n$ ) od empirijske raspodele ( $F$ ).



Slika 4 – Grafički prikaz odstupanja normalne raspodele od empirijske raspodele  
 Figure 4 – Variation of the normal distribution from the empirical distribution  
 Рис. 4 – Отклонение нормального распределения от экспериментального значения

Kao što se može videti sa slike 4, odstupanje vrednosti teorijske normalne raspodele od empirijske su neznatne.

Na osnovu sprovedenih testiranja može se zaključiti da aproksimacija empirijske raspodele Weibulovom i normalnom raspodelom zadovoljava sve tri vrste testa, dok aproksimacija empirijske raspodele eksponencijalnom raspodelom ne zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova, a zadovoljava test Pirsona i Romanovskog.

Na osnovu zaključka ne može se usvojiti hipoteza o tome koja teorijska raspodela najtačnije aproksimira empirijsku raspodelu, te će se nastaviti sa daljom analizom.

Grupisanjem broja otkaza po intervalima vremena otkaza uređaja izgubila se tačnost statističkih mera. Koristeći naredbe u programskom paketu MATLAB izračunaće se funkcija kumulativne raspodele verovatnoće, tj. funkcija nepouzdanosti  $F$  iz podataka o vremenima otkaza RRU-9B za veličinu uzorka  $n = 50$ . Za statističku obradu podataka korišćen je *Statistics Toolbox for use with MATLAB*.

Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2 – Vrednosti funkcije verovatnoće  
 Table 2 – Values of probability functions  
 Таблица 2 – Значения функции вероятности

Raspodela	Stav o hipotezi	$P$	$D_n$	$D_{dozv}$
<b>Weibulova</b>	<b>A</b>	<b>0.9832</b>	<b>0.0622</b>	<b>0.1484</b>
<b>Eksponencijalna</b>	B	$5.8 \times 10^{-8}$	0.4089	0.1484
<b>Normalna</b>	A	0.9807	0.0635	0.1484

Hipoteza: „A” – prihvata se, „B” – ne prihvata se,  
 $P$  – verovatnoća da je pretpostavljena teorijska raspodela približna empirijskoj.  
 $D_n$  – odstupanje teorijske raspodele od empirijske raspodele.

Na osnovu rezultata iz tabele 2 najpribližnija teorijska raspodela empirijskoj raspodeli je Vejbulova raspodela, sa najvećom vrednošću verovatnoće  $P = 0.9832$  i najmanjim odstupanjem  $D_n = 0.0622 < D_{dozv}$ .

Usvaja se Vejbulova raspodela za aproksimativni model pouzdanosti uređaja RRU-9B sa parametrima razmere  $\eta = 6.8231 \times 10^4$  i parametrom oblika  $\beta = 4.3141$ . Nakon sprovedene analize izraz za *funkciju pouzdanosti (verovatnoću ispravnog rada) uređaja RRU-9B* glasi:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{6.8231 \times 10^4}\right)^{4.3141}} \quad (1)$$

## Određivanje funkcije pouzdanosti sastavnih modula uređaja RRU-9B

Sledeći postupak u analizi jeste određivanje funkcije pouzdanosti sastavnih modula. Ovaj podatak je neophodan za dalju analizu radi poređenja sa funkcijama pouzdanosti sastavnih modula uređaja GRC408E. U radu će se prikazati način određivanja parametara funkcije pouzdanosti samo na modulu pojačavača, a za ostale module prikazaće se gotovi rezultati, dobijeni na opisan način. Procena pokazatelja pouzdanosti i pomoćnih veličina vrši se metodom za mali uzorak i korišćenjem sledećih formula (Ramović, 2005):

– priraštaj rednog broja:  $p = \frac{(n+1) - (\text{prethodni red broj})}{1 + (n - n_i)}$ , gde je

$n = 50$ ,  $n_i$  – ostatak nakon neaktuelnih otkaza ostalih modula,

– stvarni rang (redni broj) rezultata:  $SR$  = kumulativni priraštaj rednog broja,

– medijalni rang:  $MR = \frac{(SR - 0.3)}{(n + 0.4)}$ ,

– funkcija kumulativne raspodele ili funkcija nepouzdanosti  $F = MR$ ,

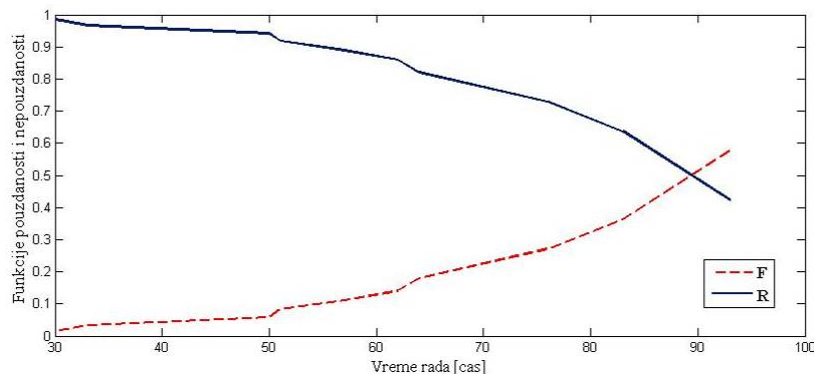
– funkcija pouzdanosti:  $R = 1 - F$ ,

– funkcija intenziteta otkaza:  $h = \frac{1}{n - SR + 0.7 \cdot \Delta t}$ , gde je

$\Delta t = (t_{j+1} - t_j)$  - vreme rada između otkaza, a  $t_j$  vreme rada do otkaza aktuelnog modula.

### Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti modula pojačavača

Na osnovu procenjenih vrednosti pokazatelja pouzdanosti, na slici 5 prikazane su grafičke vrednosti funkcije pouzdanosti ( $R$ ) i nepouzdanosti ( $F$ ), za slučaj modula pojačavača.



Slika 5 – Grafički prikaz procenjenih vrednosti funkcija pouzdanosti i nepouzdanosti  
Figure 5 – Graphical representation of the estimated values of reliability and unreliability functions

Рис. 5 – Графическое отображение оценочного значения функций вероятности и невероятности

Proveru hipoteze o aproksimaciji empirijske raspodele nekom od teorijskih raspodela vršiće se grafoanalitičkim metodama (Ćatić, 2005). Za razliku od grafičke metode, vršiće se analitičko određivanje parametara regresivne prave  $Y = aX + b$  Y metodom najmanjih kvadrata. Koeficijenti regresivne prave određuju se pomoću jednačina:

$$a = \frac{\sum (X_i \cdot Y_i) - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n}}{\sum (X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}, \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum Y_i}{n} - a \cdot \frac{\sum X_i}{n}. \quad (3)$$

Koeficijent determinacije određuje se prema sledećoj formuli:

$$KD = \frac{\left( \sum (X_i \cdot Y_i) - \frac{\sum X_i \cdot \sum Y_i}{n} \right)^2}{\left( \sum (X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right) \cdot \left( \sum (Y_i^2) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \right)}. \quad (4)$$



### *Aproksimacija empirijske raspodele Vejbulovom raspodelom*

U slučaju grafoanalitičke metode, kod Vejbulove raspodele, na  $X$  osu unose se vrednosti za  $w$ , definisane izrazom  $w = \ln(\ln(1/R(t)))$ , a na  $Y$  osu vrednosti  $\ln(t)$ . Prema formulama (2), (3) i (4) izračunaće se koeficijenti  $a_w$ ,  $b_w$  i  $KD_w$ , a na osnovu njih parametri Vejbulove raspodele:

$$- \beta = \frac{1}{a_w} = 3.3946 - \text{parametar oblika,}$$

$$- \eta = e^{b_w} = 103.967 - \text{parametar razmere.}$$

Na sličan način kao u prethodnoj tački vrši se testiranje hipoteze o aproksimaciji empirijske raspodele Vejbulovom raspodelom, testom Kolmogorov-Smirnova. Za usvojeni nivo rizika  $\alpha = 0.2$  i veličinu uzorka  $n = 10$ , tablična vrednost  $D_{dozv} = 0.1414$ . Najveća razlika između teorijske raspodele i procenjenih vrednosti je  $\max(\Delta F) = 0.0812 < D_{dozv} = 0.1414$ .

Zaključuje se da teorijska aproksimativna Vejbulova raspodela *zadovoljava* test Kolmogorov-Smirnova.

### *Aproksimacija empirijske raspodele eksponecijalnom raspodelom*

Kod eksponencijalne raspodele na  $X$  osu unose se vrednosti definisane izrazom  $X_e = \ln(R(t))$ , a na  $Y$  osu vrednosti  $Y_e = t$ . Kao i u prethodnom slučaju, izračunavaju se koeficijenti definisani formulama (2)-(4), a na osnovu njih srednja vrednost eksponencijalne raspodele  $\lambda$  prema formuli:  $\lambda = |a_e| + b_e = 113.2523$ .

Za usvojeni nivo rizika  $\alpha = 0.2$  i veličinu uzorka  $n = 10$ , tablična vrednost  $D_{dozv} = 0.1414$ , a najveća razlika između teorijske raspodele i procenjenih vrednosti iznosi  $\max(\Delta F) = 0.2989 > D_{dozv} = 0.1414$ . Aproksimativna eksponencijalna raspodela *ne zadovoljava* test Kolmogorov-Smirnova.

### Aproksimacija empirijske raspodele normalnom raspodelom

Primenom grafoanalitičke metode, na  $X$  osu unose se vrednosti za  $z$  definisane izrazom:

$$z = p - \frac{c_0 + c_1 \cdot p + c_2 \cdot p^2}{n + d_1 \cdot p + d_2 \cdot p^2 + d_3 \cdot p^3}, \text{ pri čemu je } p = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)}, \text{ a}$$

konstante imaju sledeće vrednosti:  $c_0 = 2.51$ ,  $c_1 = 0.80$ ,  $c_2 = 0.01$ ,  $d_1 = 1.43$ ,  $d_2 = 0.18$  i  $d_3 = 0.0001$ . Na  $Y$  osu unose se vrednosti  $t$ .

Nepoznati parametri  $\mu$  i  $\sigma$  normalne raspodele određuju se pomoću izraza:

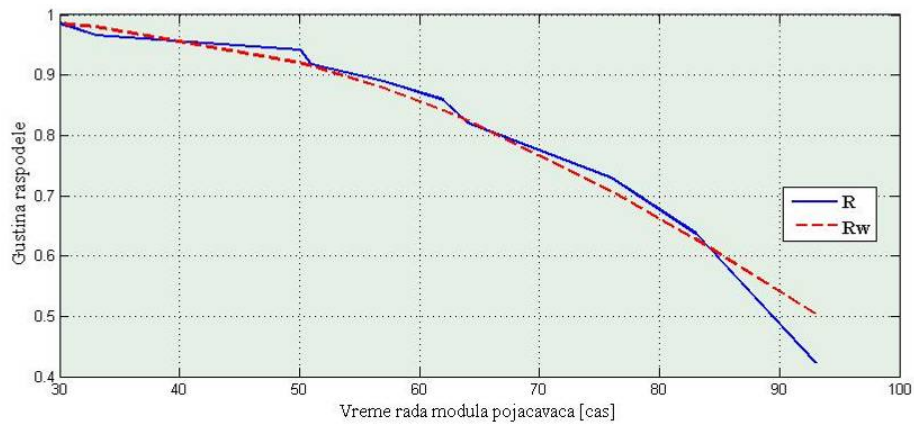
- $\mu = b_1 = 112.7115$  – srednja vrednost i
- $\sigma = a_n = 38.2798$  – standardna devijacija.

Najveće odstupanje između teorijske i procenjene vrednosti raspodele iznosi:  $\max(\Delta F) = 0.2738 > D_{dov} = 0.1414$ , te aproksimacija empirijske raspodele sa normalnom teorijskom raspodelom *ne zadovoljava* test Kolmogorov-Smirnova.

Iz sprovedene analize zaključuje se da jedino Vejbulova raspodela zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova. Iz tog razloga *usvaja se Vejbulova raspodela*, kao aproksimativna raspodela empirijske raspodele, sa parametrima: oblika  $\beta = 3.3946$  i razmere  $\eta = 103.967$ , pa je izraz za verovatnoću ispravnog rada (funkcija pouzdanosti) modula pojačavača RRU-9B:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{103.967}\right)^{3.3946}}. \quad (5)$$

Na slici 6 prikazano je odstupanje Vejbulove raspodele ( $R_w$ ) od empirijske raspodele ( $R$ ) za modul pojačavača (mali uzorak).



Slika 6 – Prikaz odstupanja Vejbulove raspodele od empirijske raspodele za modul pojačavača  
Figure 6 – Deviations from the empirical distribution to the Weibull distribution for the power amplifier module

Рис. 6 – Отклонение распределения Вейбула от экспериментального значения для усиливающего модуля

### Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti ostalih modula

Na identičan način sprovedena je analiza i testiranje aproksimativnih raspodela ostalih sastavnih modula uređaja, a dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3 – Vrednosti funkcije pouzdanosti sastavnih modula RRU-9B  
Table 3 – Reliability function values for the RRU-9B component modules  
Таблица 3 – Значения функций надежности компонентов модуля RRU-9B

MODUL	<i>n</i>	max ( $\Delta F$ )	Usvojena raspodela	Funkcija pouzdanosti
Pojačavač	10	0.0812	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{103.967}\right)^{3.3946}}$
Pilotska sekcija	5	0.0499	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{107.5013}\right)^{4.3703}}$
Napajanje	21	0.1164	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{79.57}\right)^{4.527}}$
Regulator izlazne snage	5	0.1089	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{91.457}\right)^{8.179}}$
Prijemnik	4	0.0289	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{111.3629}\right)^{4.5439}}$

MODUL	$n$	$\max(\Delta F)$	Usvojena raspodela	Funkcija pouzdanosti
Filter	2	0	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{100.8706}\right)^{8.1265}}$
Modulator	3	0.0104	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{150.8002}\right)^{3.0346}}$
RRU-9B	50	0.0208	Vejbulova	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{6.8231 \times 10^4}\right)^{4.3141}}$

## Određivanje funkcije pouzdanosti uređaja specijalne namene GRC 408E

Procenjene vrednosti parametara pouzdanosti predmetnog uređaja korišćeni su iz dostupne literature (Radonjić, i dr., 2013), a u tabeli 4 prikazani su podaci o intenzitetu otkaza  $\lambda$  i srednjem vremenu rada do otkaza *MTBF*, celog uređaja i sastavnih modula uređaja od A18-A25.

Tabela 4 – Parametri pouzdanosti uređaja GRC 408E  
Table 4 – Reliability parameters for the GRC 408E  
Таблица 4 – Параметры надёжности устройства GRC 408E

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

Sprovedena analiza realizovana je na osnovu pretpostavke da vremena rada do otkaza imaju eksponencijalni karakter, a intenzitet otkaza je konstanta (Adamović, i dr, 2011). Oblik funkcije pouzdanosti sastavnih modula i uređaja prikazan je izrazom:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Funkcija pouzdanosti za uređaj GRC 408E je:

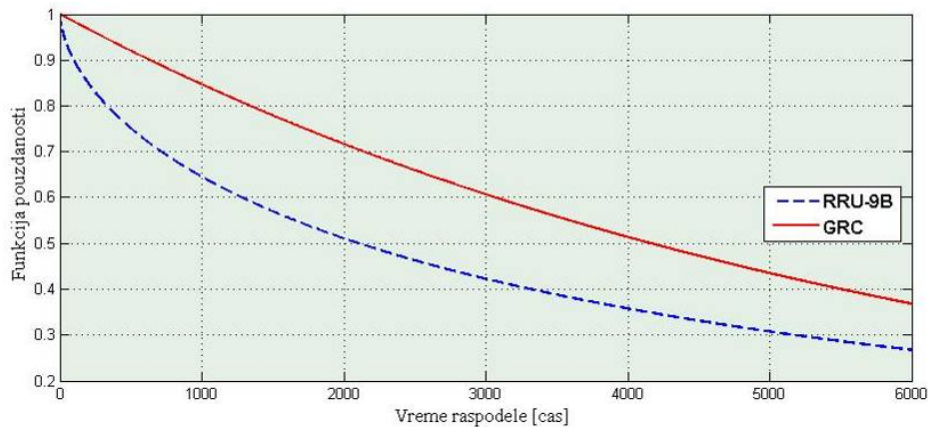
$$R(t) = e^{-(166.54 \times 10^{-6}) \cdot t} \quad (7)$$

dok je za primer modula filtera A19:

$$R(t) = e^{-(9.55 \times 10^{-6}) \cdot t} \quad (8)$$

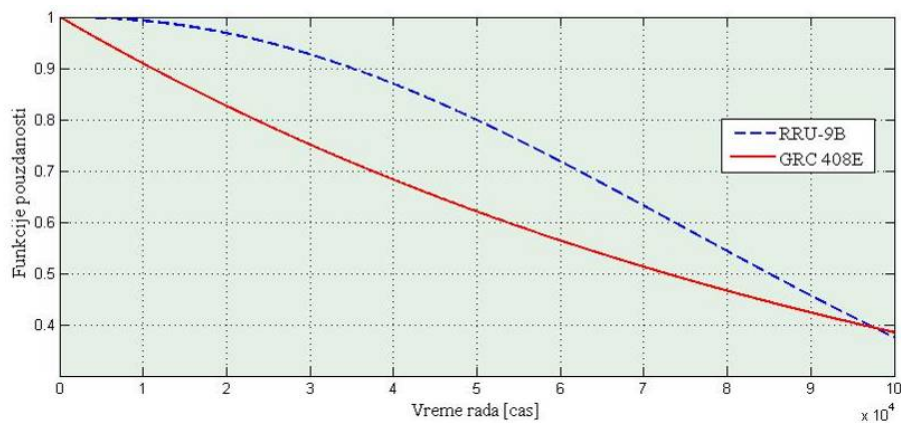
Grafički prikaz poređenja funkcija pouzdanosti uređaja RRU-9B i GRC 408E prikazan je na slici 7. Sa slike se može zaključiti da vrednosti funkcije pouzdanosti uređaja GRC 408E imaju veće vrednosti od RRU-9B. Veće vrednosti javljaju se zbog toga što je intenzitet otkaza sastavnih modula ma-

nji, jer se radi o savremenim uređajima, konstrukcijski izrađenim u SMD tehnologiji. Međutim, analizom i poređenjem funkcija pouzdanosti sastavnih modula zaključuje se da su vrednosti funkcije pouzdanosti sastavnog modula filtera A19, kod GRC 408E, manje u odnosu na RRU-9B. Grafičko poređenje funkcija pouzdanosti modula filtera prikazano je na slici 8.



Slika 7 – Grafičko poređenje funkcija pouzdanosti za uređaje RRU-9B i GRC408E  
 Figure 7 – Comparison of the reliability functions for the RRU-9B and the GRC408E  
 Рис. 7 – Графическое сравнение функций надежности устройств RRU-9B и GRC408E

Sprovedenom analizom zaključuje se da vrednosti funkcije pouzdanosti sastavnih modula uređaja GRC 408E i celog uređaja imaju veće vrednosti u odnosu na module i uređaj RRU-9B (što se vidi na slici 7), osim modula filtera A19 (slika 8).



Slika 8 – Grafičko poređenje funkcija pouzdanosti modula filtera za RRU9B i GRC408E  
 Figure 8 – Comparison of the reliability functions for RRU-9B and GRC408E filter modules  
 Рис. 8 – Графическое сравнение функций надежности модулей фильтров RRU9B и GRC408E

Rezultati dobijeni sprovedenom analizom su očekivani, jer je uređaj GRC 408E savremen, konstruisan i izrađen u savremenoj tehnologiji, od komponenti koje imaju manji intenzitet otkaza. Modul filtera A19 je konstrukciono sličan modulu filtera kod uređaja RRU-9B, ali ima veće vrednosti intenziteta otkaza  $\lambda$ , a time i manje vrednosti funkcije pouzdanosti. Razlog tome je što je modul A19 konstrukciono nadograđen elementima koji omogućuju softversko upravljanje radom filtera. Koliko se konstrukciono dobilo na poboljšanju uređaja, sa aspekta pouzdanosti se izgubilo, jer su vrednosti funkcije pouzdanosti modula A19 manje u odnosu na isti modul kod uređaja RRU-9B.

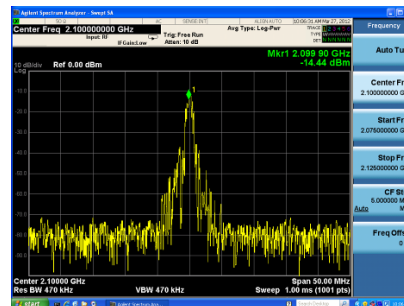
Dalja analiza vezana za modul A19 usmeriće se prema oblasti održavanja uređaja i predmetnog modula, kako bi se u istraživanjima sagledali aspekti pogodnosti za održavanjem.

## Iskustva iz održavanja modula filtera A19

Modul A19, radio-frekventni (RF) filter, sastoji se od dva dela: predajnog i prijemnog dela. Upravljanje radom filtera realizuje se od centralne procesorske jedinice (modula A14), preko modula A13 (modul službenog kanala, EOW interfejsa), koji šalje upravljačke signale koračnim motorima za njihovo pozicioniranje. Pravilnim pozicioniranjem motora obezbeđuje se postavljanje filtera na zadatu predajnu, odnosno prijemnu frekvenciju. Na slici 9 prikazan je izgled modula A19 unutar uređaja GRC, a na slici 10 RF ulazni signal u filter, oslabljen 50 dB iz pojačavača snage.



Slika 9 – Izgled RF filtera u uređaju  
Figure 9 – Layout of the RF filters in the unit  
Puc. 9 – Изображение RF фильтра в устройстве



Slika 10 – Ulazni signal u RF filter  
Figure 10 – The input signal to the RF filter  
Puc. 10 – Входящий сигнал RF фильтра

Na slici 11 prikazan je primer filterske karakteristike modula A19, snimljene analizatorom mreže, u toku tehnološkog procesa održavanja uređaja GRC<sup>1</sup>. Sa slike se uočava da je filterska karakteristika izobličena i da nije si-

<sup>1</sup> Tehnološkom procedurom i dijagnostičkom opremom na najvišem nivou održavanja moguće je snimiti filtersku karakteristiku modula A19. Snimanje karakteristike realizuje se u toku postupka defektacije modula odgovarajućim instrumentom. Tehnološka procedura najvišeg nivoa održavanja jedina propisuje i dozvoljava sve tehnološke operacije održavanja modula A19.

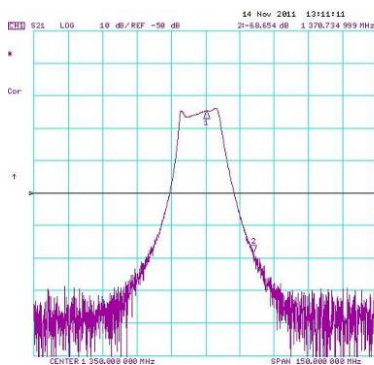
metrična po centralnoj frekvenciji. Uzrok izobličenosti filterske karakteristike može biti različit. Primenom tehnoloških procedura najvišeg nivoa održavanja, na određenom broju uređaja i filtera, došlo se do pokazatelja da je taj uzrok bio: nepodešenost filtera u 4% slučajeva, greška u pozicioniranju step-motora u 4% slučajeva i greška memorije u 1% slučajeva.

Posledice izobličenosti filterske karakteristike su nedovoljna snaga signala na aktuelnoj frekvenciji i prekid radio-relejnog linka, loš prijem signala sa nedozvoljenim brojem grešaka u prenosu signala. Ove neispravnosti dobijaju se kao rezultat testiranja uređaja dijagnostičkom opremom u laboratorijskim uslovima, pri realizaciji srednjeg i najvišeg nivoa održavanja uređaja GRC 408E. Aktuelna neispravnost ne može se uočiti samotestiranjem uređaja, tj. tehnološkom procedurom i dijagnostičkom opremom na nižem nivou održavanja.

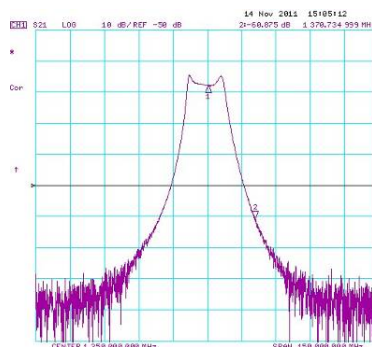
Realizacijom preventivnog održavanja i primenom tehnološke procedure za srednji nivo održavanja (Radonjić, i dr., 2013), u određenom periodu i određenom broju uređaja, konstatovana je neispravnost oko 9% ukupnog broja uređaja sa manifestacijom neispravnosti modula filtera A19, te su uređaji poslani na najviši nivo održavanja.

U skladu sa organizacijom održavanja, defektacija i opravka uređaja zbog ove vrste neispravnosti može se realizovati samo na najvišem nivou održavanja. Primenom akcija korektivnog održavanja na uređaju i samom modulu A19, na najvišem nivou održavanja, dobija se filterska karakteristika kao na slici 12, a testiranjem uređaja, dijagnostičkom aparaturom u laboratorijskim uslovima, konstatovana je ispravnost uređaja.

Iskustva iz održavanja pokazuju da je relativno veliki broj uređaja GRC bio neispravan usled neispravnosti modula A19, u relativno kratkom eksploatacionom vremenu.



Slika 11 – Izobličena filterska karakteristika  
Figure 11 – Distorted filter characteristic  
Puc. 11 – Искраженые характеристики фильтра



Slika 12 – Ispravna filterska karakteristika nakon akcije održavanja  
Figure 12 – The proper filter characteristic after maintenance actions  
Puc. 12 – Требуемые характеристики фильтра после проведения мероприятий по техническому обслуживанию

Sprovedena istraživanja, realizovana poređenjem funkcija pouzdanosti uređaja i sastavnih modula, sa prikazanim laboratorijskim merenjima i iskustvima iz održavanja ove vrste uređaja i otkaza koji su postojali zbog modula A19, opravdavaju razmišljanje da u budućem periodu istraživanja treba usmeriti ka modernizaciji modula A19. Prilog ovim istraživanjima dodatno opravdava i činjenica da je proizvođač uređaja „*Elbit System Tadiran*” započeo serijsku proizvodnju i ima u ponudi prodaju ove vrste uređaja novije generacije sa novim rešenjem modula A19, realizovanim kao digitalni filter, kojem je frekventni opseg rada do 900 MHz.

Postojeće rešenje modula filtera A19 i predlog modernizacije prikazani su u nastavku rada.

## Postojeće rešenje RF filtra

Većina filtera u radio-relejnjoj tehnici realizuju se kao filteri sa rezonantnim šupljinama, s obzirom na zahtevanu izlaznu snagu i na korišćeni frekvencijski opseg. Filteri sa rezonantnim šupljinama karakterišu relativno stabilne amplitudske i fazne karakteristike na visokim učestanostima, relativno uske prelazne zone i slabo izraženi prelazni procesi.

Ono što predstavlja najveći nedostatak kod ove vrste filtera je: upravljanje njihovim radom u okviru softverski upravljanim radom celog uređaja, spora komunikacija sa centralnom procesorskom jedinicom, spor odziv na upravljački signal, primena elektromotora u pozicioniranju filtera na zadanu frekvenciju, nepovoljne karakteristike pogodnosti za održavanje u smislu nemogućnosti agregatne zamene bez dodatnih postupaka kalibracije i podešavanja sa dodatnom specijalnom opremom, a održavanje je moguće samo u organizaciji najvišeg nivoa održavanja uz dugo vreme za korektivno održavanje. Analizom sa aspekta održavanja uočeno je da defektacija uređaja predviđenom tehnološkom procedurom i opremom na najnižem nivou održavanja nije pouzdana, jer se greške u radu modula mogu defektirati samo tehnologijom i opremom na srednjem i najvišem nivou održavanja, te se tako ne obezbeđuje pouzdanost u radu uređaja.

Električna šema filtera za rezonantnim šupljinama predstavljena je na slici 13. Modul filtra A19 predstavlja LC filter kod kojeg se podešavanje vrši mehanički, promenom zazora između zavrtnjeva i tela kutije filtra (promenom dimenzija rezonatora), čime se menjaju kapacitivnosti kondenzatora C1 i C2 (slika 13).

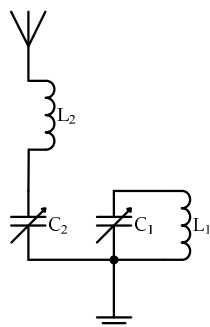
Upravljanje radom i podešavanje filtera A19 na radnu frekvenciju vrši se pomoću koračnih step-motora, koji podatke neophodne za pozicioniranje filtera dobijaju iz memorije koja se nalazi unutar filtera, a upravljačke signale iz modula A13.

Intenzitet otkaza, proračunat na osnovu sastavnih elemenata modula A19, iznosi  $\lambda = 9.55 \times 10^{-6} [h^{-1}]$ . Fabrička vrednost novona-



bavljenog modula A19, ne računajući uvozne dažbine, iznosi 9885 \$, što je 35% vrednosti celog uređaja. Kao što se vidi, RF filter ima značajan novčani udeo u celokupnom iznosu novčane vrednosti celog uređaja.

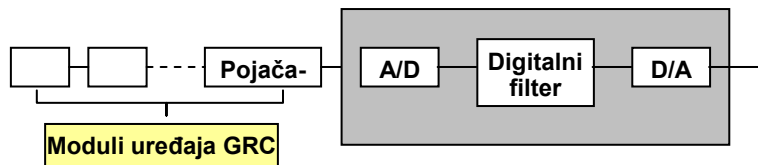
U nastavku rada sprovedena su istraživanja i dat predlog moguće modernizacije modula A19 u smislu digitalizacije filtera, kao jedno od mogućih rešenja na polju poboljšanja i komercijalizacije modula A19.



Slika 13 – Konstrukcija filtera sa rezonantnim šupljinama  
Figure 13 – Design of the filters with resonant cavities  
Рис. 13 – Конструкция фильтра с резонаторами

## Predlog modernizacije RF filtera

Na slici 14 prikazana je blok-šema sa predlogom moguće modernizacije postojećeg analognog RF filtera.

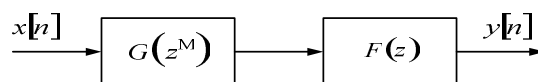


Slika 14 – Blok-šema modernizacionog modula RF filtera  
Figure 14 – Block diagram of the RF filter module after modernization  
Рис. 14 – Блок-схема модернизированного модуля RF-фильтра

Sa slike 14 se vidi da modernizacioni set (modul), koji bi se implementirao umesto modula A19 (RF filtra), čini A/D konvertor, digitalni filter i D/A konvertor. Konvertori su komercijalne izvedbe i nisu predmet sprovedenih istraživanja.

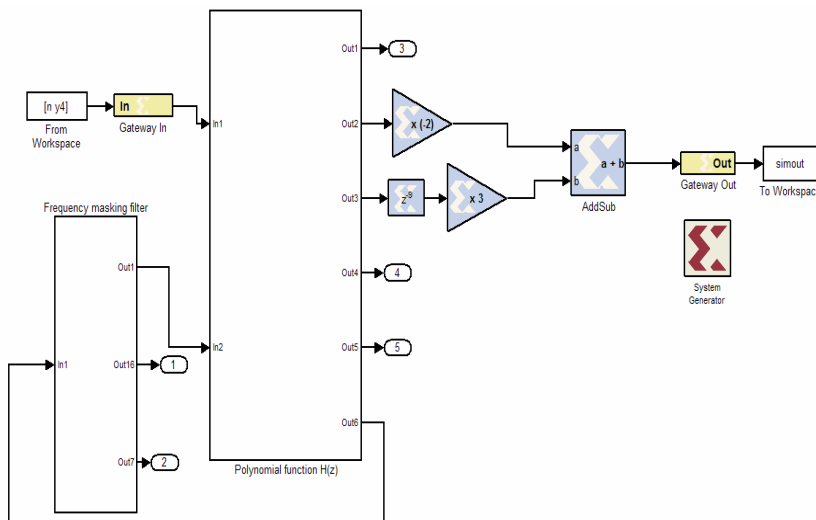
Alati za projektovanje digitalnih struktura koje proizvođači programabilnog hardvera daju korisnicima u novije vreme postaju sve potpuniji i nude sve više slobode pri projektovanju. Korisniku je pružena mogućnost da, prilikom projektovanja, bira da li će da koristi neko od gotovih rešenja, originalnim alatom proizvođača ili nekim standardnim alatom (uključujući i Matlab).

U sprovedenim istraživanjima modelovanje digitalnog filtera realizovano je korišćenjem *Xilinx*-ovog softvera System Generator, koji daje vezu sa Matlab-om i omogućava snimanje amplitudske karakteristike filtera. Pri tome je korišćena najnovija generacija FPGA čipova (*Xilinx*-ov Virtex 7) koja omogućava znatno uvećanje maksimalne frekvencije odabiranja (<http://www.xilinx.com>). Filter je modernizovan na principu frekvencijskog maskiranja (Frequency-response masking tehnique). Uskopojasni filter izveden je kao kaskadna veza periodičnog model filtera  $G(z^M)$  i maskirajućeg filtera  $F(z)$ , kako je to prikazano na slici 15.



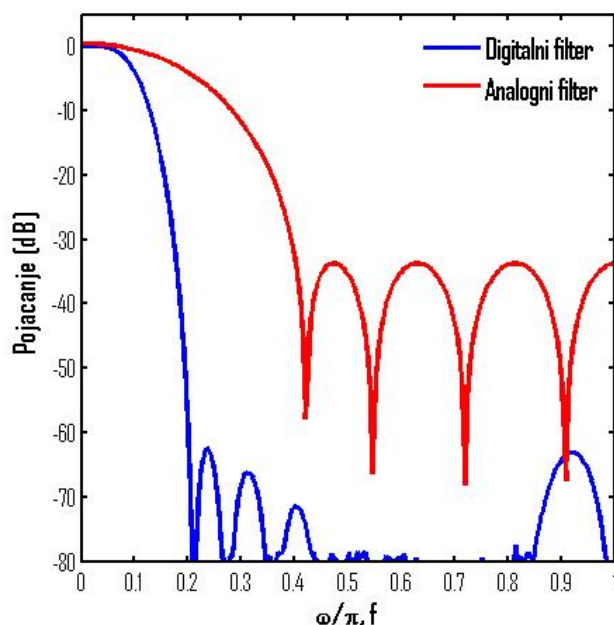
Slika 15 – Kaskadna veza periodičnog modela filtera i maskirajućeg filtera  
 Figure 15 – Cascaded connection of the periodic filter and the masking filter  
 Рис. 15 – Каскадное подключение периодического фильтра и маски фильтра

Predlog realizacije digitalnog filtera prikazan je na slici 16 (Kaiser, et al, 2009), (Poucki et al, 2010), a na slici 17 vidi se uporedni prikaz dobijene amplitudske karakteristike predloženog digitalnog filtera i postojećeg rešenja analognog filtera sa rezonatnim šuplinama. Kao što se vidi, dobijena karakteristika digitalnog filtera je sa strmom prelaznom zonom, a odstupanja na karakteristici su posledica načina snimanja amplitudske karakteristike (po principu odbirak po odbirak).



Slika 16 – Predlog realizacija digitalnog filtera modelovanjem *Xilinx*-ovim softverskim alatom System Generator  
 Figure 16 – Proposal for the implementation of digital filters by using System Generator, *Xilinx*'s software tools  
 Рис. 16 – Предложение по устройству цифрового фильтра путем моделирования System Generator с использованием программного обеспечения *Xilinx*

Na osnovu dostupne literature o fabričkim karakteristikama delova modernizacionog seta (<http://www.buyaltera.com/scripts/partsearch.dll>, <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters/products/index.html>) moguće je proračunati intenzitet otkaza predloženog modernizacionog seta, koji se sastoji iz digitalnog filtra i konvertora signala. Tako proračunata vrednost intenziteta otkaza predloženog modernizacionog seta iznosi:  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ . Novčana vrednost modernizacionog seta orijentaciono je 650\$, što je, u odnosu na novčanu vrednost analognih filtera (9885\$), mnogo manja vrednost.



Slika 17 – Uporedni prikaz amplitudskih karakteristika realizovanog digitalnog filtera i postojećeg analognog filtera

Figure 17 – Comparative review of the amplitude characteristics of the realized digital filter and the existing analog filter

Рис. 17 – Сравнительный обзор амплитудных характеристик цифрового фильтра и существующего аналогового фильтра

Ograničavajući faktor za primenu predložene modernizacije jeste da se u budućem periodu stvore hardverski uslovi koji će omogućiti rad digitalnog filtera na frekvencijama, na kojima radi predmetni uređaj specijalne namene. S obzirom na napredak tehnologije izrade VLSI (VeryLarge-Scale/Integration) komponenti, može se očekivati da će komponente *novije generacije* u VLSI tehnologiji vrlo brzo imati primenu na višim frekvencijama.

## Zaključak

U radu je sprovedena sveobuhvatna analiza i poređenje karakteristika pouzdanosti uređaja specijalne namene. Na osnovu rezultata analize i iskustva iz održavanja, zaključuje se da je modernizacija modula RF filtra korisna radi poboljšanja karakteristika pouzdanosti i održavanja. U tom smislu predložena je modernizacija postojećeg analognog RF filtra. Modernizacija je modelovana odgovarajućim softverskim alatima za projektovanje digitalnih filtera, a dobijeni rezultati opravdavaju sprovedena istraživanja.

Na osnovu dobijenih rezultata modelovanja digitalnog filtera i sagledavanja mogućnosti njegove primene u uređaju GRC 408E, donose se sledeći zaključci:

- intenzitet otkaza modernizacionog seta  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} h^{-1}$  manji je u odnosu na dosadašnju vrednost intenziteta otkaza modula A19 koja iznosi  $\lambda = 9.55 \cdot 10^{-6} h^{-1}$ ,
- jako uska prelazna zona, čime se postiže oštra amplitudska karakteristika,
- cena modernizacionog seta je mnogo manja od cene analognog RF filtra,
- težina i gabariti su mnogo manji, što čini da je uređaj lakši za rad i transport,
- omogućeno je održavanje u smislu agregatne zamene modernizacionog seta novim ili prebacivanjem sa drugog uređaja, što nije moguće u trenutnoj izvedbi filtera bez kalibracije i dodatnih podešavanja, koji se moraju izvesti u laboratorijskim uslovima,
- agregatna zamena modernizacionog seta omogućava da se korektivno održavanje realizuje na srednjem nivou održavanja,
- korektivno održavanje je jednostavno i svodi se na zamenu komponente, FPGA čipa ili DSP procesora,
- vreme korektivnog održavanja je mnogo kraće nego kod analognih mehaničkih filtera sa rezonantnim šupljinama, te su poboljšane karakteristike pogodnosti za održavanje,
- omogućena je pouzdana dijagnostika ispravnosti modernizacionog seta na svim nivoima održavanja,
- upravljanje radom digitalnog filtera od strane centralne procesorske jedinice je olakšano i pouzdano, a brzina odziva filtera na promenu frekvencije je trenutna.

Sprovedena istraživanja daju doprinos u oblasti održavanja ove vrste uređaja, jer se na osnovu dobijenih rezultata zaključuje da će u budućnosti biti moguća zamena postojećeg analognog filtera novim digitalnim filterom i da je predložena modernizacija opravdana sa svih aspekata održavanja.

## Literatura

- Adamović, Ž., Stanković, N., & Savić, B., 2011. Pouzdanost mašina i postrojenja, StylosArt, Novi Sad.
- Čatić, D. 2005. Razvoj i primena metoda teorije pouzdanosti, Mašinski fakultet Kragujevac.
- Ivanović, G. & Stanivuković, D.. 1988. Pouzdanost-analiza i projektovanje, Savezni sekretarijat za narodnu odbranu Tehnička uprava, Beograd.
- Kaiser, F.J.,& Hamming, R.W. 1977. Sharpening the response of a symmetric non-recursive filter by multiple use of the same filter., IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol.ASSP-25, pp.415-422.
- Poucki, V.M., Ženuva, A., Lutovac, M.D., & Karcnik, T. 2010, Elliptic IIR filter sharpening implemented on FPGA., Digital Signal Processing 20 (2010), pp.13-22.
- Radonjić, V., Jovanović, D.,& Ćirić, M. 2014. Optimalni model koncepta održavanja radio-relejnih uređaja. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 3/2014.
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013a. Proračun parametara pouzdanosti kod uspostavljanja organizacije održavanja radio-relejnih uređaja, 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću", ICDQM., str.471-476.
- Radonjić, V., Jovanović, D., & Milojević, I. 2013b. Tehnološka procedura srednjeg nivoa održavanja savremenih radio-relejnih uređaja., 16. Međunarodna konferencija "Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću", ICDQM. , str.465-470.
- Ramović, R. 2005. Pouzdanost sistema elektronskih, telekomunikacionih i informacionih, Elektrotehnički fakultet Beograd Katedra za mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd.
- <http://www.xilinx.com>
- <http://www.buyaltera.com/scripts/partsearch.dll>
- <http://www.analog.com/en/digital-to-analog-converters/high-speed-da-converters/products/index.html>

## УПРОЩЕНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ АНАЛОГОВОГО ФИЛЬТРА

ОБЛАСТЬ: поддержка технологических систем  
 ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья  
 ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме:

*В работе проведен анализ и сравнение показателей надежности двух типов специальных устройств, которые используются в радиорелейных системах.*

*Основываясь на результатах проведенного анализа, опыта, накопленного при эксплуатации устройств при обеспечении поддержки доменов верхнего уровня, предложен способ модернизации, путем замены существующего аналогового радио-частотного фильтра на соответствующий цифровой фильтр. Предлагаемый способ модернизации упрощает технологические процессы по обслуживанию устройств, облегчает ремонтпригодность, увеличивает надежность, значительно снижая затраты при эксплуатации.*

Ключевые слова: надежность, поддержка, модернизация, фильтр.

## IMPROVEMENTS OF THE MAINTENANCE OF SPECIAL PURPOSE DEVICES BY ANALOG FILTER MODERNIZATION

FIELD: Maintenance of technical systems  
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*This paper deals with an analysis and a comparison of the reliability of two types of special-purpose devices used in radio-relay systems.*

*Based on the results of the analysis and the experience in top-level domains device maintenance, this paper proposes a modernization method of the existing analog radio-frequency filter with an appropriate digital filter. The proposed modernization of the technological process improves the characteristics of maintainability, increases reliability in performance while dramatically reducing the cost of equipment maintenance.*

### Introduction

*All technical devices during their lifetime pass various stages, from construction, development and production, through operation and maintenance to the end of their life cycle. This paper conducted research and an analysis on the GRC 408E special purpose device which did not pass the phases of construction, development and production in national institutions.*

*An optimal model of the concept of maintenance and maintenance organization of this type of device is presented in the available literature. Taking into account that, during the system lifetime, equipment modernization can be implemented, this paper deals with a comprehensive study aimed at finding the weaknesses of the device and proposes its modernization. The device modernization by a modernizing set was modeled by an appropriate software design tool and the modernization costs were then approximated.*

*The conducted research is based on:*

- 1. determining the reliability function of the RRU-9B device and its component modules,*
- 2. determining the reliability function of the GRC 408E device and its component modules,*
- 3. analysis and mutual comparison of the reliability function of the two types of devices and their component modules,*
- 4. laboratory measurements,*
- 5. experience from the highest level of the GRC 408E equipment maintenance*

### Conditions for the research realization

*The research faced a number of difficulties since there is not enough data from the exploitation of the GRC 408E special purpose device that can be used as reliability indicators. Therefore, the analysis and re-*

search directed towards the reliability function were carried out in two ways:

- for the RRU-9B device, the research was based on the patterns of failure time in the period from 2006 to 2013,
- for the GRC 408E device, the research was based on the calculated failure intensity of the integral components of individual modules.

#### *Determining the reliability function of the RRU-9B device*

*The reliability function was determined by determining the law of distribution of work time to failure on a sample of 50 devices. Based on the data on work time to failure, the empirical distribution function of the time to failure is determined. After that, the appropriate method is applied for an approximation of the empirical distribution with the corresponding theoretical distribution, followed by the approximation verification by appropriate testing. This paper also deals with the empirical (estimated) reliability function approximation by theoretical distributions: Weibull, exponential and normal. The testing of the obtained approximations is carried out using the following tests: Kolmogorov-Smirnov, Pearson and Romanovskogo.*

#### *Approximation of the empirical distribution by the Weibull distribution*

*Figure 2 shows the approximation of the empirical distribution by the Weibull distribution. After the completion of the testing, it is concluded that the approximation satisfies all three types of tests.*

#### *Approximation of the empirical distribution by the exponential distribution*

*Figure 3 shows the approximation of the empirical distribution by the exponential distribution. After the completion of the test, it is concluded that the approximation does not satisfy the Kolmogorov-Smirnov test, while it satisfies the Pearson and Romanovskogo tests.*

#### *Approximation of the empirical distribution by the normal distribution*

*Figure 4 shows the approximation of the empirical distribution by the normal distribution. After the completion of the testing, it is concluded that the approximation satisfies all three types of tests.*

*Grouping the number of failures per time intervals results in losing the accuracy of statistical measures. The commands in the MATLAB are used to calculate the cumulative probability distribution function, i.e. a function of uncertainty based on a sample of 50 devices.*

*Based on these results, it is concluded that the Weibull distribution best approximates the empirical distribution. The Weibull distribution with corresponding parameters is accepted and the function of reliability for the RRU-9B device has the form as in formula (1).*

*Determining the reliability function of the RRU-9B device modulesData on the reliability functions of the RRU-9B components is*

necessary for the further analysis in order to compare these functions to the reliability functions of the components of the GRC 408E special purpose device. The calculation of the reliability function is performed by a suitable method for a small sample.

Estimated values of the amplifier module reliability

Figure 5 shows the graphical values of the reliability and unreliability functions of the amplifier module. The estimated values of the reliability function are approximated by the corresponding theoretical distribution functions as follows: Weibull, exponential and normal distribution. Based on the analysis and the corresponding testing, it is concluded that only the Weibull distribution satisfies the test. Therefore, the Weibull distribution is adopted as an approximate distribution of the empirical distribution function according to formula (5).

Figure 6 shows the deviation of the Weibull distribution from the empirical distribution for the case of the amplifier module.

The analysis has also been applied to other RRU-9B components and the same test results have been obtained as shown in Table 3.

Determination of the reliability function of the GRC 408E special purpose device

Table 4 presents the data on the intensity of failure of particular modules as well as of the entire GRC 408E device. The reliability function of the modules and the device is calculated based on formula (6). Figure 7 shows a comparison of the reliability functions of two devices from which it is concluded explicitly that the GRC device is more reliable in operation.

A comparison of the reliability functions of modules of two devices has been carried out in a similar way. Only the RRU-9B filter module has higher values of the reliability function.

These results are expected because the two filters are structurally similar, the only difference being in the GRC filter which is upgraded with stepper motors for filter control. This upgrade increased the intensity of filter module failure so the value of the reliability function is lower.

The conducted analysis leads to the conclusion that if we want to increase the level of reliability of the filter modules, their construction must be modernized, which will increase the whole device reliability value. The analysis will be extended to the experience gained during the device maintenance.

The experience during the maintenance of the filter module of the GRC device

This section explains the most common cases of malfunctions caused by the filter module. Figure 11 shows the filter characteristics of the defective device, while Figure 12 gives the filter characteristics after corrective maintenance actions at the highest level of maintenance.



*Based on the experience of special-purpose device maintenance, it can be concluded that in the future the filter should be modernized in order to increase the reliability of the whole unit.*

#### Existing solution of the RF filter

*Figure 13 shows the existing solution of the analog filter. The filter control and adjustment is done by using stepper motors which obtain the data on positioning to the operating frequency from the A13 official channel module. The filter default value is 35% of the entire device value.*

#### Proposal for an RF filter modernization

*Figure 14 shows the block diagram of the proposed modernization of the existing analog RF filters. The modernizing set to be included instead of the filter module consists of: A/D converter, digital filter, and D/A converter. Converters are of commercial performance and are not a subject of research. Using appropriate software tools to design digital filters led to the structure of the digital filter implemented using Xilinx's System Generator software which provides a link with Matlab and captures the amplitude characteristic. The latest generation of FPGA circuits (Xilinx's Virtex 7) is used, which allows a significant increase in the maximum sampling rate. The filter is realized on the basis of frequency masking (Frequency-response masking technique).*

*A proposal for the implementation of digital filters is shown in Figure 16, while Figure 17 shows a comparison of the obtained amplitude characteristic of the proposed digital filter and the analog filter existing solution. Based on the available literature, the failure intensity of the modernization set has been calculated, where the value is several times lower than in the existing solutions. The modernization set value expressed in hard currency is approximately \$ 650, which is much less than the price of an analog filter.*

*The limiting factor for the implementation of the proposed modernization is creating future hardware conditions that will allow the operation of a digital filter at frequencies at which the given special-purpose device operates. Having in mind the development in the technology of VLSI (VeryLargeScaleIntegration) components, it is expected that the new generation components in VLSI technology will soon be applied at higher frequencies.*

#### Conclusion

*This paper carried out a comprehensive analysis and a comparison of the reliability characteristics of the existing equipment and its component modules with a newly acquired special-purpose device. Based on the analysis and the experience of maintenance, it is concluded that the modernization of the RF filter module is useful in order to improve the reliability and maintenance. In this sense, a modernization of the existing analog RF filter is proposed. The*

modernization is modeled by appropriate software tools for digital filter design, and the obtained results justify the conducted research.

Based on the results of the digital filter modeling and the examination of the possibilities of its application in the GRC 408E device, it can be concluded:

- failure intensity of the modernization set  $\lambda = 0.96 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$  is lower than the current value of the failure intensity of the A19 module which is  $\lambda = 9.55 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ ,

- transition zone is narrow (sharp amplitude characteristic), resulting in better frequency resolution,

- cost of the modernization set is much lower than the cost of the analog RF filter,

- weight and dimensions are much smaller which makes the device easier to operate and transport,

- maintenance is possible in terms of the aggregate replacement of the modernization set by a new one or by transferring it from another device, which is not possible in the current structure of the filter without additional calibration and adjustment which must be carried out in the laboratory,

- aggregate replacement of the modernization set enables corrective maintenance to be implemented at the intermediate level of maintenance,

- corrective maintenance is simple and involves the replacement of a component, FPGA or DSP processors,

- corrective maintenance period is much shorter than in the case of mechanical analog filters with resonant cavities, resulting in the improved characteristics of maintainability,

- a reliable diagnostics of the modernization set accuracy is provided at all levels of maintenance,

- digital filter operation control through the central processing unit is easy and reliable, and the filter response to frequency change is instantaneous.

The conducted research contributes to the maintenance of this type of devices, since, on the basis of the obtained results, it is concluded that in the future it will be possible to substitute existing analog filters with new digital ones and that the proposed modernization is justified from all aspects of maintenance.

Key words: reliability, maintenance, modernization, filters.

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 27. 01. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on /

Дата получения исправленной версии работы: 16. 03. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on /

Дата окончательного согласования работы: 18. 03. 2014.

ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ  
REVIEW PAPERS  
ОБОЗОРНЫЕ СТАТЬИ

## STRUČNE SPOSOBNOSTI POTREBNE U PROCESU OPREMANJA VOJSKE SREDSTVIMA NAORUŽANJA I VOJNE OPREME

Nenka S. Brkljač<sup>a</sup>, Marko D. Andrejić<sup>b</sup>, Slobodan S. Ilić<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Vojska Srbije, Tehnički opitni centar, Beograd

e-mail: nenko.brkljac@vs.rs; slobodan.ilic@vs.rs

<sup>b</sup> Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,

Katedra logistike, Beograd, e-mail: markodandrejic@hotmail.com

DOI: 10.5937/vojtehg63-5781

OBLAST: logistika

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

### Sažetak:

*U radu su prikazani rezultati istraživanja potrebnih sposobnosti (znanja i veština) u procesu opremanja Vojske. Potrebne stručne sposobnosti analizirane su sa aspekta zaštite interesa kupca i krajnjeg korisnika sredstva NVO. Sposobnosti su svrstane prema ključnim aktivnostima procesa i analizirane kroz aktivnosti planiranja i programiranja, definisanja taktičkih i tehničkih zahteva, ugovaranja, istraživanja, razvoja, ispitivanja, proizvodnje, nabavke, upotrebe, podrške i povlačenja sredstva NVO iz upotrebe. Opis sposobnosti vršen je na dva načina, kroz konkretan opis potrebne sposobnosti ili opisom efekta koji treba da proizvede stručno lice angažovano u procesu opremanja Vojske.*

*Ključne reči: kvalitet, proces, sposobnost, znanje, zahtevi, upotrebnii kvalitet sredstava NVO.*

## Uvod

Opremanje Vojske je dinamički proces koji se neprekidno razvija, usavršava i prilagođava objektivnim uslovima funkcionisanja sistema odbrane i okruženja. Stručne sposobnosti u ovom procesu podrazumevaju sposob-

nosti sagledavanja uzročnika gubitaka<sup>1</sup>, a efikasnost se ceni rezultatima koji se ostvaruju u pogledu izgradnje operativnih sposobnosti Vojske.

Obezbeđenjem potrebnih stručnih sposobnosti u procesu opremanja Vojske obezbeđuje se upotrebnii kvalitet sredstava NVO i opravdanje uloženi (utrošeni) finansijskih sredstava i njegov adekvatan odnos investiranim finansijskim sredstvima. Upotrebnii kvalitet sredstava NVO obezbeđuje mogućnosti Vojske, ili njenih delova, da u predviđenom vremenu, u određenim ambijentalnim uslovima i primenom određenih standarda ostvaruju željene operativne efekte, kao što su: komandovanje, pravovremena raspoloživost snaga, razmeštaj i mobilnost u zoni operacija, iskorišćenje informacionog prostora, delotvorna ili efikasna upotreba snaga, otpornost i zaštita snaga i održivost snaga.

Da bi se kontinuirano postizali željeni operativni efekti neophodno je u procesu opremanja Vojske biti orijentisan na životni ciklus objekta posmatranja (sredstva, objekta,...), tok kretanja i kvalitet i razvijati znanja i veštine za realizaciju faza, kao što su: analiza misija i iskazivanje potreba; razvoj koncepta i predlog modela opremanja; realizacija projekta opremanja; upotreba i praćenje sredstava NVO, izlazak sredstva NVO iz operativne upotrebe. Za prelazak iz jedne u drugu fazu veoma je važno obezbeđenje adekvatnih ulazno-izlaznih parametara aktivnosti i faza, odnosno obezbeđenje kvalitetnih materijalnih i informacionih izlaza (dokumenata) za narednu fazu (Grupa autora, 2012). Da bi se to ostvarivalo neophodno je kontinuirano razvijati odgovarajuće stručne sposobnosti učesnika u procesu opremanja Vojske.

Stečena saznanja pokazuju da je u oblasti opremanja u poslednjih nekoliko godina urađeno dosta, a da sa druge strane postoji još puno mogućnosti da se stanje unapredi.

Potrebe prakse, zahtevi vremena i savremeni trendovi generišu potrebu da se teorijska saznanja i praktična iskustva, vezana za sposobnosti potrebne za efektivno i efikasno opremanje Vojske, sistematizuju i učine dostupnim „teoretičarima i praktičarima opremanja” radi unapređenja postojeće prakse i podsticanja prikupljanja i stvaranja novih znanja (Andrejić, i dr, 2010, str.37-62).

## Sposobnosti za obezbeđenje zahteva kvaliteta

Prve potrebne stručne sposobnosti u procesu opremanja Vojske vezane su za definisanje taktičkih zahteva kvaliteta već u toku analize misija i iskazivanja potreba. U toku ovih aktivnosti mora postojati stručna sposobnost definisanja i tehničkih i logističkih zahteva upotrebnog kvaliteta. Struč-

<sup>1</sup> Dosta gubitaka (neiskorišćenih šansi) u procesu opremanja VojskeVojske javlja se usled neadekvatne usklađenosti i balansa između potrebnih operativnih sposobnosti njenih jedinica Vojskei funkcionalnih sposobnosti u procesu opremanja VojskeVojske u celini.

na sposobnost definisanja taktičkih zahteva obuhvata: sposobnosti za analizu misija, sposobnosti za operativno planiranje, sposobnost definisanja potrebnih operativnih sposobnosti, stručne sposobnost za analizu usaglašenosti potrebnih i postojećih operativnih sposobnosti, sposobnost izbora i kombinovanja materijalnih i nematerijalnih činilaca kojima će se razviti i održavati potrebne operativne sposobnosti Vojske (Grupa autora, 2012).

Stručne sposobnosti za utvrđivanje potrebe Vojske za sredstvima NVO (vrsta, kvalitet, kvantitet) ogledaju se u sposobnostima sagledavanja nekoliko aspekata (kvalitet planiranja) (Zrnić, 2008, str.25-47) prema misijama i zadacima Vojske; prema strukturi komandi, jedinica i ustanova Vojske; prema stanju raspoloživih resursa, odnosno stanju naoružanja i vojne opreme kojim vojska raspolaže; prema fizionomiji savremenih odbrambenih i bezbednosnih izazova, rizika i pretnji; prema trendovima u razvoju savremenih sredstava NVO i prema finansijskim mogućnostima (budžetu) za modernizaciju postojećih ili nabavku novih sredstava NVO.

## Sposobnosti za definisanje taktičkih zahteva

Polazne stručne sposobnosti u procesu opremanja Vojske, ogledaju se u sposobnosti za izradu dokumenta pod nazivom „taktička studija”. Kvalitet taktičke studije zavisi od stručne sposobnosti lica za sveobuhvatnu analizu stanja operativnih sposobnosti u određenoj oblasti i stručne sposobnosti da se definiše zahtevani nivo operativnih sposobnosti koji se želi dostići opremanjem kvalitetnim sredstvima NVO. Nivo stručne osposobljenosti za izradu taktičke studije, kao polaznog dokumenta procesa opremanja sredstvima NVO, ogleda se u kvalitetu početnih taktičko-tehničkih zahteva koji definišu ključne karakteristike nedostajuće sposobnosti sa odgovarajućim merljivim parametrima.

Od stručne osposobljenosti lica koja rade studiju zavisi kvalitet nivoa identifikovanja, definisanja i dokumentovanja potrebe krajnjeg korisnika sredstva NVO kroz materijalne činioce, vreme dostizanja i prioritet u odnosu na druge potrebe. U ovoj fazi stručna osposobljenost se ogleda u sposobnostima za: analizu misije, analizu postojećih operativnih sposobnosti, definisanje potrebnih operativnih sposobnosti, analizu usaglašenosti potrebnih i postojećih operativnih sposobnosti. Podrazumeva se da stručno osposobljena lica definišu i kriterijume kojima se mere promene postojećeg i dostignuta poboljšanja operativnih sposobnosti Vojske (Grupa autora, 2012).

Za analizu misije potrebna je stručna identifikacija vrsta operacija po nivou definisanih ciljeva, angažovanih snaga i načinu ispoljavanja dejstava. Potrebna je kompetentnost za stručnu analizu ciljeva koje treba dostići, rezultata koje treba ostvariti i zadataka koje treba izvršiti da bi se ciljevi realizovali.

Stručno osposobljena lica treba da određuju potrebne sposobnosti jedinice i kapacitete resursa za realizaciju tih operativnih sposobnosti. Potrebno je da budu osposobljeni da operativne sposobnosti izražavaju kroz prikaz mogućnosti u postizanju određenih efekata upotrebom snaga, sredstava i načina izvršenja zadataka iz domena funkcije borbenih dejstava. Takođe, ova lica moraju posedovati sposobnost za samostalnu i timsku (Andrejić, Čabarkapa, 2012) analizu doktrine, obuke, organizacije, naoružanja i vojne opreme, kadrova, obrazovanja, infrastrukture i interoperabilnosti, angažovanjem specijalista po grupama sposobnosti.

Od stručne osposobljenosti lica u ovoj fazi procesa opremanja Vojske zavisi kvalitet i preciznost utvrđenih razlika u sposobnostima koje je potrebno dostići. Validacija utvrđene razlike mora se obaviti kroz procenu mogućnosti primene postojećih sposobnosti u budućnosti, analizom odnosa između postojećih i potrebnih operativnih sposobnosti i identifikaciju operativnih sposobnosti koje nisu na zahtevanom nivou. Dakle, za ovu fazu stručna osposobljenost podrazumeva sposobnost za vrednovanje i analizu efekata dejstva ili učinka jedinica pri izvršavanju namenskih zadataka (realizacijom sadržaja dejstava, protivdejstava, obezbeđenja i zaštite snaga).

Na kraju, stručnost lica uključenih u ovu fazu procesa opremanja Vojske ogleda se u izvršenom vrednovanju nedostajućih operativnih sposobnosti, izabranim ključnim činiocima za sticanje željene operativne sposobnosti, utvrđenim prioritetima prevazilaženja manjka sposobnosti i identifikovanim operativnim sposobnostima kod kojih je moguće prihvatiti rizik. U ovoj fazi procesa veoma su važne sposobnost za „analizu vrednosti” alternativa za postupak sticanja željene operativne sposobnosti (inženjering vrednosti).

### *Sposobnosti za definisanje tehničkih zahteva kvaliteta*

Stručna osposobljenost za definisanje tehničkih zahteva kvaliteta podrazumeva adekvatna znanja (Andrejić, Ljubojević, 2009, str.15-27) – opšta tehnička i specijalistička znanja. Potrebne stručne sposobnosti u ovoj fazi procesa opremanja Vojske mogu se definisati kroz skupove svojstava i karakteristika sredstava NVO.

### *Sposobnost za definisanje zahteva kvaliteta svojstava sredstava NVO*

Pod ovim tipom sposobnosti podrazumevaju se specijalistička znanja za definisanje obeležja trajnog karaktera svojstvena određenim tipovima sredstva NVO, na primer: svojstva materijala, svojstva konstrukcije i sl.

U zavisnosti od tipa sredstava NVO u većoj ili manjoj meri potrebna su angažovanja specijalista za svojstva materijala, i to (Brkljač, Dželetović, 2011, str.151-157):

- fizička svojstva materijala (fizikalna, mehanička, termička, električna i magnetna svojstva);
- hemijska svojstva materijala (poznavanje hemijskih sastava i anti-korozivnost, poznavanje otpornosti na delovanje hemijskih i bakterioloških uticaja);
- metalografska svojstva (vrsta zrna, veličina zrna i raspored zrna);
- tehnološka svojstva (livljivost, deformabilnost, obradivost rezanjem, zavarljivost i prokaljivost) i
- definisanje zahteva za estetsku „mekoću” materijala i estetsku „toplotu” materijala.

Potrebne opšte stručne sposobnosti i specijalistička znanja za karakteristike konstrukcije:

- složenosti konstrukcije (delovi i sklopovi);
- otpornosti (fizička i hemijska otpornost);
- unifikacije (tipizacija i standardizacija);
- tehnološkičnosti (materijala i operacija) i
- stručne sposobnosti iz domena funkcionalne i strukturne konstitucije sredstva NVO;
- stručne sposobnosti za zahteve ergonomičnosti itd.

Stručne sposobnosti za definisanje zahteva za karakteristike izrade, i to:

- specijalistička znanja iz domena obrada (tačnost i preciznost obrade) i
- stručne sposobnosti za zahtevanje pogodnosti montaže (tačnost i preciznost montaže).

Stručne sposobnosti za definisanje zahteva za karakteristike efektivnosti, i to:

- stručna osposobljenost za definisanje zahteva u pogledu gotovosti (raspoloživost), pouzdanosti i funkcionalne podobnosti sredstva NVO;
- stručna osposobljenost za definisanje zahteva za napajanje sredstva električnom energijom (niskonaponske električne mreže, elektroagregati, akumulatori i baterije);
- specijalistička znanja za proračun pouzdanosti sredstva NVO;
- stručne sposobnosti za definisanje zahteva za rukovanje sredstvom i
- stručne sposobnosti za definisanje zahteva za održavanje.

Stručne sposobnosti za definisanje zahteva za karakteristiku trajnosti, i to:

- specijalistička znanja za definisanje zahteva za vek trajanja sredstva NVO i
- stručne sposobnosti za definisanje zahteva u vezi garantnog roka sredstva NVO.

Potrebne opšte stručne sposobnosti i specijalistička znanja za definisanje zahteva za karakteristike otpornosti (klimomehanički uslovi upotrebe sredstva NVO), i to:

- zahteva za otpornost na električni udar;
- zahteva za otpornost na elektronska dejstva;
- zahteva za otpornost na temperaturu;
- zahteva za otpornost na vlažnost;
- zahteva za otpornost na mehaničke udare i
- zahteva za otpornost na vibracije.

Potrebne opšte stručne sposobnosti i specijalistička znanja za definisanje zahteva za karakteristiku održavanja, i to:

- zahteva u vezi složenosti održavanja;
- zahteva u vezi mogućnosti obezbeđenja rezervnih delova;
- zahteva u vezi opreme za održavanje i ispitne opreme;
- zahteva za obezbeđenje individualnog i grupnog kompleta alata, pribora i rezervnih delova;
- zahtevi u vezi standardizacije, tipizacije i unifikacija;
- zahtevi u vezi troškova i rokova održavanja i
- zahtevi u vezi kadra za održavanje.

Potrebne opšte stručne sposobnosti i specijalistička znanja za definisanje zahteva za karakteristiku upotrebljivosti sredstva NVO, i to:

- zahteva u vezi eksploatacionog učinka sredstva;
- zahteva u vezi kompatibilnosti sa sredstvima ili sistemima sa kojima treba da radi;
- zahteva u vezi dugotrajnosti sredstva i
- zahteva za promenljivost režima rada.

Potrebne opšte stručne sposobnosti i specijalistička znanja za definisanje zahteva za karakteristiku funkcionalnosti, i to:

- zahteva u vezi prilagođenosti sredstva vojniku (broj, stručnost i psihofizičke osobine posade, posluge, vozača ili rukovalaca);
- zahteva u vezi eksploatacije, rukovanja i raspolaganja sredstvima upravljanja sredstvom (skladištenje, transport, priprema za upotrebu, upotreba, razni režimi upotrebe i rada);
- zahteva u vezi složenosti rukovanja sredstvom;
- zahteva u vezi bezbednosti i zdravlja na radu i ZŽS i
- zahteva u vezi mogućnosti modernizacije i adaptacije sredstva NVO.

### ***Sposobnost za definisanje zahteva kvaliteta karakteristika sredstava NVO***

Pod ovim tipom sposobnosti podrazumevaju se specijalistička znanja za definisanje karakteristika sredstava NVO kao obeležja promenljivog karaktera, koja se sredstvu menjaju bez obzira na vrstu i tip, na pri-



mer: potrebe Vojske za određenim sredstvom NVO, nabavna cena sredstva NVO, mogućnost nabavke i isporuke i dr.

Bez obzira na vrstu i tip sredstva, u većoj ili manjoj meri potrebne su stručne sposobnosti za definisanje potreba za sredstvom NVO, i to:

- proračun potreba operativnih jedinica Vojske i ostalih potreba (u sistemu odbrane ili inostrana tražnja) i sledstveno tome
- broj komada sredstava i/ili težina sredstava NVO.

Veoma značajna je i stručna osposobljenost lica, angažovanih u procesu opremanja Vojske, za analitičku procenu cene koštanja obezbeđenja nedostajuće operativne sposobnosti, kroz:

- analizu cena troškova realizacije sredstva sopstvenim naporima;
- analizu nabavke sredstva kao gotovog proizvoda sa tržišta i
- analizu cene podugovoravanja usluge vezane za određenu nedostajuću operativnu sposobnost.

Potrebne stručne sposobnosti za analizu i definisanje zahteva za karakteristike isporuke i uvođenja sredstva NVO u upotrebu su:

- udaljenosti isporuke (aspekt isporuka u ratnim uslovima);
- troškovi i rokovi isporuke;
- izgled i trajnost pakovanja;
- rokovi uvođenja, složenost i troškovi ugradnje;
- efikasnost obuke;
- mogućnost manipulacije i trajnost skladištenja;
- literatura i dokumentacija za rukovanje i održavanje;
- kapacitet, učinak i troškovi upotrebe.

### *Efekti stručne osposobljenosti za definisanje zahteva*

Efektivnost stručne osposobljenosti za definisanje taktičkih i tehničkih zahteva kvaliteta sredstva NVO ogleda se u kvalitetu izrađenih programskih dokumenata (taktičko-tehničkih zahteva, propisa o kvalitetu proizvoda, standarda itd.), kao i kvalitetu tehničke specifikacije za nabavku proizvoda sa tržišta. Pored navedenih dokumenata, stručna osposobljenost u procesu opremanja Vojske se u konačnom prepoznaje i u kvalitetu sadržaja ugovora koji se zaključuje sa isporučiocem naoružanja i vojne opreme.

### *Efekti stručne osposobljenosti sadržani u kvalitetu specifikacije za nabavku*

Efekti stručne osposobljenosti za definisanje zahteva kvaliteta ogledaju se u kvalitetu tehničke specifikacije za nabavku proizvoda sa tržišta, koja podrazumeva sledeći načelni sadržaj (Grupa autora, 2012):

1. jednoznačno definisan naziv projekta opremanja, za koji se projektuje obezbeđenje kvaliteta tokom čitavog životnog veka,

2. konfiguraciju projekta opremanja sa karakterističnim tehničkim podacima,

3. pripadajuće zakonske pravne i tehničke propise i tehničku dokumentaciju u vezi sa projektom opremanja, a najmanje: spisak tehničkih propisa, spisak standarda koji su potrebni za bliže definisanje određenih karakteristika, spisak potrebne konstrukcione dokumentacije i spisak specifične dokumentacije za kontrolisanje proizvodnje sredstva NVO, itd,

4. zahteve za kvalitet sredstva NVO, čijim ispunjavanjem se u potpunosti ispunjavaju taktičko-tehnički zahtevi za predmetno sredstvo NVO. Zahtevi se moraju iskazati merljivim veličinama i atributima koji se mogu proveriti. Brojčane vrednosti, kao i odstupanja, preventivno treba da odgovaraju važećim tehničkim propisima i standardima. Zahtevi moraju da budu jasni, kratki i precizni. Uopštene zahteve i zahteve koji se ne mogu proveriti ne treba unositi u tehnički zahtev za nabavku. Sadržaj zahteva za kvalitet može se deliti prema sledećim podnaslovima: dimenzije, masa i spoljni izgled; karakteristike funkcionalnosti i bezbednosti pri upotrebi: mehaničke, električne, elektromagnetne, balističke, akustične, optičke, optoelektronske i ostale karakteristike; uticaj okoline i drugo,

5. procenjene rizike vezane za obezbeđenje kvaliteta tokom čitavog životnog veka NVO,

6. metode za proveru zahteva kvaliteta koje će se primeniti kroz sprovođenje verifikacionih ispitivanja i metode koje će se primeniti kroz vršenje tehničke ocene ispunjenosti zahteva kvaliteta kod proizvođača (ocenjivanje sistema menadžmenta kvalitetom, kontrola procesa proizvodnje i karakteristika kvaliteta sredstva NVO),

7. nosioce funkcija ocenjivanja usaglašenosti u skladu sa propisom koji reguliše ovu oblast u MO,

8. zahteve za: obuku krajnjih korisnika za rukovanje i održavanje sredstvom, za obezbeđenje servisa i remonta u garantnom i van garantnom roku, specijalističku obuku lica za više stepene održavanje i remonta, dokumentaciju (korisnička, servisna, remontna, itd.), pribor, alat (opšte i specijalne namene), rezervne delove i potrošne materijale, metrološko obezbeđenje sredstva NVO sa stanovišta etaloniranja i ostali zahtevi iz domena integralne logističke podrške,

9. zahteve isporučiocu (proizvođaču) u vezi s definisanjem načina povlačenja sredstva NVO iz upotrebe na ekološki prihvatljiv način,

10. zahteve isporučiocu (proizvođaču) u vezi s ispravom (deklaracijom) o usaglašenosti sredstva NVO sa zahtevima kvaliteta iz ugovora, predmetne tehničke specifikacije za nabavku sa tržišta i deklarisanim karakteristikama u tehničkoj dokumentaciji proizvođača,

11. aktivnosti komisije za kvalitativni prijem za ocenu usaglašenosti u toku kvalitativnog prijema sredstva NVO (utvrđivanje ugovorene konfiguracije, potvrđivanje postojanja dokaza o izvršenim ocenjivanjima usaglašenosti prema svim zahtevima kvaliteta, potrebna dodatna ispitivanja i sl.).

Kvalitetna tehnička specifikacija za nabavku proizvoda sa tržišta je preduslov za kvalitetnu narednu fazu procesa opremanja Vojske, a to je ugovaranje nabavke sredstva NVO.

### *Efekti stručne osposobljenosti sadržani u kvalitetu ugovora*

Stručne sposobnosti za sprovođenje kvalitetnog procesa ugovaranja su uzročno-posledično vezane sa sposobnostima za kvalitetnu izradu prethodno navedenih dokumenata (taktičko-tehničkih zahteva, tehničkih propisa, specifikacija i standarda). Dakle, kvalitet ugovora zavisi od stručne osposobljenosti lica koja su definisali zahteve kvaliteta i od obuhvata elemenata koji moraju da se razmatraju pri ugovaranju nabavke sredstva NVO.

Kvalitetan ugovor načelno sadrži sledeće elemente: predmet ugovora, tehničku dokumentaciju, cenu, uslove plaćanja, rok isporuke, konzervaciju, pakovanje, ambalažu i transport, kontrolu kvaliteta sredstava NVO, interna i završna ispitivanja, ugradnju i probni rad, kvalitativni prijem, reklamacije, obuku kadrova, tehničku pomoć, garanciju kvaliteta, ugovornu kaznu, produženje roka, arbitražu, trajnost ugovora, prelazne i završne odredbe i priloge (tehničke specifikacije itd.).

Iz navedenih elemenata ugovora vidi se da je to najvažniji dokument za zaštitu interesa Vojske. To znači da za investiran novac u projekat opremanja vojska treba da dobije upotrebnii kvalitet sredstva NVO na zahtevanom i potrebnom nivou.

Neke od posledica smanjenih sposobnosti u procesu ugovaranja:

– ako predmetom ugovora nije jasno i eksplicitno napisano šta isporučilac treba da isporuči u smislu osnovnog proizvoda sa sastavnim komponentama (komplet alata, pribora, rezervnih delova, merne, remontne, ispitne i kontrolne opreme, dopunske opreme, montažne opreme, potrošni materijali opšte i specijalne namene itd.), po pravilu vojska bude uskraćena za deo sposobnosti, uprkos angažovanim finansijskim sredstvima. Zato su potrebna opšta stručna znanja o projektu opremanja;

– smanjena sposobnost za održavanje i obezbeđenje upotrebnog kvaliteta, ako pored navedene pomoćne opreme, alata i rezervnih delova, vojsci ne bude isporučen primerak konstrukcione dokumentacije kompleta i uputstvo za rukovanje i upotrebu uz svaki komplet. Tehnička uputstva za opis, rukovanje i održavanje neophodna su radi uspešne eksploatacije, osnovnog i tehničkog održavanja, remonta, identifikacije sastavnih elemenata i sagledavanja potrebnih rezervnih delova i potrošnog materijala. Ovaj interes Vojske takođe se štiti stručnom osposobljenošću lica koja definišu zahteve za nabavku sredstva NVO;

– ako pre utvrđivanja cene nije postojala u dovoljnoj meri stručna sposobnost da se razjasne i usaglase svi tehnički i drugi zahtevi i nedvosmisleno definišu svi relevantni elementi sredstva NVO, nabavna cena po nepisanom pravilu prevazilazi nivo realnog upotrebnoeg efekta sredstva NVO. To znači da investicije u stručno osposobljavanje lica u procesu opremanja Vojske imaju direktan efekat na upotrebnii kvalitet sredstava NVO;

– nedostatak objektivnih dokaza da su zahtevi kvaliteta ispunjeni je direktna posledica loše ugovorenih zahteva kvaliteta isporučiocu (proizvođaču) u vezi isprave (deklaracije) o usaglašenosti sredstva NVO sa zahtevima kvaliteta iz ugovora, odnosno zahtevima predmetne tehničke specifikacije za nabavku sa tržišta i deklarisanim karakteristikama u tehničkoj dokumentaciji proizvođača. Kontrola kvaliteta ne poznaje narodnu izreku „igranje karata na poverenje”. Isporučilac (proizvođač) mora biti obavezan da obezbedi sve operacije u proizvodnji, kontroli, pakovanju, skladištenju i otpremi, tako da se isporuka obavi po propisanim uslovima i tehničkoj dokumentaciji. Mora se obavezati služba kvaliteta isporučioaca (proizvođača) da sprovede tehničku kontrolu kvaliteta proizvodnje i nadzor nad sprovođenjem tehnologije i tehnološke discipline. Kontrola kvaliteta mora se sprovoditi od ulaza materijala, preko proizvodnog procesa i montaže do završnih ispitivanja gotovih sredstava NVO. U ovaj deo kontrole ulazi i kontrola mašina, uređaja, alata i pribora koji služi za izradu sredstava NVO. Zbog toga se moraju razvijati i stručne sposobnosti za ocenu i licenciranje proizvođača naoružanja i vojne opreme;

– troškovi verifikacionih ispitivanja često padaju na teret kupca, što nije u skladu sa logikom tržišne privrede. Onaj ko plaća ima pravo i da zahteva, tako da troškove, shodno dobro sačinjenom ugovoru, treba podeliti sa isporučiocem na taj nači što će se on obavezati da sprovede interna ispitivanja, analizira postignute rezultate i oceni kvalitet svog proizvoda. To podrazumeva stručnu sposobnost da se ugovorom regulišu: mesto i vreme predaje sredstava NVO za verifikaciono ispitivanje, troškovi dopreme do mesta ispitivanja, radna snaga, prostorije, poligon, oprema, instrumenti i potrebna materijalna sredstva za verifikaciono ispitivanje.

– direktne posledice po upotrebnii kvalitet sredstva NVO pojaviće se i ako stručna lica u procesu ugovaranja jasno ne definišu zahteve u pogledu: kvalitativnog prijema, montaže i probnog rada, tehničke pomoći, postupaka reklamacije, obuke kadra za eksploataciju, rukovanje i osnovno održavanja, garancije kvaliteta itd.

Može se zaključiti da je nivo kvaliteta ugovorenih elemenata nabavke sredstava NVO mera stručne osposobljenosti lica angažovanih u procesu opremanja Vojske.

## Sposobnost za odlučivanje u procesu opremanja Vojske

Sposobnost za odlučivanje na bazi činjenica, u fazi realizacije projekta opremanja, mora se kontinualno razvijati kao veština i iskustvo. Odlučivanje u procesu opremanja suštinski podrazumeva sposobnosti izbora između najmanje dve ili više mogućnosti kako bi se rešio problem nedostajuće operativne sposobnosti zbog koje je pokrenut projekat opremanja. Tipičan primer problema koji treba da reši donosilac odluke u procesu opremanja Vojske je izbor između četiri alternative obezbeđenja nedostajuće operativne sposobnosti. Dakle, u ovom tipičnom primeru donosilac odluke mora da, na osnovu prikupljenih informacija i evaluacije alternativa, donese odluku o izboru modela opremanja:

- istraživanje, razvoj i proizvodnja,
- nabavka sredstva NVO sa tržišta,
- nabavka usluge iz oblasti NVO sa tržišta ili
- opredeljenje za kombinovani model opremanja.

Dakle, potrebne su sposobnosti koje uključuju višekriterijumsko odlučivanje (definisane i razrade – strukturiranje kriterijuma), procenu relativne važnosti tih kriterijuma, upoređivanje alternativa za svaki kriterijum i utvrđivanje krajnjeg poretka alternativa (Andrejić, Ljubojević, 2009, str.15-27). Pored toga, potrebno je razvijati sposobnosti za analizu dostizanja ciljeva, analizom osetljivosti i analizu „šta ako“.

Sposobnosti za donošenje odluka zasnivaju se na stručnim sposobnostima za prikupljanje, obradu i analizu podataka i informacija. Veoma važna sposobnost odlučivanja u procesu opremanja Vojske je i sposobnost donošenja odluke o odustajanju od projekta opremanja.

Ovaj tip sposobnosti podrazumeva i veštinu primene Delfi metoda (*Delphi method*), kao najrasprostranjenije metode tehnološkog predviđanja. Ovaj metoda koristi prednosti znanja, iskustva i intuicije i na racionalan i sistematičan način sagledava budućnost tehnologije. Cilj je da se postigne konsenzus stavova odabrane grupe eksperata o pojedinim pitanjima vezanim za budućnost.

Veoma značajan je i metod „Analiza troškovi-korist“ (*Cost – Benefit analysis*), kao najčešće korišćen metod pri analizi i oceni investicionih projekata kada se razmatraju svi troškovi i koristi koje donosi realizacija jednog projekta opremanja Vojske. Osnovna ideja *cost – benefit* analiza u procesu opremanja Vojske jeste da se procene i izmere sve društvene koristi i troškovi, i da se, na osnovu upoređenja ukupnih koristi i troškova, oceni valjanost projekta opremanja Vojske.

Značajno je dodati neophodnost razvoja sposobnosti, za primenu „*Balanced scorecard*“ (BSC), kao novog pristupa strategijskom menadž-

mentu u sistemu odbrane. BBC je razvijen na pristupima menadžmenta kvalitetom i uključuje, pored ostalog, ka korisniku definisan kvalitet, kontinualna poboljšanja, uključenost zaposlenih i, primarno, na merenju i na podacima i činjenicama zasnovan menadžment.

Glavne koristi od razvoja ovog tipa stručnih sposobnosti za odlučivanja na osnovu činjenica su: informaciono zasnovane odluke, uvećana sposobnost da se prikaže efikasnost prošlih odluka putem upućivanja na činjenične podatke i uvećana sposobnost da se revidiraju, preispituju i izmene mišljenja i odluke.

## Sposobnost za istraživanje i razvoj

Da bi se razvijao sopstveni model opremanja neophodno je kontinualno obezbeđenje stručnih sposobnosti za istraživanje, razvoj i proizvodnju sredstava NVO. Razvoj stručnih sposobnosti za istraživanje podrazumeva sposobnosti za osnovna, primenjena i razvojna istraživanja (Krsmanović, i dr, 2013, str.97-107).

Sposobnosti za osnovna istraživanja podrazumevaju rezultate na sticanju novih znanja i unapređenja i proširenja granica postojećeg sistema znanja o nekoj predmetnoj oblasti. Efektivnost ovog tipa stručne osposobljenosti meri se kvalitetom suštinskog sadržaja studije u kojoj se objavljuju rezultati ovih istraživanja.

Sposobnosti za primenjena istraživanja podrazumevaju nalaženja rešenja za određene tehničke i tehnološke probleme i treba da omoguće brži i ekonomičniji razvoj sredstava NVO ili iznalaženje optimalnih rešenja za probleme nastale u toku upotrebe i održavanja. Efektivnost ovog tipa stručne osposobljenosti mora da rezultira konkretnim rešenjima (simulacioni model, maketa, itd.) na kojima je moguće izvršiti verifikaciju rezultata istraživanja.

Sposobnosti za razvojna istraživanja podrazumevaju razvoj novih ili usavršavanje postojećih sredstava NVO. Efektivnost ovog tipa stručne osposobljenosti meri se kvalitetom razvojnog projekta (funkcionalni model, tehnološki demonstratori, itd.) na kojima je moguće izvršiti verifikaciju postavljenih početnih zahteva.

Sposobnost za istraživanje i razvoj NVO po izabranom (razvijenom) modelu procenjuje se kvantitativnim izrazom vrednosti verovatnoće da će model funkcionisati i ispunjavati planom predviđene zadatke. Ova veličina se ocenjuje i predstavlja zbir pojedinačnih verovatnoća:

$$P_{sr} = P_{po} + P_{ofs} + P_{eos}$$

gde su:  $P_{sr}$  – ukupna verovatnoća da će model sopstvenog razvoja efikasno da funkcionise,  $P_{po}$  – verovatnoća sigurnosti realizacije zadataka u mere koja je projektom opremanja predviđena,  $P_{ofs}$  – verovatnoća da će

funkcionalne sposobnosti da se održavaju i u potrebnoj meri razvijaju sa organizacionog i tehnološkog stanovišta,  $P_{eos}$  – verovatnoća da će se ispuniti planom predviđeni efekti na operativne sposobnosti Vojske.

Radi smanjenja rizika neuspelih projekata istraživanja moraju se razvijati stručne sposobnosti za *ekspertska ocenjivanja*. Ocena efektivnosti stručne osposobljenosti za osnovna, primenjena i razvojna istraživanja treba da se ogleda u rezultatima ekspertske ocenjivanja. U ovoj fazi procesa opremanja Vojske važna je i primena „*Benchmarking*” procesa upravljanja tehnološkim razvojem, kojim se analiziraju svojstva i karakteristike najboljih sličnih tipova sredstava NVO na svetskom tržištu i sa njima upoređuje naše rešenje, težeći da se približi najboljem.

## Sposobnosti za obezbeđenje kvaliteta

Jedinstven cilj razvoja sposobnosti za obezbeđenje kvaliteta u procesu opremanja Vojske jeste obezbeđenje upotrebnog kvaliteta sredstava NVO na zahtevanom i potrebnom nivou. Zato je neophodno razvijati specijalističke sposobnosti za ostvarenje ovog integralnog cilja kvaliteta.

Važne sposobnosti za obezbeđenje kvaliteta u procesu opremanja Vojske su sposobnosti za definisanje zahteva kvaliteta. Oni se definišu tako da budu merljivi i da se mogu proveriti; moraju biti jasni, kratki i precizni. Isporučilac (proizvođač) mora ugovorom da se obaveže da će ispuniti postavljene zahteve kvaliteta i pružiti objektivne dokaze o ocenjivanju usaglašenosti.

1. Postoje četiri suštinska načina dolaženja do objektivnih dokaza da su zahtevi kvaliteta ispunjeni (Brkljač, Dželetović, 2011, str.151-157):

- ISPITIVANJE kao najpouzdanija varijanta, ali i najskuplja;
- DEMONSTRACIJA od strane proizvođača da su zahtevi kvaliteta ispunjeni;
- INSPEKCIJA od strane kupca kod proizvođača (procesa proizvodnje, materijala, sastavnih delova i gotovog proizvoda) i
- ANALIZA koja se koristi kada nije moguće primeniti neku prethodnu metodu, jer je najmanje pouzdana, a jeftinija je od drugih.

Ocenjivanje usaglašenosti treba da ukaže na saglasnost ostvarenih karakteristika sredstva NVO sa specificiranim zahtevima za to sredstvo u pogledu njegovog kvaliteta, bezbednosti, pouzdanosti, kompatibilnosti, efikasnosti, uticaja na životnu sredinu i drugih karakteristika. Svrha ocenjivanja usaglašenosti sredstava jeste da korisnika i druge zainteresovane strane steknu poverenje u to da će njihovi zahtevi za sredstvo biti ispunjeni. Kako bi se postigla ova svrha, važno je da postupke ocenjivanja usaglašenosti prihvate sve zainteresovane strane, a

rezultati budu pouzdani i primenljivi bez daljih teškoća. Ovaj cilj postiže se stručnim osposobljavanjem za primenu međunarodnih standarda kojima se specificiraju zahtevi za različite vrste sredstava i postupci utvrđivanja karakteristika prema tim zahtevima, kao i primenom standarda kojima se utvrđuju zahtevi za rad i dokazivanje kompetentnosti tela za ocenjivanje usaglašenosti. Međunarodni standardi serije ISO/IEC 17000 utvrđuju opšte zahteve u pogledu funkcionalnog pristupa ocenjivanju usaglašenosti i opšte zahteve za različita vrste tela za ocenjivanje usaglašenosti.

Stručne sposobnosti za potvrđivanje kvaliteta kroz ocenjivanje usaglašenosti neophodne su tokom ukupnog životnog veka sredstva NVO i to u toku razvoja, usavršavanja, serijske proizvodnje, remonta, za vreme skladištenja, za vreme eksploatacije – upotrebe za potrebe produžetka veka upotrebe, uništavanja ili recikliranja. Ocenjivanje usaglašenosti sredstava je složen proces koji se izvodi po propisanim metodama, standardima, postupcima i kriterijumima u kompetentnim organizacijama i sastoji se od ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije.

Ocenjivanje usaglašenosti, metrologija, standardizacija i akreditacija čine osnove nacionalne infrastrukture kvaliteta u svim državama.

Koncept obezbeđenja kvaliteta u NATO državama predviđa da snabdevač primenjuje sistem menadžmenta kvalitetom, tako da postigne traženi kvalitet. NATO politiku i zahteve obezbeđenja kvaliteta definisao je komitet AS/250, a objavljeni su u standardu STANAG 4107. Time se članice saveza obavezuju da, po zahtevu, utvrde da kvalitet sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO) odgovara zahtevima ugovora sa drugom članicom i da uključe u ugovore odgovarajuće zahteve za obezbeđenje kvaliteta. Ovi zahtevi definisani su u seriji dokumenata koji nose oznaku AQAP, a njihova najnovija izdanja zasnovana su na seriji standarda ISO 9000. Ovu politiku kvaliteta prihvatila je i NAMS (centralizovana NATO agencija za održavanje i snabdevanje), preuzimajući sve odgovornosti za kvalitet u procesima nabavke sredstava NVO. Da bi to obezbedile, države članice NATO-a su pri ministarstvima odbrane formirale državna tela nadležna za obezbeđenje kvaliteta pri realizaciji ugovora između članica NATO-a (NATO, 2014).

Očigledna je da je tendencija prihvatanja sistema akreditacije, primenjena u EU i u NATO članicama istovremeno sa principom rušenja prepreka u međusobnom poslovanju i protoku roba i usluga. Uspostavljanje jedinstvene standardizacije i korišćenje iskustva EU sa primenom koncepta novog i globalnog pristupa na jedinstvenom tržištu, predstavljaće osnovno sredstvo za smanjenje troškova i promociju globalne konkurencije vojne opreme i naoružanja članica NATO-a (NATO, 2014).

U procesima opremanja oružanih snaga država NATO-a i EU uočljivo je da gotovo sve ustanove koje se bave ocenjivanjem usaglašenosti



imaju naučnoistraživački karakter, a svoju kompetentnost potvrđuju i preko akreditacije ispitnih i metroloških laboratorija i akreditacije sertifikacionih i kontrolnih tela. To je delom posledica zahteva procesa opremanja Vojske, a takođe i zahteva tržišta za čije potrebe rade uglavnom sve navedene ustanove.

U procesu prilagođavanja naše privrede za poslovanje na tržištu Evropske unije, gde se traži poštovanje direktiva donetih na osnovu novog i globalnog pristupa, bilo je neophodno sprovesti izmene u organizaciji domaće infrastrukture kvaliteta. Tako su kod nas doneta četiri nova zakona: Zakon o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti, Zakon o akreditaciji, Zakon o standardizaciji i Zakon o metrologiji, koji su usklađeni sa evropskim principima. U skladu sa ovim trendom, izvršena je revizija i našeg vojnog standarda SORS 9000, čije je treće izdanje iz 2005. godine izrađeno na osnovu standarda SRPS ISO 9001 i dokumenta AQP 2110 (NATO, 2014).

U narednom periodu Vojska Srbije treba da izvrši reorganizaciju infrastrukture kvaliteta izradom i inoviranjem niza pravilnika i drugih propisa u skladu sa novim zakonima i međunarodnim standardima kvaliteta, posebno usvajanjem propisa kvaliteta koji se primenjuju u NATO dokumentima AQAP i NATO standardu STANAG 4107 za tela koja ocenjuju kvalitet i STANAG 3150 za nomenklaturu proizvoda.

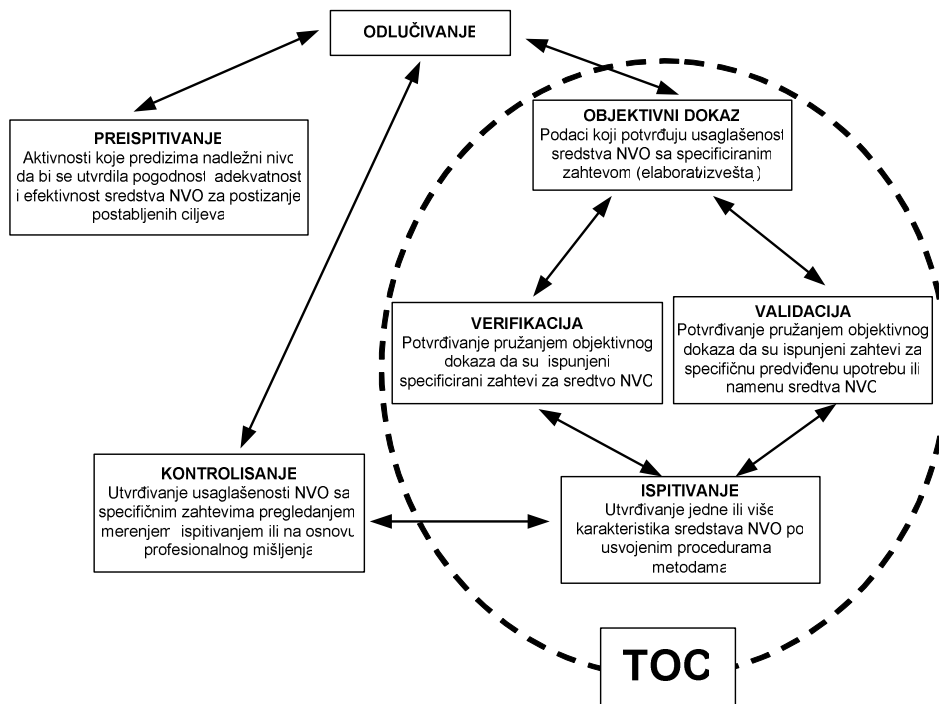
Ocenjivanje usaglašenosti sredstava NVO u Republici Srbiji vrši se prema Pravilniku o opremanju Vojske Jugoslavije naoružanjem i vojnom opremom u miru (SVL br. 25/96), Pravilniku o utvrđivanju usaglašenosti u oblasti proizvodnje naoružanja i vojne opreme (SVL br. 20/98), kao i prema nizu drugih pravilnika i uputstava.

Efektivnost stručne osposobljenosti ogleda se u rezultatima ispitivanja, kvalitetu njihove analize i vrednovanja.

1. Kompetentnost lica koja su sprovodila ispitivanja ogleda se u elaboratu gde jasno iskazuju svoj predlog u pogledu usvajanja sredstva u naoružanje Vojske. Predlog može biti (Brkljač, Dželetović, 2011, str.151-157):

- da se sredstvo usvoji u naoružanje;
- da se sredstvo vrati na doradu i ponovi deo ispitivanja ili
- da se sredstvo odbije, sa alternativom da se ponovi razvoj sredstva ili da se potpuno obustavi dalji razvoj.

Slika 1 ilustruje termine od značaja za proces ocenjivanja usaglašenosti sredstava NVO sa utvrđenim zahtevima, a radi odlučivanja na bazi objektivnih dokaza da je sredstvo NVO adekvatno za predviđenu upotrebu ili namenu u Vojsci Srbije (Brkljač, Dželetović, 2011, str.151-157).



Slika 1 – Uloga ocenjivanja usaglašenosti u procesu donošenja odluke za usvajanje sredstva NVO u Vojsku Srbije  
 Figure 1 – Role of compliance assessment in the process of decision making for the adoption of armament and military equipment into the Serbian Army  
 Рис. 1 – Роль оценки соответствия в процессе принятия решений при выборе средств вооружения и военной техники Вооруженных Сил Республики Сербия

Savremeni svetski trendovi u oblasti razvoja i ispitivanja sredstava NVO, koji će neminovno postati karakteristični i za proces opremanja Vojske Srbije, odlikuju se suštinskim promenama u pet osnovnih elemenata: manji troškova ispitivanja, veća složenost sistema, veći značaj softvera, veća prisutnost usavršavanja postojećih sistema i veći interes (zahtevi) u pogledu pouzdanosti, raspoloživosti i pogodnosti za upotrebu i održavanje sredstava NVO.

Da bi uspešno odgovorio svojim namenskim zadacima, Tehnički opitni centar (TOC) mora da ostane nezavisna i nepristrasna naučnoistraživačka ustanova, specijalizovana i kompetentna za ispitivanje i ocenjivanje kvaliteta sredstava NVO, sposobna da svojim nalazima, ocenama i predlozima pruži stručnu pomoć taktičkim nosiocima pri odlučivanju o opremanju Vojske.

Svoju kompetentnost tela za ocenjivanje usaglašenosti (TOC, VKK....) moraju stalno da potvrđuju akreditacijom ispitnih i metroloških kapaciteta prema zahtevima međunarodnih standarda.

## Sposobnost za održavanje upotrebno-kvaliteta

Stručne sposobnosti za povećanje raspoloživosti popravljivih sredstava NVO dobijaju na značaju sa tehnološkim razvojem i činjenicom da kod velike većine korisnika sredstva NVO ne smeju dugo biti u otkazu (kvar i sl.). Postići visoku ili čak savršenu raspoloživost sredstava NVO je važan i strateški i taktički problem, a, s druge strane, svako povećanje raspoloživosti košta. Jasno je da u ovoj oblasti ima smisla postavljati raznovrsne optimizacione zadatke.

Savremeni sistemi održavanja upotrebno-kvaliteta sredstava NVO na prihvatljivom nivou raspoloživosti i snabdevanja rezervnim delovima moraju se hijerarhijski organizovati sa ciljem da obuhvate geografski distribuirana sredstva NVO i da se povede računa o tehnologiji održavanja i stručnosti lica za ovu funkciju.

Nosioci ove funkcije u stručnom pogledu moraju razvijati sposobnosti za razvoj hijerarhijskog sistema održavanja i snabdevanja i korišćenja statističkog modeliranja u određivanju optimalnih količina rezervnih delova za popravljive ili delimično popravljive sisteme.

Pored sposobnosti za utvrđivanje stanja složenih sredstava NVO u odnosu na okolinu tokom eksploatacije i održavanja, važno je razvijati i sposobnosti za definisanje unutrašnjih stanja pojedinih komponenti (elementa sistema).

Efektivnost stručne osposobljenosti za održavanje upotrebno-kvaliteta sredstava NVO ogleda se u intervalima kao što su: vreme bezotkaznog rada, vreme funkcionisanja, vreme spremnosti za funkcionisanje, operativno vreme, vreme zastoja, vreme održavanja, vreme aktivne popravke, logističko vreme, administrativno vreme, itd..

Upotrebni kvalitet sredstava NVO je u velikoj meri zasnovan na pouzdanosti ljudskog faktora u smislu odgovornosti kao operatera (korisnika – subjekta koji upotrebljava sredstvo i nosioca osnovnog održavanja) i nosioca logističke funkcije održavanja. Uvedeni su principi ljudskog ponašanja u odnosu na tehnička sredstva kako bi se objasnilo kako nastaju greške koje prouzrokuje čovek i kako se postiže da tih grešaka bude što manje (*Standard IEC 300-3-8*). U standardu se daju pregledne klasifikacije tehnika za kvalitativnu i kvantitativnu procenu i poboljšanje ljudske pouzdanosti. Ovaj standard nema nameru da obezbedi inženjerima mogućnost da razreše sve uzroke – probleme čoveka, već više da uputi da se ti problemi uoče – prepoznaju, kako bi se mogle uključiti tehnike prevencije i obezbediti veće prisustvo ostalih specijalista.

Razvijene su različite kvantitativne metode za ocenu pouzdanosti ljudskog faktora, prilagođene vrsti problema koji se analizira, odnosno posmatranom tehničkom sistemu. To su (Ilić, i dr, 1998, str.133-150):

– Metoda **APJ** (Absolute Probability Judgement – apsolutna mogućnost ocenjivanja), koju koriste eksperti da bi direktno ocenili mogućnost ljudskih grešaka. Ocena mogućnosti ljudskih grešaka može se pojavljivati u različitim formama, a može je dati kvalifikovani ocenjivač, ili grupa pojedinaca koji rade zajedno i čije se ocene mogu matematički sabirati. Eksperti prvo moraju detaljno znati oblast koju počinju ocenjivati. Drugi zahtev je da eksperti moraju imati normative ekspertize, tj. da treba da budu upoznati sa osnovnim mogućnostima proračuna ocene ljudskih grešaka;

– Metoda **PCT** (Paired Comparison Tehnique – tehnika poređenja po parovima), kao i APJ, koju koriste eksperti za definisanje prioriteta između mogućih ljudskih grešaka. Međutim, metoda **PCT** upućuje eksperte da daju vrlo jednostavnu ocenu. Svaki ekspert individualno poredi par opisanih grešaka i odlučuje koja greška je verovatnija za N aktivnosti. Kada se poređenja različitih eksperata uporede, može se stvoriti relativna skala ili skala verovatnoće grešaka;

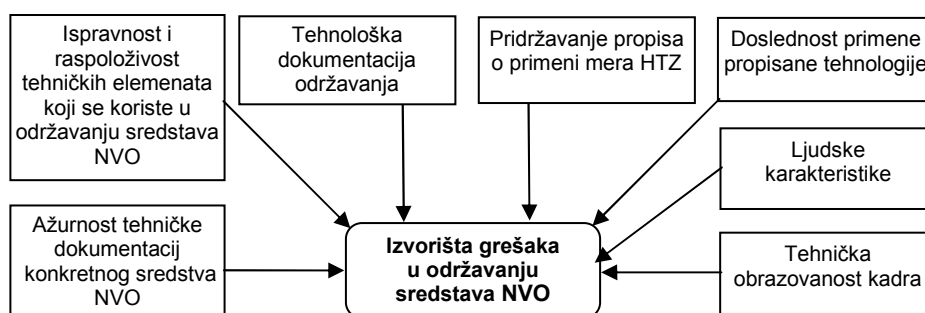
– Metoda **TESEO** (Tecnica Empiric Simulacion Errors Operators – tehnika empirija simulacija greške operatora), koja je razvijena radi ocene pouzdanosti ljudskog faktora u procesnoj industriji. Ona određuje karakteristike čoveka koje se zasnivaju na određenom broju uzročnih faktora određenih karakteristika (tj. vreme, tip aktivnosti, nivo ergonometričnosti, itd.). Model je suviše obiman i zbog svoje neefikasnosti se više ne koristi. U Evropi je zamenjen HRA (Human Risk Assessment) tehnikom.

– Metoda **HEART** (Human Error Assessment and Reduction Technique – ocena ljudskih grešaka i tehnika redukcije), koja je relativno brza tehnika za korišćenje. Zasniva se na uvidu u eksperimentalnu evidenciju različitih parametara koji utiču na ljudske karakteristike. Ova metoda koristi definisani skup opštih mogućnosti grešaka za različite tipove zadataka. To je, ujedno, i početna tačka za HEART kvantifikaciju. Zatim se moguće ljudske greške, tj. verovatnoća njihove pojave, množi sa koeficijentom EPC (Error-producing condition) uslova nastanka greške. Metoda HEART omogućuje da se prepozna EPC koji dominira i koji doprinosi nastajanju ljudske greške. Takođe, ona sadrži skup praktičnih preporuka za smanjenje ljudskih grešaka koje se mogu primeniti u sistemu.

– Metoda **SLIM-MAUD** (Success Likelihood Index Method Using Multi-Attribute Utility Decomposition), koja je potekla iz teorije odlučivanja, a koristi se za određivanje indeksa verovatnoće uspeha korišćenjem multiatributivne dekompozicije. Prilagođena je za računarsku obradu podataka, a u njoj se rangiraju moguće ljudske greške prema težini, i određuju uzročno-posledične greške, odnosno uticaj jednih na druge. Zatim se metodama višekriterijumskog odlučivanja bira ljudska greška na koju se može uticati tako da se postigne najveći uspeh u povećanju pouzdanosti ljudskog faktora, a da to ne prevazilazi, po ekonomskim pokazateljima, isplativost poduhvata.

Pre svega, potrebno je da stručna lica klasifikuju greške koje ljudski faktor direktno prouzrokuje tokom sprovođenja akcije održavanja, prema njihovim uticajima na: bezbednost ljudstva (korisnika i vršioca održavanja), bezbednost sredstva NVO koje se održava i tehnoloških elemenata koji se koriste u održavanju.

Na slici 2 prikazan je pregled mogućih grešaka u održavanju sredstava NVO (Ilić, i dr, 1998, str.133-150):



Slika 2 – Izvorišta mogućih grešaka u održavanju sredstava NVO  
 Figure 2 – Sources of possible errors in maintaining armament and military equipment  
 Рис. 2 – Точки возможных ошибок при содержании средств СВО

Stručna osposobljenost u aktivnostima održavanja obezbeđuje detaljno sagledavanje svih mogućih izvorišta grešaka i preduzimanje mera za smanjenje grešaka indirektnim ili direktnim uticajem čoveka. Ovaj tip stručnih sposobnosti obezbeđuje da se izbegne nekompletnost ili neadekvatnosti propisane tehnologije održavanja sredstava NVO, neažurnost tehničke dokumentacije, neispravnost i neraspoloživost tehnoloških elemenata održavanja (alat i merna oprema), kao i raspoloživost HTZ opreme prema strukturi i profilu radne snage.

## Obezbeđenje stručnih sposobnosti za proces opremanja Vojske

Radi dostizanja cilja – kontinualnog razvoja stručnih sposobnosti u procesu opremanja Vojske neophodno je, na načelima i logici sistemskog pristupa, razviti odgovarajući koncept (Andrejić, i dr, 2010, str.37-62) i program osposobljavanja kadra, pre svega u Vojnoj akademiji kao ustanovi koja se bavi visokim obrazovanjem i naučnoistraživačkim radom.

S obzirom na postojeće načine obuke, školovanja i usavršavanja, može se zaključiti da se na svim nivoima i oblicima mogu „ugraditi” određeni sadržaji stručnog osposobljavanja vezanog za proces opremanja Vojske (Andrejić, Sokolović, 2009, str.32-53):

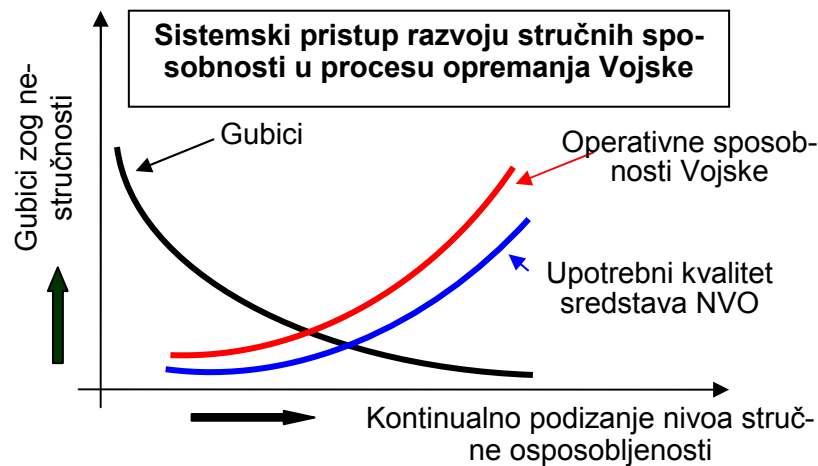
- kod vojnika na obuci u centrima za obuku (teritorijalni);
- kod vojnika i podoficira na obuci u specijalističkim centrima za obuku;
- kod vojnika, podoficira i oficira na obuci u matičnim jedinicama (ustanovama);
  - na osnovnom komandno-štabnom kursu;
  - na komandno-štabnom kursu;
  - na generalštabnom kursu;
  - na kursu četvrtog nivoa usavršavanja u Vojnoj akademiji (Visoke studije bezbednosti i odbrane);<sup>2</sup>
  - na osnovnim akademskim studijama, master i specijalističkim akademskim studijama i na doktorskim studijama);
  - na specijalističkim kursovima vezanim za organizaciju i kursovima vezanim za tehnička sredstva.

Pored stručnog osposobljavanja za proces opremanja Vojske na navedenim oblicima obučavanja, školovanja i usavršavanja, treba da se organizuju i povremeni kratki kursevi u trajanju od 5 radnih dana, seminari i prigodna predavanja. Dobro bi bilo uvesti i princip sertifikacije lica za pojedine stručno-specijalističke poslove u procesu opremanja Vojske (primer: za rukovodioce projekata opremanja, za nosioce aktivnosti ugovaranja i sl.).

S obzirom na starosnu strukturu stručnog kadra u procesu opremanja Vojske neophodno je doneti odluke i preduzeti akcije usmerene na stvaranje kadra za oblast opremanja. Takođe, neophodno je (uz potrebno kadrovsko ojačanje Katedre logistike i osloncem na spoljne saradnike) pojačati obim sadržaja koji se iz oblasti opremanja trenutno izučavaju u okviru studijskih programa u Vojnoj akademiji.

Sistemski pristup razvoju stručnih sposobnosti u procesu opremanja Vojske jedini je garant zaštite interesa kupca i krajnjeg korisnika naoružanja i vojne opreme.

<sup>2</sup> Kurs bi pohađali oficiri visokog ranga, generali i vojni službenici koji se pripremaju za obavljanje dužnosti u procesu opremanja VojskeVojske sredstvima naoružanja i vojne opreme.



Slika 3. Obezbeđenje interesa kupca i krajnjeg korisnika sredstava NVO  
 Figure 3 – Protecting the interest of buyers and end-users of armament and military equipment  
 Рис. 3 – Удовлетворение интересов покупателя и конечного потребителя средств СВО

Grafička ilustracija sa slike 3. ukazuje na značaj kontinualnog podizanja nivoa stručnih sposobnosti u procesu opremanja Vojske, a radi maksimizacije njenih operativnih sposobnosti.

## Zaključak

U početnoj fazi procesa opremanja dominantni su zahtevi stručnih sposobnosti taktičke prirode, u srednjoj fazi stručne sposobnosti tehničke prirode i na kraju procesa sposobnosti tehničko-taktičke prirode.

Identifikovane potrebne sposobnosti u procesu opremanja Vojske treba da posluže nosiocima opremanja, obrazovanja, naučnoistraživačke delatnosti i obuke u sistemu odbrane, a posebno nastavnicima Vojne akademije i drugih visokoobrazovnih ustanova za veće usmeravanje napora i rada ka opremanju Vojske sredstvima NVO (više sadržaja, više seminara, završnih radova, tematskih skupova i sl.).

Kriterijumi za selekciju o tome da li neko stručno usavršavanje treba da se finansijski podrži ili ne, upravo treba da bude orijentacija usavršavanja ka obezbeđenju strateških ciljeva i interesa sistema odbrane. Mera obučenosti u procesu opremanja Vojske upravo je nivo zaštite interesa kupca i krajnjeg korisnika sredstva NVO.

Razvoj i kontinualno obezbeđenje navedenih stručnih sposobnosti, pre svega u Vojnoj akademiji, u direktnoj je funkciji dostizanja željenog nivoa operativnih sposobnosti Vojske.

Složenost procesa opremanja, značaj opremanja za izgradnju sposobnosti Vojske i znanja potrebna za uspešno bavljenje ovim poslovima i izvršavanje zadatka iz ove oblasti, ukazuju na to da je neophodno, kao pravac u reformi visokog obrazovanja u Vojnoj akademiji i školovanja oficira za borbu i borbenu podršku, na osnovnim akademskim studijama izabrati put koji ih uvodi u oblast tehničko-tehnoloških nauka, jer je to potreba prakse, zahtev vremena i savremeni trend.

### Literatura

Andrejić, M., Čabarkapa, O., 2012, Timski rad u vojnim organizacionim sistemima, Medija centar „Obrana”, Beograd.

Andrejić, M., Ljubojević, S., 2009, Operaciona istraživanja u funkciji podrške odlučivanju u sistemu odbrane, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 57(3), str.15-27, doi:10.5937/vojtehg0903015A.

Andrejić, M., Milenkov, M., Sokolović, V., 2010, Koncept razvoja službi logistike, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 58(4), str.37-62, doi:10.5937/vojtehg1004037A.

Andrejić, M., Sokolović, V., 2009, Integralna logistička podrška sredstava naoružanja i vojne opreme, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 57(1), str.32-53., doi:10.5937/vojtehg0901032A.

Brkljač, N., Dželetović S., 2011, Funkcionalni pristup ocenjivanju usaglašenosti u Tehničkom opitnom centru, U: Zbornik naučno-stručnog skupa „Politehnika 2011”, str.151-157.

Grupa autora, 2012, Nacrt pravilnika o opremanju Vojske Srbije sredstvima NVO.

Ilić, S., Todorović, J., Stanojević, P., 1998, Pouzdanost ljudskog faktora u održavanju tehničkih sredstava, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 46(2), str.133-150.

Krsmanović, Z., Brkljač, N., Talijan, M., 2013, Indikatori performansi koji obezbeđuju kvalitet istraživačkog procesa u vojnim naukama, Vojno delo, 65(3), str.97-107.

NATO. The NATO Policy for Quality and its Assurance, [Internet], Dostupno na: <http://www.nato.int/structur/AC/250/html/english/policyenglish.htm>. Preuzeto: 2014. godine.

Zrnić, B., 2008, The new trends in defence planning and their impact on the defence planning systems in transitional countries, Vojno delo, 60(1), str.25-47.

---

### НЕОБХОДИМЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КАЧЕСТВА В ПРОЦЕССЕ ВОЕННОГО СНАБЖЕНИЯ ВООРУЖЕНИЕМ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКОЙ.

ОБЛАСТЬ: логистика  
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

#### Резюме:

*В статье представлены результаты анализа необходимых качеств сотрудников (знаний и способностей), влияющих на процесс военного снабжения. Анализ необходимых профессиональных качеств, навыков и способностей основан на правилах защиты интересов покупателя и конечного потребителя приобретенных*



*средств вооружения и военной техники. Квассификация способностей распределена с учетом ключевых мероприятий процесса, включая такие пункты процесса снабжения, как: планировка, программирование, определение тактико-технических требований, заключение договоров, исследование, развитие, испытания и анализ, производство, снабжение, потребление, содержание и сервис, списывание изношенного оборудования. Профессиональные способности описаны двумя способами: 1. Конкретное описание необходимых способностей, и*

*2. Описание ожидаемых результатов профессиональной деятельности сотрудников системы военного снабжения.*

Ключевые слова: *качество, процесс, способности, знание, требования, потребительское качество вооружения и военной техники.*

---

## PROFESSIONAL CAPABILITIES NEEDED IN THE PROCESS OF EQUIPPING THE ARMY WITH ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT

FIELD: Logistics  
ARTICLE TYPE: review article  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary

*This paper presents the results of the research into necessary capabilities (knowledge and skills) in the process of equipping the army. The necessary professional capabilities have been analyzed from the viewpoint of protecting the interests of customers and end-users of armament and military equipment. The capabilities are grouped according to the key activities of the process and analyzed through the following activities: planning and programming, defining tactical and technical requirements, contract making, research, development, testing, production, procurement, operational use, support and end of service life of armament and military equipment. The capabilities have been described in two ways, through a detailed description of a necessary capability, or through a description of the effect required from qualified personnel engaged in the process of equipping the army.*

Key words: *quality; process; capability; knowledge; requirements; operational quality of armament and military equipment.*

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 26. 03. 2014.  
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 11. 05. 2015.  
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 13. 05. 2015.

## CHARACTERISTICS OF APS AND VPS PLASMA SPRAY PROCESSES

Mihajlo R. Mrdak  
Research and Development Center IMTEL,  
Communications a.d., Belgrade  
e-mail: miki@imtelkom.ac.rs

DOI: 10.5937/vojtehg63-7064

FIELD: Chemical Technology  
ARTICLE TYPE: Professional Paper  
ARTICLE LANGUAGE: English

### Summary:

*Plasma is an electrically conductive gas containing ions, electrons and neutral molecules. This state of matter is created by an electrical discharge and can be maintained at steady state by introducing alternating or direct current. The paper describes the structure of plasma, the thermodynamic characteristics and a method of creating plasma that allow the application of plasma as a source of energy for plasma spray processes. In general, all existing materials in a form of powder may be deposited by plasma coating on the surfaces of various materials. At high temperatures, powder material particles are introduced into a conductive plasma gas, melting and accelerating to the substrate to form coatings. The wide use of plasma spray coatings in all industrial areas is of particular importance, because different combinations of surface layers can significantly increase the resistance of machine parts to: wear, abrasion, erosion, cavitation, corrosion and fatigue resistance at low and elevated temperatures with increased resource and reliability of the parts in service.*

Key words: *resistivity, powders, plasma gas, conductivity, coatings.*

---

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

## Introduction

Plasma is an electrically conductive gas consisting of ions, electrons and neutral molecules. The state and structure of plasma have been studied for years by physicists and chemists, while engineers have used plasma in applications ranging from neon lights to thermonuclear fusion. Thermal plasmas are increasingly used for the dissociation of raw materials such as carbonates, oxides, sulfides, and various polymetallic ores (Dembovsky, 1985). Remelting alloys by plasma with high melting temperatures and plasma treatment using pure argon or helium gas have proven to be useful in metal industry. As Dembovsky pointed out, plasma is possible to be used for blending a vast range of materials at pressures between  $10^2$  and  $10^7$  Pa (Dembovsky, 1985). Spraying plasma is gaseous plasma and can be considered as equilibrium or thermal plasma. The development of the plasma spray process is a result of the attempt to increase the temperature level above that of an oxy-acetylene flame. The main reason for switching from conventional methods of deposition to plasma jet deposition is to increase the temperature level and to control the jet atmosphere. The plasma jet allows the selection of inert or non-reactive gases for the medium so that the chemical reaction of oxidation can be controlled during powder deposition. Temperatures which can be obtained with commercial plasma equipment are above melting and evaporation temperatures of developed materials. Thermal plasma or plasma spraying is a technological process that takes place at atmospheric pressure (APS) or at low pressure (VPS or LPPS). Plasma spray processes have found wide applications in all industrial areas, as described in the published works of authors (Mrdak, et al., 2013, pp.559-567), (Mrdak, 2013, pp.68-88), (Mrdak, 2013, pp.26-47), (Vencl, et al., 2009, pp.398-405), (Vencl, et al., 2011, pp.1281-1288). Different combinations of surface layers significantly increase the resistance of the working parts to: wear, abrasion, erosion, cavitation, corrosion and fatigue resistance at low and elevated temperatures. An important place among the twenty-first century technologies that will be intensively developed is occupied by plasma spray processes owing to the development of nano materials that form the basis for the development of many technologies. Plasma spraying is one of the surface treatment technologies and, with other technological processes, it forms an area known as surface engineering. Today, plasma spray is used in mass production as well as in the laboratory studies of new nano materials for future technologies (Herman, 1988, pp.13-21).

The aim of this study was to describe the structure of plasma, its thermodynamic properties and the way it is created, which enables it to be used as an energy source for plasma spray processes (APS and

VPS), in order to protect the surface of the base material from wear, abrasion, erosion, cavitation, corrosion and fatigue resistance at low and elevated temperatures with increased resource and reliability of the parts in service.

## The structure of plasma and its thermodynamic characteristics

In order to understand the plasma spraying process, first of all it is necessary to know the structure of plasma. Scientists used the name 'plasma' to describe vapor materials raised to a higher energy level. Heated gases follow the classical laws of physics and thermodynamics. However, plasma does not follow the classical laws of physics and, therefore, it is considered the fourth physical state of matter. In order to explain plasma, we must clarify the state changes occurring in atoms and molecules. Figure 1 illustrates a neutral atom He. This atom has a nucleus with two electric charges and is neutral when it is in an excited state. Electrons circle around the nucleus. Each electron has the electric charge -1. If enough energy is introduced into the atom, it will arouse the atom and at least one electron will be out of its orbit as shown in Figure 1. The amount of energy required to remove an electron from its orbit is called ionization energy.

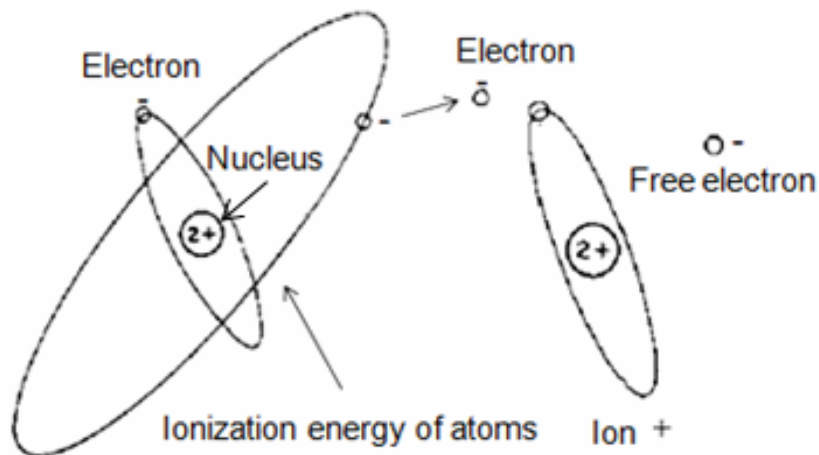


Figure 1 – A neutral atom of helium and an ionized helium atom  
Slika 1 – Neutralan atom helijuma i jonizovan atom helijuma  
Рис. 1 – Нейтральный атом гелия и ионизированный атом гелия

Excited atoms result in two particles. One of the particles is an ionized atom, and the other particle is a free electron. The ionized atom has the electric charge +1, and the free electron has the electric charge -1. A molecule which is a fusion of two or more neutral atoms can be considered as one particle. Figure 2 shows the different types of particles. To the left, two atoms bonded together in a molecule are shown. These molecules are gases such as  $N_2$  and  $H_2$ , formed of two atoms and therefore referred to as diatomic gases. To the right, there is an atom representing gases such as Ar or He that are called monatomic gases. It also represents one atom of a dissociated molecule of nitrogen or hydrogen. The labels for the ion and the electron are shown on the right-hand side of the figure. Figure 3 shows four molecules which represent a diatomic gas. If enough energy is introduced, molecules break down into atoms as indicated by the arrows. Ignoring the arrows, Figure 4 shows the separated atoms which may present a monatomic gas such as Ar or He or a dissociated diatomic gas  $N_2$  or  $H_2$ , as previously discussed.

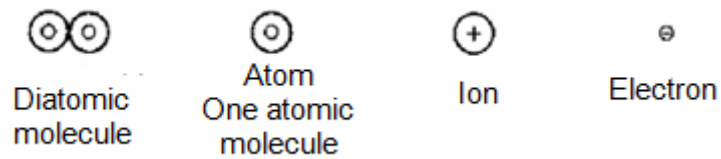


Figure 2 – Molecules and atoms of plasma gases  
 Slika 2 – Molekuli i atomi plazma gasova  
 Рис. 2 – Молекулы и атомы в плазменном газе

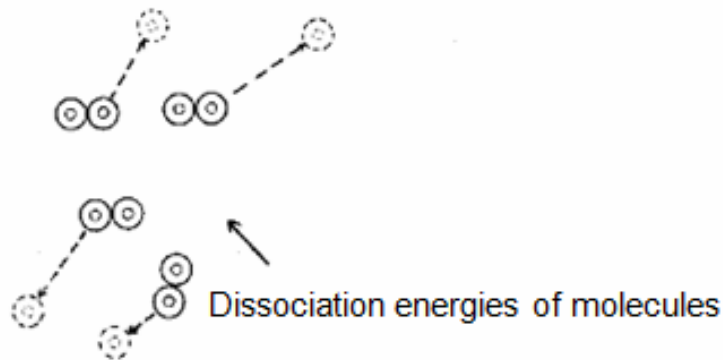


Figure 3 – Dissociation of diatomic gases  
 Slika 3 – Disocijacija dvoatomskih gasova  
 Рис. 3 – Диссоциация двухатомных газов

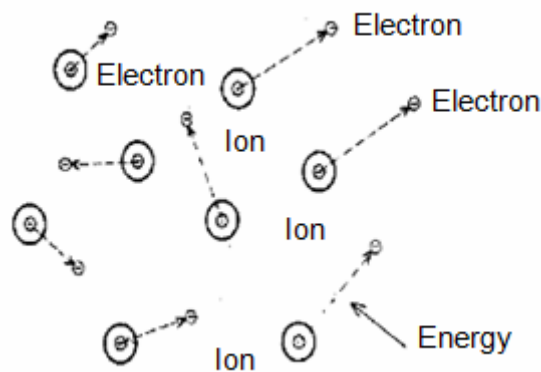


Figure 4 – Ionization of atoms obtained by the dissociation of a gas  
 Slika 4 – Jonizacija atoma dobijenih disocijacijom gasa  
 Рис. 4 – Ионизация атомов, образованная при диссоциации газа

By further introducing the energy into atoms, at least one electron from each atom is moves out of its orbit, as shown by arrows. If all the electrons leave their atoms, complete ionization is achieved - the state of stars with a temperature close to 100 million °C. In the plasma spray process, partial ionization is obtained and the operating temperatures up to 30,000 °C. It should be noted that plasma is electroneutral as a whole, since it has the same number of positive and negative electric charges. The advantage of plasma over ordinary gases is that it has a higher temperature and better heat transfer. Figure 5 shows the dependence of the enthalpy on the plasma temperature for different gas types at the atmospheric pressure (Gajić, et al., 1996, pp.448-451). For  $N_2$ , the gas curve has a very gentle slope. In this part of the diagram, the temperature is changing rapidly with the amount of heat input. When it reaches the level of dissociation, the line moves vertically showing great energy absorption with a slight change in temperature. This is the dissociation area where the  $N_2$  molecule breaks down into atoms. With the further heating of a now atomic gas, the curve flattens out, but soon begins to climb when the ionization zone is reached. It is important to notice that diatomic gases, as a rule, have more similar curve slopes than monatomic gases. Therefore, from the standpoint of enthalpy changes, diatomic gases are superior to monatomic gases. Plasma has high electrical conductivity which is connected to very high temperatures. The electrical conductivity of plasma is to a large extent conditioned by the degree of ionization, i.e. by electron mobility, which is about 100 times higher than that of ions. Ionization can be partial or multistage. The energy of gas ionization is from 10 to 50eV, and that of dissociation is from 4 to 10eV.

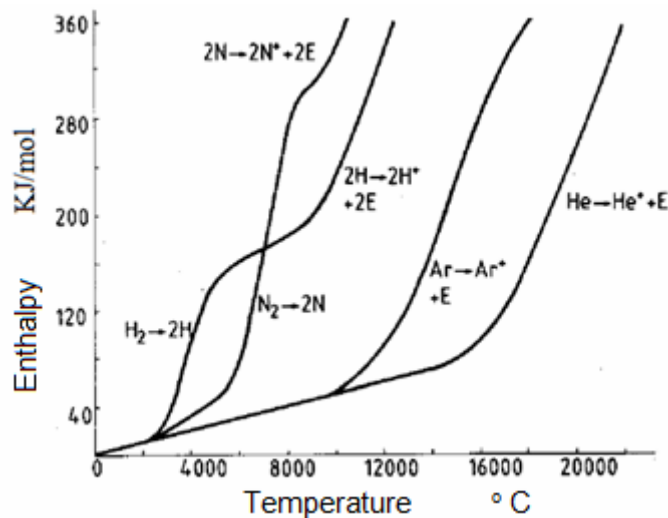
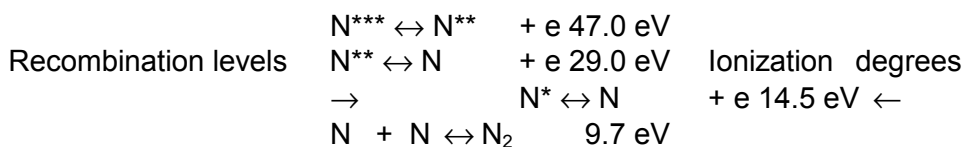


Figure 5 – Dependence of the enthalpy on the temperature of plasma gases (Gajić, et al., 1996, pp.448-451)

Slika 5 – Zavisnost entalpije od temperature plazma gasova (Gajić, et al., 1996, pp.448-451)

Рис. 5 – Зависимость энтальпии от температуры плазменных газов (Гаич и др., 1996, стр.448-451)

Gas dissociation and ionization occur during a certain period of time and the energies of ionization and dissociation recombine as shown for the N<sub>2</sub> gas.



For monatomic gases, there is no dissociation or recombination, which, for diatomic gases, take place at lower temperatures. Because of this, for the same power supply, the Ar and He plasma jets are shorter than the N<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> plasma jets. Thermal conductivities of plasma jets are complex functions and they have different values at different temperatures. Table 1 shows the comparative values of the specific heat and the thermal conductivity of individual gases. The shown values of the specific heat and the thermal conductivity of gases are proven at a temperature of 20 C° and a pressure of 1013 mbar (Teaching plasma spraying, Introducing plasma spray techniques, Plasma - Technik 5610, Wohlen, Switzerland).

Table 1 – Values of the specific heat and the thermal conductivity of individual gases  
 Tabela 1 – Vrednosti specifične toplote i toplotne provodljivosti za pojedine gasove  
 Таблица 1 – Значения теплоемкости и теплопроводности некоторых газов

Gas	Specific heat (J/kg K)	Thermal conductivity (W/(m K))
Argon	0.122	$14.9 \times 10^{-3}$
Helium	1.26	$1130.0 \times 10^{-3}$
Air	0.24	$22.1 \times 10^{-3}$
Oxygen	0.219	$22.5 \times 10^{-3}$
Nitrogen	0.248	$22.0 \times 10^{-3}$
Hydrogen	3.42	$157.0 \times 10^{-3}$

The easiest method of forming plasma is to use gases Ar, He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> or their mixtures. Ar has the highest priority because it is easily ionized. The enthalpies of Ar and He are much lower than those of diatomic gases, as shown in Figure 5. On the other hand, the temperatures of inert gases are much higher than those of N<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> at the same enthalpy. Plasma is different from the flame of combustion gases due to the fact that the chemical reaction of combustion gases occurs at a distance of 100 to 200 mm and has a lower temperature than plasma. Plasma is a bright ionized gas in which there is no combustion and has a high temperature and a rapid temperature drop after leaving the nozzle.

## The plasma spray processes

Depending on the surrounding environment, there were developed the atmospheric plasma spray - APS and the vacuum plasma spray - VPS processes that still uses the name of the LPPS (Low pressure plasma deposition). The process selection is largely determined by the properties of deposited coatings as well as by their behavior in service as described in the works of the authors (Mrdak, 2013, pp.7-25), (Mrdak, 2013, pp.26-47), (Mrdak, 2014, pp.7-22).

The APS process is the simplest to perform and has a limited range of use due to the incorporation of substantial amounts of air into the plasma jet. The air cools and slows down the plasma, while a special problem is the oxidation of particles, which results in an increased content of oxidation products in the deposited layer (Mrdak, 2010, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201), (Vencl, et al., 2010, pp.591-604). Plasma spraying is done using a plasma gun from which emerge



focused plasma particles of inert gas at a rate of 240 to 600 m/s and a temperature of the jet from 4,500 to 20,000 ° C. The plasma jet leaving the nozzle is not homogeneous due to the large differences in the temperature and velocity of plasma particles (Vardelle, et al., 1983, p.88). The plasma core zone has a relatively constant temperature of 12500-12000 °C and extends to only 10-12 mm from the nozzle. The second zone is a transitional area where plasma temperature rapidly decreases to 3000 °C, reaching a length of about 100 mm from the nozzle. The third zone is an area where there is intense plasma mixing with the surrounding air, which leads to a drop in temperature and in velocity of plasma particles. Temperature and velocity of plasma particles, as well as the length of the plasma arc depend on the type of primary and secondary gas velocity and pressure of a gas mixture, power arc discharge and operating pressure (Smith, et al., 1988, p.25). The quality of the plasma jet is highly variable during the deposition itself, because it is not a stationary system. The length of the plasma jet changes in cycles with a frequency of 300 Hz. This is explained by the instability of the arc between the cathode and the anode (Kieschke, et al., 1991, p.25). The quality of the deposited layers depends on: the characteristics of the used powder; reaction between the plasma and the powder; the reaction between the plasma and the impact of the environment as well as on the substrate. Powders used for deposition are characterized by their chemical composition, density, melting temperature, grain size, grain size distribution, particle shape, behavior when moving through plasma, purity, etc. The process parameters must be set in such a way that the optimal effect of melting the particular powder in plasma is achieved and molten powder particles are transported with optimal speed to the substrate surface. The most important parameters that must be controlled are the plasma power, the gas flow and the rate of powder addition into plasma, which is explained in the works of the authors (Mrdak, 2014, pp.7-22), (Mrdak, 2014, pp.7-26), (Mrdak, 2014, pp.7-25). An efficient addition of the powder into the plasma jet has always been a problem solved by the means of: different constructions of the powder dispenser, variation in the diameter of powder feed channels, varying the type and pressure of the gas transporting the powder and varying the position of the powder feed channels. The powder feed channels can be placed in front of the nozzle to the position above or below at a certain angle and within the plasma gun nozzle, all of which gives a large number of possible combinations. Injected powder particles in the plasma jet partially or completely melt depending on the location of injection powder, amount of time spent in plasma, and the size and range of particles. The adjustment and choice of deposition parameters is determined by

analyzing the shape of particles and the degree of fusion after passing through plasma, using the methods of metallographic analyses of the microstructure of the deposited layers, microhardness, and other analyses. The process of coat depositing consists of surface preparation prior to deposition processes and deposition processes on prepared surfaces. The preparation of the substrate surface is one of the most important factors that influence the quality of the bond between the metallic substrate and the deposited coating. Surface preparation is carried out in order to clean the oxide layer from the surface of the metallic substrate, making it reactive with the coating in order to increase the surface area between the metal substrate and the coating. Figure 7 shows the Plasmadyne company equipment, used for the plasma deposition of coatings at atmospheric pressure. It consists of: the space for supplying electricity, water and gas; noise protection cabin type TB - KA; device for manipulation, robot STAR - REIS - V with a rotary table PD10; control board 3600; sources of power supply 2 x 40 KW type PS61S; plasma gun type SG - 100; powder feeder model 1251; high-frequency arc starter for the closed system of water cooling of the plasma gun with a pressure control in the installation (Mrdak, 2010, pp.5-16). In the APS process, inert gas Ar is introduced through the gas injector opening between the cathode and the anode. To initiate plasma, between the electrodes there is direct current which generates an electrical impulse causing the break-through in liquid gas. After establishing an electric arc - arc plasma, secondary gas (He, H<sub>2</sub> or N<sub>2</sub>), which ionizes, is introduced through the gas injector opening. Due to the nature of the geometry of the electrodes as well as technical gases ( in the plasma state now) hot and partially conductive gas passes through the circular aperture of the anode. In the thus formed plasma jet, powder is introduced using a carrier gas. Powder particles accelerate and melt rapidly, being deposited on the substrate. The energy of the plasma jet can be adjusted for each type of powder, taking into account: melting temperature, thermal conductivity, and the shape, size and distribution of particles. In addition to the powder characteristics, there are the conditions of powder injection into the plasma jet. They are the powder injection location and the angle relative to the jet direction and the powder injection rate. The flow of the carrier gas is adjusted for each type of powder based on the average particle size of the powder, its density and the density of the plasma jet, so that the powder particles are injected into the plasma jet axis with the highest temperature. The flow of the secondary gas, amperage, voltage and the distance of the plasma jet can be adjusted for each type of powder, so that the particles which are deposited have the optimal kinetic energy and the optimal melting degree.



Figure 7 – APS equipment for plasma powder deposition at atmospheric pressure  
(Mrdak, 2010, pp.5-16)

Slika 7 – APS oprema za depoziciju praha plazmom na atmosferskom pritisku  
(Mrdak, 2010, pp.5-16)

Рис. 7 – АПН Установка для нанесения порошкового плазменного покрытия под атмосферном давлением (Мрдак, 2010, стр.5-16)

The development of the VPS technology has led to significant improvements in the quality of coatings compared to coatings produced at atmospheric pressure. VPS is a relatively new technology in which molten powder particles from 10 to 100  $\mu\text{m}$  in size accelerate to the substrate, where they become flat and solid. VPS coatings generally show a higher density than coatings deposited by the atmospheric plasma spray process, where coatings have lamellae composed of columnar grains. Particles solidify with a very fast cooling rate from  $\sim 10^4$  to  $10^8$   $^\circ\text{C}/\text{sec}$ . The operating vacuum is in the range from 30 to 200 mbar, which enables a deposition of coatings with a thickness of 20 to 2 mm. The pressure lower than atmospheric conditions increases a length of the plasma jet from 50 to 600 mm and a diameter from 10 to 40 mm. The velocities and temperature values of particles in the plasma jet are more uniform, which allows the production of homogeneous coatings of uniform thickness on parts with complex geometries (Gindrat, et al., 2002, pp.459-464). In the process of deposition at atmospheric pressure, the plasma jet temperature rapidly decreases with distance. At low pressure, the temperature of the plasma jet gradually decreases as a function of pressure. For the same distance from the nozzle, a drop in temperature is smaller as the pressure is lower. Figure 8 shows the effect of pressure on the temperature of the plasma jet (Nikoll, 1984).

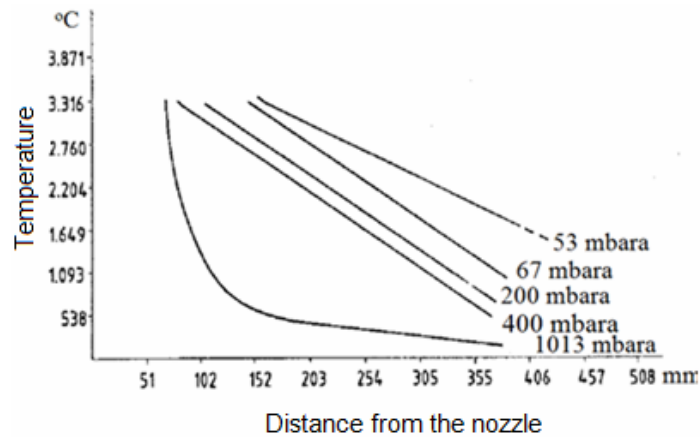


Figure 8 – Effect of operating pressure on the temperature of plasma jets  
 Slika 8 – Uticaj radnog pritiska na temperature mlazeva plazmi  
 Рис. 8 – Воздействие давления на температуру плазменной струи

The VPS process is performed at a low pressure of Ar in very clear conditions and with the use of the transferred arc for cleaning and preheating the substrate. Ar, He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and gas mixtures of high purity can be used as plasma gases. Figure 9 shows the VPS system of the Plasma Technik AG company, which possesses an A - 2000 console and an F4 plasma gun. The VPS system is designed to protect the aircraft parts exposed to a combination of excessive oxidation and hot corrosion (Mrdak, 2013, pp.26-47). The powder deposition is usually performed with a mixture of Ar-H<sub>2</sub> plasma gases at low pressure in the vacuum. In the vacuum chamber there are: a rotary table, planetary systems with 48 tools, a six-axis robot and an artificial hand. The manipulation system is designed to simultaneously rotate the tool and the operating parts around their axes.

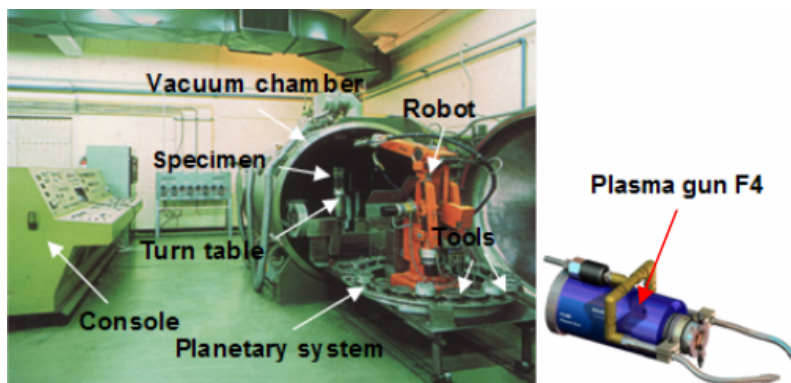


Figure 9 – Vacuum plasma spray system (Mrdak, 2013, pp.26-47)  
 Slika 9 – Vakuum plazma sprej sistem (Mrdak, 2013, pp.26-47)  
 Рис. 9 – Система вакуумного плазменного нанесения (Мрдak, 2013, стр.26-47)

This complex movement allows uniform cleaning by the transferred arc and uniform powder depositing over the whole surface of the substrate. All procedures, being the parts of the VPS surface treatment process, must be carried out as quickly as possible. In order to obtain fast chamber vacuuming, a high pumping capacity is required. To achieve a chamber pressure of 1000 - 0.1 bar, a time of 5 minutes is necessary. Taking workpieces in and out should be done as quickly as possible after the chamber ventilation. All inside surfaces of the vacuum chamber become protected by plasma gases during the process of VPS protection. Only neutral gas atoms bind to the chamber surfaces due to Vander - Waals forces, which means that there is a possibility to save time on chamber vacuuming after the introduction and removal of workpieces. The choice of plasma gas, the flow rate and the current arc determine the content of the plasma jet energy. The characteristics of the plasma jet inside and outside the gun are influenced by the pressure in the chamber. As the pressure decreases, the plasma jet becomes longer in proportion to the increase in gas velocity. The pressure in the chamber must be maintained constant during deposition. Deposition at a low pressure of 30 to 70 mbar allows the application of the transferred arc and higher velocities of plasma particles. The transferred arc enables the cleaning of the substrate surface and its preheating prior to powder deposition, as well as additional heating during deposition. Figure 10 shows possible lengths of the Ar / He plasma jet, depending on the pressure in the vacuum chamber and the applied transferred arc (Kieschke, et al., 1991, pp.25-38).

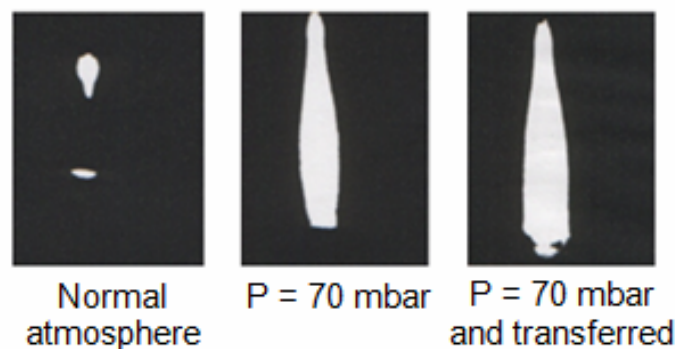


Figure 10 – Lengths of Ar / He plasma arcs for different atmospheres and transferred arc application

Slika 10 – Dužine mlazeva plazmi Ar/He za različite atmosfere i primenu transferovanog luka

Рис. 10 – Длина плазменной струи Ar / He прямым нагревом при различной температуре

Figure 11 shows the effect of the transferred arc on the possible length of the Ar / H<sub>2</sub> plasma jet when the deposited powder is CoNiCrAlY (Mrdak, 2013, pp.26-47), (Nikoll, 1984).

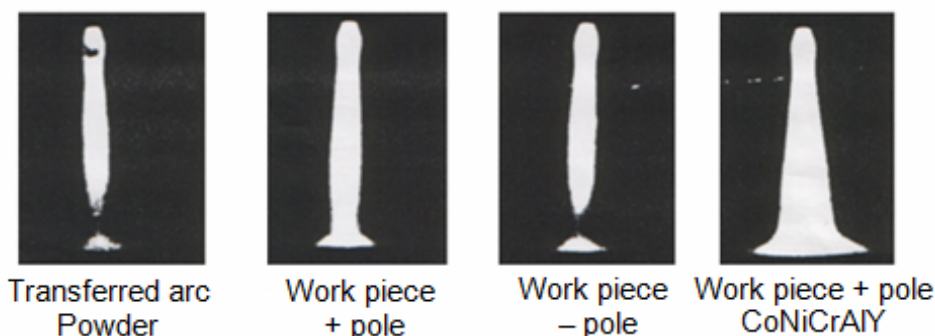


Figure 11 – Lengths of Ar / H<sub>2</sub> plasma arcs when CoCrAlY powder is deposited with the application of the transferred arc

Slika 11 – Dužine mlazeva plazmi Ar/H<sub>2</sub> kada se deponuje prah CoCrAlY sa primenom transferovanog luka

Рис. 11 – Длина плазменной струи Ar / H<sub>2</sub> при нанесении порошкового вещества CoCrAlY прямым нагревом

Different levels of pressure for the transferred arc can be used, depending on the characteristics of the base material and the powder. To form a plasma jet with optimum characteristics, the gas flow rate may vary between 1.5 and 20 m<sup>3</sup> depending on the type of powder being deposited. The deposition of coatings on substrates is performed as follows. Working parts are mounted in the supporting tools that are on the planetary system which rotates around its axis. After the mounting of the working parts, the vacuum chamber is closed. The entire system is automated and programmed on the robot's microprocessor unit. All process parameters are entered into the program. The process of chamber vacuuming, the flow of plasma gases, the substrate cleaning, the powder flow, deposition, the substrate cooling and the vacuum chamber ventilation are fully synchronized by the program. In the VPS chamber, an artificial hand on the other side of the opening of the chamber and which cannot be seen in the photograph, receives the tools with a working part from the planetary system and sets it on the rotary table. After the mounting of the tools with the working part, the chamber is vacuumed where a pressure of 10<sup>-3</sup>mbar is achieved in 5 min. When the vacuuming process ends, Ar is introduced into the chamber through the anode to a pressure of 25 mbar. At this pressure, cleaning of work parts surfaces is carried out by the transferred arc. The distance between the plasma gun from the surface of working parts is usually 270 mm. The plasma gun is set to the + pole, and the working part to the - pole. This bond is called direct polarity and it allows the directed ions of He as a secondary gas to clean the surface of

the work part at high rate and energy by making the surface reactive. After the cleaning, powder is deposited on the surface of the work part. The secondary plasma gas  $H_2$  is added to the primary gas  $Ar$ . The pressure in the chamber grows to the level of the operating pressure of 70-120 mbar, depending on the type of powder that is deposited. The constant pressure during the deposition is provided by the vacuum pump. When the operating pressure is reached, powder is introduced into the plasma gun. The deposition rate is constant and does not change during deposition. A coating layer of 0.1 mm is deposited for 1 min approximately. When the deposition process is completed, the working part is cooled in the chamber to a temperature of 300 °C with argon flowing from the anode of the F4 plasma gun. The cooled working part with the tool is accepted by the artificial hand and returned to its original position. The planetary system is pivoted by one step to enable the artificial arm to receive another tool with a working part. The powder deposition cycle was repeated until powder is not deposited on all working parts.

## Conclusion

The paper describes the structure of plasma, the method of creating plasma, thermodynamic properties such as enthalpy, temperature, specific heat and thermal conductivity of gases and plasma spray processes at atmospheric pressure and in vacuum at low pressure of inert gas. Plasma spray processes have been developed for the deposition of molten or semi-molten powder particles on the surface of the underlying material on which the deposited particles form a coating.

The advantage of the plasma spray process is the possibility of applying a large number of different materials in the form of powder of various grain and morphology, which are suitable for the formation of coatings in order to protect the surface of the base metal from wear, abrasion, erosion, cavitation, and corrosion resistance to fatigue at low and high temperatures.

Plasma spray processes also allow the modifications of powders, such as the spheroidization of powders with sharp edges, thickening of porous particles, and more recently the formation of nanopowders. The advantage of the process is that molten powder particles with high melting points do not transfer a large amount of heat into the base material and do not violate the basic structure of the material. In the deposition process, it is essential to control the heat transfer from the coating to the substrate, which is a function of the composition of the plasma gas, power supply, and the residence time of particles in the plasma jet.

APS and VPS plasma spray processes have been widely used in the manufacture of new parts in order to protect work surfaces and repair worn parts in the process of repair using appropriate coatings that significantly improve their functionality and increase their service life.

## Literature

- Dembovsky, V. 1985. *Plasma Metallurgy*. Amsterdam: Elsevier.
- Gajić, D., Mrdak, M., & Gredić, T. 1996. Properties of metal alloy coatings deposited by plasma spraying. . In: 18th Symposium on the Physics of Ionized Gases SPIG'96, Kotor., pp.448-451
- Gindrat, M., Dorier, J.L., Hollenstein, C., Loch, M., Refke, A., Salito, A., & Barbezat, G. 2002. Effect of Specific Operating Conditions on the Properties of LPPS Plasma Jets Expanding at Low Pressure. . In: E. Lugscheider& C.C. Berndt Eds., Proceedings of the 3rd ITSC. Essen, Germany: DVS-Verlag., pp.459-464
- Herman, H. 1988. The Plasma State and its Industrial Utility. . In: 1st Plasma-Technik-Symposium Lucerne/Switzerland, May 18th to 20th. , pp.13-21
- Kieschke, R.R., Roberts, K.A., & Clyne, T.W. 1991. Instabilities in the vacuum plasma spraying process. *Surface and Coatings Technology*, 1(46), pp.25-38.
- Kieschke, R.R., Roberts, K.A., & Cyne, T.W. 1991. . *Surface and Coatings Technology*, 46, p. 25.
- Mrdak, M. 2010. Uticaj brzine depozicije praha na mehaničke karakteristike i strukturu APS - NiCr/Al prevlake. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 58(4), pp.5-16.
- Mrdak, M. 2012. Plasma deposited layers of nickel-chrome-aluminum-yttrium coatings resistant to oxidation and hot corrosion. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(2), pp.182-201.
- Mrdak, M. 2013. Characterization of nickel - graphite sealing coatings in the system with the nickel-aluminum coating bonding. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(1), pp.68-88.
- Mrdak, M. 2013. Structure and properties of plasma sprayed APS - Ni20Al coatings. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(2), pp.7-22.
- Mrdak, M. 2013. Properties and structure of tungstencarbide - cobalt coatings deposited by the APS - plasma spray process. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(3), pp.7-25.
- Mrdak, M. 2013. Characterization of vacuum plasma sprayed cobalt-nickel-chromium-aluminum-yttrium coatings. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 61(4), pp.26-47.
- Mrdak, M., Vencl, A., Nedeljkovic, B., & Stanković, M. 2013. Influence of plasma spraying parameters on properties of the thermal barrier coatings. *Materials Science and Technology*, 29(5), pp.559-567.
- Mrdak, M. 2014. Characterization of the wear resistant aluminum oxide 40% titanium dioksida coating. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 62(1), pp.7-22.
- Mrdak, M. 2014. Influence of a powder feed rate on the properties of the plasma sprayed chromium carbide 25% nickel chromium coating. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 62(2), pp.7-26.
- Mrdak, M. 2014. Effect of helium plasma gas flow rate on the properties of WC-12 wt.% Co coatings sprayed by atmospheric plasma. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 62(3), pp.7-25.
- Nikoll, A.R. 1984. Protective Coatings and Their Processing Thermal Spray. . In: Plasma Technik AG-Switzerland, Course June 24-29,Finland.
- Smith, M.F., & Dykhuizen, R.C. 1988. . *Surface and Coatings Technology*, 34, p. 25.
- Teaching plasma spraying, Introducing plasma spray techniques, Plasma-Technik 5610* . Switzerland: Wohlen.



Vardelle, M., Vardelle, A., & Fouchais, P. 1983. . . In: Proc. of 19th Thermal Spray Conf. Dusseldorf. , p. 88

Venci, A., Mrdak, M., & Banjac, M. 2009. Correlation of Microstructures and Tribological Properties of Ferrous Coatings Deposited by Atmospheric Plasma Spraying on Al-Si Cast Alloy Substrate. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 40(2), pp.398-405. doi:10.1007/s11661-008-9693-0

Venci, A., Manić, N., Popovic, V., & Mrdak, M. 2010. Possibility of the abrasive wear resistance determination with scratch tester. *Tribology Letters*, 37(3), pp.591-604.

Venci, A., Arostegui, S., Favaro, G., Zivic, F., Mrdak, M., Mitrović, S., & Popovic, V. 2011. Evaluation of adhesion/cohesion bond strength of the thick plasma spray coatings by scratch testing on coatings cross-sections. *Tribology International*, 44(11), pp.1281-1288.

## СВОЙСТВА АПН И ВПН МЕТОДОВ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

ОБЛАСТЬ: химические технологии  
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

### Резюме:

*Плазма — ионизированный газ, содержащий электроны и нейтральные молекулы, способный проводить ток. Данное состояние вещества создается с помощью электрического разряда и может поддерживаться в стабильном состоянии при применении переменного или постоянного тока.*

*В статье описаны структура плазмы, ее термодинамические свойства и способы образования, обеспечивающие возможность применения плазмы в качестве энергоносителя в процессе плазменного напыления. В основном, все порошковые вещества могут быть использованы для плазменного напыления покрытий, выполненных из различных материалов.*

*Высокая температура при введении порошковых веществ в плазму способствует ускорению процесса плавки и формированию частиц продукта, напыляемого на покрытие.*

*Рекомендуется широкое применение метода плазменного напыления покрытий во всех промышленных отраслях, так как комбинированные слои покрытия способствуют повышению стойкости деталей машиностроения против: абразивного износа, эрозии, кавитации, коррозии, а также отличаются высокой термостойкостью и устойчивостью к усталости под действием давления и ударных нагрузок. При этом значительно повышается ресурс восстанавливаемой детали и надежность в процессе эксплуатации.*

*Ключевые слова: сопротивление, порошковые вещества, плазменный газ, проводимость, покрытие.*

## KARAKTERISTIKE APS I VPS PLAZMA SPREJ PROCESA

OBLAST: hemijske tehnologije  
VRSTA ČLANKA: stručni članak  
JEZIK ČLANKA: engleski

### Sažetak:

*Plazma je električno provodljiv gas koji sadrži jone, elektrone i neutralne molekule. Takvo stanje materije stvara se preko električnog pražnjenja i može da se održava u stabilnom stanju uvođenjem naizmjenične ili jednosmerne struje. U radu je opisana struktura plazme, termodinamičke karakteristike i način stvaranja plazme koji omogućuju primenu plazme kao izvora energije za plazma sprej procese. Generalno, svi postojeći materijali u obliku praha mogu se plazmom deponovati kao prevlake na podlogama od različitih materijala. U plazma provodljivi gas na visokoj temperaturi uvode se čestice praha materijala koje se tope i ubrzavaju do podloge na kojoj formiraju prevlake. Masovna primena plazma sprej prevlaka u svim industrijskim oblastima je od posebnog značaja, jer se sa različitim kombinacijama površinskih slojeva može znatno povećati otpornost mašinskih delova na: habanje, abraziju, eroziju, kavitaciju, koroziju i otpornost na zamor na niskim i povišenim temperaturama, uz povećani resurs i pouzdanost rada delova u eksploataciji.*

### Uvod

*Plazma je električno provodljiv gas čija se struktura sastoji od jona, elektrona i neutralnih molekula. Stanje i strukturu plazme godinama su proučavali fizičari i hemičari, a inženjeri koristili za primene koje se kreću od neonskog svetla do termonuklearne fuzije. Termalne plazme se sve više koriste za disocijaciju sirovina kao što su karbonati, oksidi, sulfidi i razne polimetalne rude (Dembovsky, 1985). Pretapanje legura plazmom sa visokim temperaturama topljenja i prečišćavanje pomoću čistih plazma gasova argona ili helijuma dokazala se korisnim u industriji metala. Plazma sprej je gasna plazma i može se smatrati kao ravnotežna ili termalna plazma. Razvoj plazma sprej procesa bio je rezultat objektivnog pokušaja da se podigne temperaturni nivo iznad onog kod oksiacetilenskog plamena. Mlaz plazme omogućuje selekciju inertnih ili nereaktivnih gasova za medijum, tako da se hemijska reakcija oksidacije može kontrolisati za vreme depozicije praha. Termalna plazma ili plazma sprej je tehnološki proces koji se odvija na atmosferskom pritisku (APS) ili na niskom pritisku (VPS) ili (LPPS) procesu. Plazma sprej procesi su našli široku primenu u svim industrijskim oblastima, što je opisano u objavljenim radovima autora (Mrdak, et al., 2013, pp.559-567), (Mrdak, 2013, pp.68-88), (Mrdak, 2013, pp.26-47), (Vencel, et al., 2009, pp.398-405), (Vencel, et al., 2011, pp.1281-1288).*

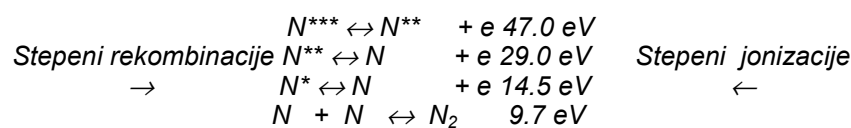
Različite kombinacije površinskih slojeva znatno povećavaju otpornost radnim delovima na: habanje, abraziju, eroziju, kavitaciju, koroziju i otpornost na zamor na niskim i povišenim temperaturama. Značajno mesto među tehnologijama dvadeset prvog veka koje će se intenzivno razvijati imaju plazma sprej procesi, zahvaljujući razvoju nano materijala koji čine osnov za razvoj mnogih tehnologija. Plazma sprej je jedna od tehnologija obrade površina i sa drugim tehnološkim postupcima čini jednu celinu koja je u svetu poznata pod nazivom inženjersvo površina. Danas se plazma sprej koristi u masovnoj proizvodnji, ali i u laboratorijskim istraživanjima novih nano materijala za tehnologije budućnosti (Herman, 1988, pp.13-21).

Cilj rada bio je da se opiše struktura plazme, termodinamičke karakteristike i način na koji nastaje. Zahvaljujući svojim karakteristikama plazma se primenjuje kao izvor energije za plazma sprej procese (APS i VPS), koji se koriste za zaštitu površina osnovnog materijala od habanja, abrazije, erozije, kavitacije, korozije i otpornosti na zamor na niskim i povišenim temperaturama uz povećani resurs i pouzdanost rada delova u eksploataciji.

#### Struktura plazme i njene termodinamičke karakteristike

Da bi se razumeo plazma sprej proces, potrebno je, pre svega, poznavati strukturu plazme. Naučnici su naziv plazma koristili da bi opisali pare materijala koje se podižu na viši energetski nivo. Zagrejani gasovi slede klasične zakone fizike i termodinamike. Međutim, plazma ne sledi klasične zakone fizike i zbog toga se smatra četvrtim agregatnim stanjem materije. Da bi se objasnila plazma, moraju se pojasniti promene stanja koje se dešavaju u atomima i molekulima. Jedan neutralan atom He ima jezgro sa dva električna naboja i neutralan je kada se nalazi u nepobuđenom stanju. Oko jezgra atoma kruže dva elektrona. Svaki elektron ima  $-1$  električni naboj. Ako se atomu dovede dovoljno energije, ona će pobuditi atom i izbaciti bar jedan elektron iz orbite. Iznos energije potreban da bi se izbacio elektron iz orbite zove se energija jonizacije. Pobuđivanjem atoma dobijaju se dve čestice. Jedna čestica je jonizovani atom, a druga slobodan elektron. Jonizovani atom ima električni naboj  $+1$ , a slobodni elektron električni naboj  $-1$ . Molekul koji je spoj dva ili više neutralnih atoma može se smatrati jednom česticom. Molekuli predstavljaju gasove kao što su  $N_2$  i  $H_2$ , koji su formirani od dva atoma i zato se nazivaju dvoatomske gasovi. Ako je dovedeno dovoljno energije, molekuli se razlažu na atome. Odvojeni atomi mogu predstavljati jednoatomske gas kao što je Ar, He ili disociirani dvoatomske gas  $N_2$  ili  $H_2$ . Daljim dovođenjem energije atomima izbija se bar jedan elektron iz svakog atoma. Ako svi elektroni napuste svoje atome dobija se potpuna jonizacija – stanje zvezda sa približnom temperaturom od 100 miliona  $^{\circ}C$ . U procesu plazma spreja radi se sa delimičnom jonizacijom i temperaturama do  $30.000^{\circ}C$ . Treba naznačiti da je plazma kao celina elektroneutralna, pošto ima isti broj plus i minus električnih naboja. Prednost plazme nad običnim gasovima je što

ima višu temperaturu i bolji prenos toplote. Dvoatomski gasovi sa stanovišta promene entalpije su superiorniji od jednoatomskih gasova. Plazma ima visoku elektroprovodljivost koja je povezana sa veoma visokim temperaturama. Električna provodljivost plazme je u velikom opsegu uslovljena stepenom jonizacije, tj. pokretljivošću elektrona, koja je oko 100 puta veća od jona. Jonizacija može biti parcijalna ili višestepena. Energija jonizacije gasa kreće se od 10 do 50eV, a disocijacije od 4 do 10eV. Disocijacija i jonizacija gasa odvija se u određenom periodu, a energije jonizacije i disocijacije se rekombinuju, kako je prikazano za gas  $N_2$ .



Kod jednoatomskih gasova nema disocijacije i rekombinacije, koja se za dvoatomske gasove odvija na nižoj temperaturi. Zbog toga su za istu snagu napajanja mlazevi plazme Ar i He kraći u odnosu na mlazove plazme  $N_2$  i  $H_2$ . Plazmu je najjednostavnije formirati pomoću gasova Ar, He,  $H_2$ ,  $N_2$  ili njihovih mešavina. Ar ima najveću prednost pošto se lako jonizuje. Entalpije Ar i He su mnogo niže od dvoatomskih gasova, kako je prikazano na slici 5. Sa druge strane, temperature inertnih gasova mnogo su više od  $N_2$  i  $H_2$  pri istoj entalpiji. Plazma se razlikuje od plamena sagorevanja gasova zbog činjenice da se hemijska reakcija sagorevanja gasova javlja na odstojanju od 100 do 200 mm i ima nižu temperaturu od plazme. Plazma je svetli jonizovani gas kod kojeg ne postoji sagorevanje, a ima visoku temperaturu i brzi pad temperature nakon napuštanja mlaznice.

#### Plazma sprej procesi

Zavisno od okolne sredine, razvijeni su atmosferski plazma sprej – APS i vakuumu plazma sprej – VPS proces za koji se još koristi naziv LPPS (Low pressure plasma deposition). Izbor procesa u velikoj meri određuju osobine deponovanih prevlaka, ali i njihovo ponašanje u eksploataciji, kako je opisano u radovima autora (Mrdak, 2013, pp.7-25), (Mrdak, 2013, pp.26-47), (Mrdak, 2014, pp.7-22). APS proces je najjednostavniji za izvođenje i ima limitiran opseg upotrebe zbog inkorporiranja znatne količine vazduha u mlaz plazme. Vazduh hladi i usporava plazmu, a poseban problem predstavlja oksidacija čestica, što ima za posledicu povećan sadržaj produkata oksidacije u deponovanom sloju (Mrdak, 2010, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201), (Vencl, et al., 2010, pp.591-604). Prskanje plazmom vrši se pomoću plazma pištolja iz kojeg izlaze fokusirane čestice plazme inertnog gasa sa brzinom od 240 do 600 m/s i temperaturom mlaza od 4.500 do 20.000 °C. Mlaz plazme koji napušta mlaznicu nije homogena sredina, zbog velike razlike u temperaturi i brzini čestica plazme (Vardelle, et al., 1983,

p.88). Zona jezgra plazme ima relativno konstantnu temperaturu od 12.500 do 12.000 °C i rasprostire se svega 10 do 12 mm od otvora mlaznice. Druga zona predstavlja prelaznu oblast u kojoj temperatura plazme naglo opada do 3000 °C i postiže dužinu oko 100 mm od otvora mlaznice. Treća zona predstavlja oblast u kojoj dolazi do intenzivnog mešanja plazme sa okolnim vazduhom, što dovodi do pada temperature i pada brzine čestica plazme. Kvalitet deponovanih slojeva zavisi od: karakteristika upotrebljenog praha, međusobne reakcije između plazme i praha, reakcija između plazme i okoline i uticaja podloge. Praho- vi koji se koriste za depoziciju karakterišu se hemijskim sastavom, gustinom, temperaturom topljenja, veličinom zrna, raspodelom veličine zrna, oblikom zrna, ponašanjem pri kretanju kroz plazmu, čistoćom itd. Parametri procesa moraju se podesiti tako da se za konkretan prah postigne optimalni efekat topljenja praha u plazmi i transport istopljenih čestica praha sa optimalnim brzinama do površine podloge. Postupak izrade prevlake sastoji se od pripreme površine podloge pre procesa depozicije i procesa depozicije na pripremljenim površinama. Priprema površine podloge jedan je od najvažnijih faktora koji utiče na kvalitet spoja između metalne podloge i deponovane prevlake. Priprema površine izvodi se radi čišćenja oksidnog sloja sa površine metalne podloge, čineći je reaktivnom sa prevlakom i radi povećanja površine između metalne podloge i prevlake. APS proces izvodi se tako što se kroz otvor gas injektora propušta inertni gas Ar između katode i anode. Da bi se inicirala plazma, između elektroda propušta se jednosmerna struja koja stvara električni impuls uzrokujući proboj kroz tekući gas. Uspostavljanjem strujnog luka – lučne plazme, kroz otvor gas injektora propušta se sekundarni gas (He, H<sub>2</sub> ili N<sub>2</sub>) koji se jonizuje. Priroda geometrije elektrode kao i tehničkih gasova, sada plazme, istiskuje vruć i delimično provodan gas kroz kružni otvor anode. U tako formiran mlaz plazme uvodi se prah pomoću nosećeg gasa. Čestice praha se ubrzavaju, tope i velikom brzinom deponuju na podlogu. Energija mlaza plazme podešava se za svaku vrstu praha, uzimajući u obzir: temperaturu topljenja, toplotnu provodljivost, oblik, veličinu i raspodelu veličine čestica. Kao dodatak karakteristikama praha postoje i uslovi njegovog injektiranja u mlaz plazme. To su mesta ubrizgavanja praha i ugao u odnosu na smer mlaza i brzine dotoka praha. Protok nosećeg gasa podešava se za svaki tip praha na osnovu srednje veličine čestica praha, njegove gustine i gustine mlaza plazme, tako da su čestice praha ubrizgane u osu mlaza plazme sa najvećom temperaturom. Protok sekundarnog gasa, amperaža, voltaža i odstojanje mlaza plazme podešavaju se za svaki tip praha, tako da čestice koje se deponuju imaju optimalnu kinetičku energiju i stepen istopljenosti.

Razvoj VPS tehnologije doveo je do značajnog poboljšanja kvaliteta prevlaka u poređenju sa prevlakama proizvedenim na atmosferskom pritisku. VPS je relativno nova tehnologija u kojoj se istopljene čestice praha, veličine od 10 do 100 µm, ubrzavaju ka podlozi, gde se spljošnjavaju i očvršćavaju. VPS prevlake generalno pokazuju veću gustinu od prevlaka deponovanih atmosferskim plazma sprej proce-

som, čije se lamele sastoje od stubastih zrna. Čestice očvršćavaju veoma velikom brzinom hlađenja od  $\sim 10^4$  do  $10^8$  °C/s. Radni vakuum je u rasponu od 30 i 200 mbara, koji omogućava deponovanje prevlaka debljine od 20 do 2 mm. Smanjen pritisak u odnosu na atmosferske uslove povećava dužinu mlaza plazme od 50 do 600 mm i prečnik od 10 do 40 mm. Brzine i temperature čestica u mlazu plazme su ujednačene, što omogućava proizvodnju homogenijih prevlaka ujednačene debljine na delovima sa složenim geometrijama (Gindrat, et al., 2002, pp.459-464). Na niskom pritisku temperatura mlaza plazme postepeno opada i u funkciji je pritiska. Za isto odstojanje od otvora mlaznice manji je pad temperature što je pritisak niži. VPS proces izvodi se na niskom pritisku Ar u veoma čistim uslovima i uz primenu transferovanog luka za čišćenje i predgrevanje podloge. Kao plazma gasovi mogu se koristiti: Ar, He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> i mešavine gasova visoke čistoće. Depozicija praha najčešće se izvodi sa mešavinom plazma gasova Ar-H<sub>2</sub> na niskom pritisku u vakuumu. U vakuum-komori nalazi se: obrtni sto, planetarni sistem sa 48 alata, šestoosni robot i veštačka ruka. Sistem manipulacije projektovan je tako da istovremeno rotiraju alat i radni delovi oko svoje ose. Ovako složeno kretanje omogućava ravnomerno čišćenje transferovanim lukom i ravnomerno deponovanje praha po celoj površini podloge. Svi postupci kao delovi ciklusa VPS procesa površinske zaštite moraju se izvršiti što je moguće brže. Da bi se postiglo brzo vakuumiranje komore potreban je visok kapacitet pumpanja. Za postizanje pritiska u komori od 1000 do 0,1 bar potrebno je vreme od 5 min. Unošenje i iznošenje radnih komada treba da se obavlja što je moguće brže nakon ventilacije komore. Sve unutrašnje površine vakuum-komore postaju zaštićene plazma gasovima za vreme procesa VPS zaštite. Jedino se atomi neutralnog gasa vezuju za površine komore usled Vander-Valsovih sila, što znači da se nakon unošenja i iznošenja radnih komada može uštedeti na vremenu vakumiranja komore. Izbor plazma gasa, brzina toka i struja luka određuju sadržaj energije mlaza plazme. Karakteristike mlaza plazme unutar i izvan pištolja su pod uticajem pritiska u komori. Kako pritisak opada mlaz plazme postaje duži, srazmerno povećanju brzine gasa. Pritisak u komori mora se održavati konstantnim za vreme depozicije. Depozicija na niskom pritisku od 30 do 70 mbara omogućava primenu transferovanog luka i veće brzine čestica plazme. Sa transferovanim lukom omogućeno je čišćenje površine podloge i njeno predgrevanje pre depozicije praha, kao i dodatno zagrevanje u toku depozicije. Mogu se koristiti različiti nivoi pritiska za transferovani luk, zavisno od karakteristika osnovnog materijala i praha. Da bi se formirao mlaz plazme optimalnih karakteristika, protok gasa može da varira između 1,5 i 20 m<sup>3</sup>, zavisno od vrste praha koji se deponuje. Depozicija prevlake na podlogama izvodi se na sledeći način: radni delovi se montiraju u noseće alate koji se nalaze na planetarnom sistemu koji se okreće oko svoje ose, a nakon montaže radnih delova vakuum-komora se zatvara. Ceo sistem je automatizovan i programiran na mikroprocesorskoj jedinici robota. U program se ubacuju

svi parametri procesa. Proces vakuumiranja komore, protok plazma gasova, čišćenje substrata, protok praha, depozicija, hlađenje substrata i ventilacija vakuum-komore potpuno su vremenski sinhronizovani programom. U VPS – komori, veštačka ruka koja se nalazi na drugoj strani otvora komore, i ne vidi se na slici, prihvata alat sa radnim delom sa planetarnog sistema i postavlja ga na obrtni sto. Nakon montaže alata sa radnim delom vrši se vakuumiranje komore u kojoj se za 5 min postiže pritisak od  $10^{-3}$  mbara. Kada se završi proces vakuumiranja, u komoru se kroz anodu ubacuje Ar do nivoa pritiska od 25 mbara. Na ovom pritisku izvodi se čišćenje površina radnih delova transferovanim lukom. Odstojanje plazma pištolja od površine radnih delova najčešće je 270 mm. Plazma pištolj se u procesu čišćenja površine postavlja na + pol, a radni deo na – pol. Ova veza se zove direktni polaritet i omogućava usmerenim jonima sekundarnog gasa He da velikom brzinom i energijom očiste površinu radnog dela od nečistoće, čineći površinu reaktivnom. Nakon izvršenog čišćenja površine radnog dela izvodi se deponovanje praha na površini dela. Primarnom gasu Ar dodaje se plazma sekundarni gas  $H_2$ . Pritisak u komori raste do nivoa radnog pritiska od 70 do 120 mbara, zavisno od vrste praha koji se deponuje. Konstantan pritisak u toku depozicije obezbeđuje vakuum-pumpa. Kada se postigne radni pritisak, u plazma pištolj se ubacuje prah. Brzina depozicije je konstantna i ne menja se u toku depozicije. Za približno jedan minut deponuje se sloj prevlake od 0,1 mm. Kada se završi proces depozicije, radni deo se hladi u komori do temperature od 300 °C sa argonom koji teče iz otvora anode plazma pištolja F4. Ohlađen radni deo sa alatom prihvata veštačka ruka i vraća na svoje prvobitno mesto. Planetarni sistem se zaokreće za jedan korak, kako bi veštačka ruka prihvatila drugi alat sa radnim delom. Ciklus depozicije praha se ponavlja, dok se na svim radnim delovima ne izvede depozicija praha.

#### Zaključak

U radu je opisana struktura plazme, način njenog stvaranja i termodinamičke karakteristike: entalpija, temperatura, specifične toplote i toplotne provodljivosti gasova, kao i plazma sprej procesi na atmosferskom pritisku i u vakuumu na niskom pritisku inertnog gasa. Plazma sprej procesi razvijeni su za depoziciju istopljenih ili poluistopljenih čestica praha na površinu osnovog materijala na kojoj deponovane čestice formiraju prevlake.

Prednost plazma sprej procesa je mogućnost primene velikoga broja različitih materijala u obliku praha različite granulacije i morfologije, koji su pogodni za formiranje prevlaka radi zaštite površine osnovnog materijala od habanja, abrazije, erozije, kavitacije, korozije i otpornosti na zamor na niskim i povišenim temperaturama. Plazma sprej procesi takođe omogućuju modifikaciju prahova, kao što je sferoidizacija prahova sa oštrim ivicama, zgušnjavanje poroznih čestica, a u novije vreme i formiranje nanoprahova. Prednost procesa je što istopljene

*čestice praha sa visokom tačkom topljenja ne prenose veliku količinu toplote u osnovni materijal i ne narušavaju strukturu osnovnog materijala. U procesu depozicije najbitnije je kontrolisati prenos toplote sa prevlake na podlogu, koji je u funkciji sastava plazma gasa, snage napajanja i vremena boravka čestica u mlaz plazme.*

*APS i VPS plazma sprej procesi imaju široku primenu u proizvodnji novih delova radi zaštite radnih površina i reparacije pohabanih delova u procesu remonta primenom adekvatnih prevlaka koje znatno poboljšavaju funkcionalnost i povećavaju radni vek delovima.*

*Ključne reči: otpornost, prahovi, plazma gas, provodljivost, prevlake.*

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 03. 11. 2014.  
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 09. 11. 2014.  
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 11. 11. 2014.



# PRIMJENA HART PROTOKOLA ZA KOMUNIKACIJU SA PAMETNIM UREĐAJIMA U POLJU

Adnan M. Mulaosmanović  
Global Ispat Koksna Industrija Lukavac, Bosna i Hercegovina  
e-adresa: adnan.mulaosmanovic@gmail.com

DOI: 10.5937/vojtehg63-7279

OBLAST: telekomunikacije  
VRSTA ČLANKA: stručni članak  
JEZIK ČLANKA: srpski

## Sažetak:

*Pametni instrumentacijski protokoli su dizajnirani za aplikacije gdje se podaci prikupljaju sa instrumenata, senzora i aktuatora koristeći digitalne komunikacijske metode. HART protokol je tipični predstavnik pametnog instrumentacijskog Fieldbus-a. Više od 40 miliona HART uređaja je instalirano u cijelom svijetu, a HART tehnologija predstavlja nejrašireniji komunikacijski protokol za inteligentne procesne instrumente. Dva komunikacijska kanala podržana su od strane HART uređaja, a to su strujni krug 4-20 mA i HART digitalni komunikacijski kanal. Digitalni komunikacijski kanal simultano šalje informacije preko istih žica i bez ometanja analognog kanala. Ovaj dvosmjerni komunikacijski kanal osigurava real time pristup podacima dostupnim na HART pametnim uređajima. U ovom radu govoriće se o osobinama i primjeni HART protokola.*

*Ključne reči: HART protokol, signali, protokoli, digitalizacija.*

## Uvod

Jedan od najrasprostranjenijih standarda za komunikaciju na nivou mjerenja i procesne regulacije je HART protokol, razvijen od strane Rosemount Inc, a nakon ustupanja svih prava nezavisnoj Hart Communication Foundation (HCF) fondaciji. Ovo je otvoreni standard u vlasništvu više od 290 (podatak iz septembra 2013. godine) firmi članica okupljenih u HCF. HART (Highway Addressable Remote Transducer) protokol je najčešće korištena komunikaciona tehnologija za pristup inteligentnim uređajima. Uređaji koji koriste HART protokol koriste i analogni standardni strujni signal 4-20 mA i digitalni signal, koji obezbjeđuje veliku fleksibilnost koja se ne može naći ni kod jedne druge komunikacione tehnologije (HART Communication Foundation, 2014).

Drugim riječima, HART je hibridni komunikacioni standard sa jednim kanalom, putem kojeg se prenosi jedna informacija analognim signalom od 4 do 20 mA DC, i drugim kanalom za digitalni prenos različitih informacija putem strujnih impulsa koji predstavljaju digitalne vrijednosti 0 i 1. Digitalni strujni impulsi se superponiraju na analogni DC strujni signal, tako da se putem iste parice simultano prenose oba signala (analogni i digitalni)

HART je tipični request-response komunikacioni protokol (master - slave), što znači da u toku normalnog rada svaki uređaj u polju može da bude prozvan od strane glavnog komunikacionog uređaja (host). U toku normalnog rada vrijeme odziva iznosi približno 500 ms za svaki uređaj u polju, bez ometanja prenosa analognog signala. Obično postoji mogućnost spajanja dva hosta na svaki HART krug. Primarni host je obično

- DCS (Distributed Control System),
- PLC (Programmable Logic Controller),
- PC (Personal Computer).

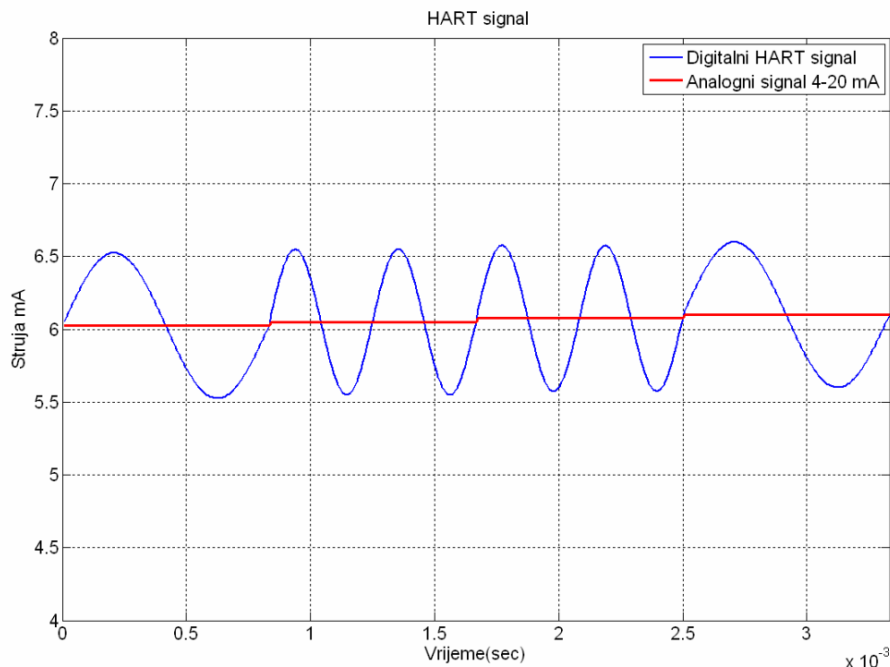
Sekundarni host je obično ručni terminal za parametrisiranje uređaja (mjerne opreme – transmitera, aktuatora ili kontrolera) ili drugi PC računar.

Neki HART uređaji podržavaju opcioni “burst” režim komunikacije koji omogućava bržu komunikaciju, 3 – 4 osvježenja podataka po sekundi. U “burst” modu, host nalaže uređaju u polju da konstantno šalje standardniju reply poruku (na primjer, vrijednost procesne varijable). Host prima ove ubrzane poruke sve dok ne javi uređaju u polju da prestane sa ovakvim načinom rada (HART Communication Foundation, 2014).

## Karakteristike HART protokola

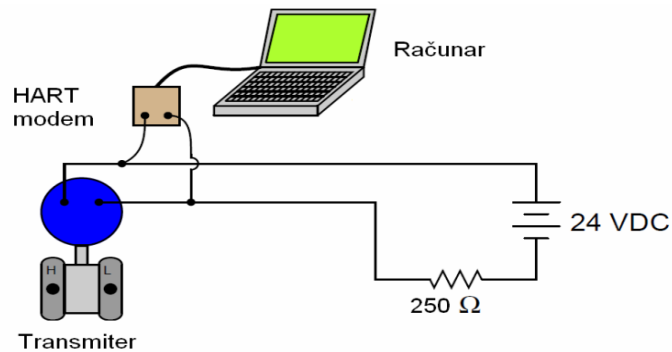
HART komunikacioni protokol baziran je na Bell 202 telefonskom komunikacionom standardu i radi primjenom FSK modulacije (frequency shift keying – frekventna modulacija). Na ovaj način omogućeno je superponiranje digitalnog signala na postojeći analogni signal. Digitalni signal se sastoji od dvije frekvencije 1200 Hz koja predstavlja digitalnu 1, i 2200 Hz koja predstavlja digitalnu 0. Pošto je srednja vrijednost FSK signala jednaka nuli, prenos podataka ne utiče na vrijednost analogne veličine (4-20 mA) koja se prenosi.

Kao druga brža opcija prenosa podataka na fizičkom nivou u verzijama HART 6 i HART 7 može se koristiti Phase Shift Keying (PSK). PSK podržava znatno bržu komunikaciju sa standardnim command/ response (zahtjev/odgovor) propusnom moći od 10 do 12 transakcija po sekundi simultano sa analognim signalom 4-20 mA. Ovo je standardom odobrena specifikacija, ali komercijalno još nisu dostupna elektronička kola koja bi omogućila implementaciju za dvožične uređaje (HART Communication Foundation, 2014).



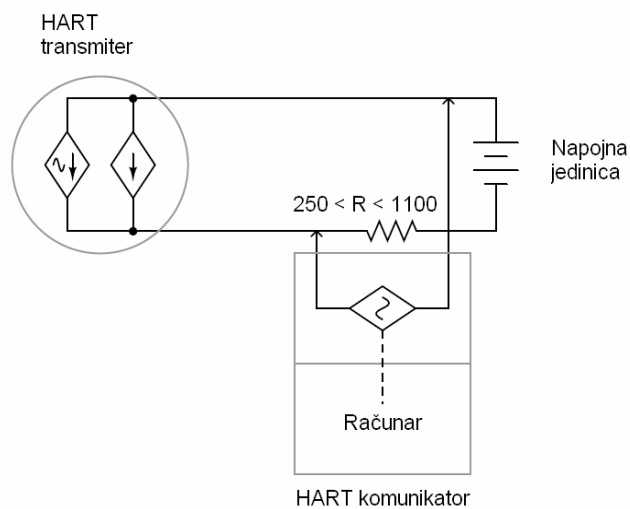
Slika 1 – HART digitalni signal  
 Figure 1 – Digital HART signal  
 Рис. 1 – цифровой HART-сигнал

Kada se pogleda standardni transmitterski HART strujni krug, pored transmitera i napojne jedinice u krugu se nalazi obično i otpornik od  $250\Omega$  (min  $230\Omega$ ). Ovaj otpornik služi za stvaranje naponskog signala 1-5 V, kojeg mogu detektovati naponski osjetnici, bilo da se radi o indikatoru, kontroleru ili pisaču. Većina PLC kartica koje imaju mogućnost HART komunikacije imaju ugrađen dodatni otpornik. Međutim, ukoliko se koristi HART modem, neophodno je poznavanje dužine kabla i njegove otpornosti da bi se znalo da li je neophodno dodavati dodatni otpornik u komunikacioni krug. Za relativno kratke distance, npr. 100 m, može se sa sigurnošću uzeti dodatni otpor od  $250\Omega$  koji će se staviti u komunikacioni krug. Stoga je neophodno voditi računa da u HART strujnom krugu ukupni otpor kruga (precizni otpornik i otpor kablova) bude između  $250\Omega$  i  $1100\Omega$ . Vrlo često se dešava da prilikom provjere HART uređaja na ispitnom stolu tehničari zaborave postaviti u strujni krug odgovarajući otpornik, te samim tim nailaze na problem u ostvarivanju komunikacije sa samim uređajem. S druge strane, prevelik otpor kruga, čak i od  $1100\Omega$ , može dovesti do prevelikog pada napona, te samim time ugroziti rad transmitera koji neće imati dovoljno napona za normalan rad.



Slika 2 – Povezivanje HART modema  
 Figure 2 – HART modem connection  
 Рис. 2 – подключение HART-модема

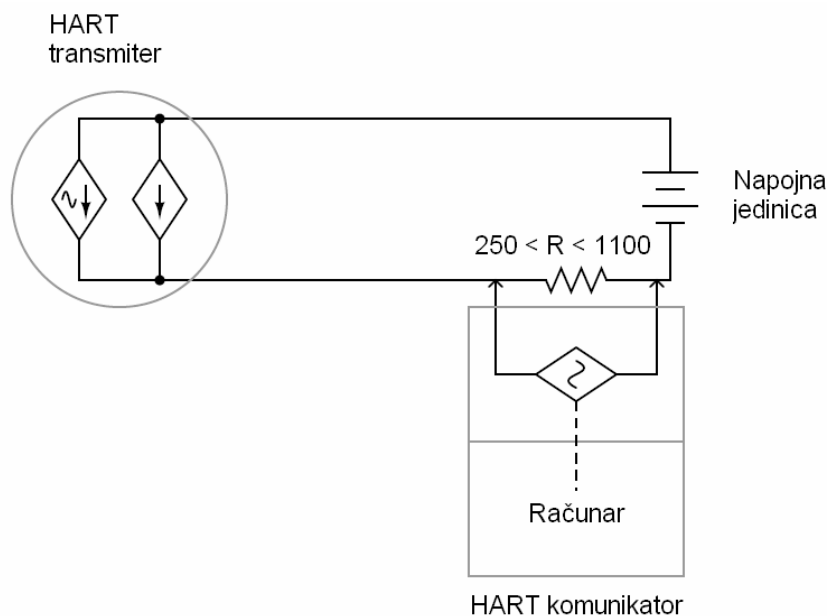
HART transmitter može se modelirati sa dva paralelna strujna izvora – jedan DC i jedan kao AC izvor. DC strujni izvor osigurava signal od 4 do 20 mA koji predstavlja procesnu veličinu i analogni strujni izlaz. AC strujni izvor se uključuje i isključuje po potrebi da kreira (ugradi) HART audio frekvencijski signal od 1 mA P-P (1 mA peak-to-peak), koji je neophodan za komunikaciju. Unutar transmitera se nalazi i HART modem za interpretaciju AC naponskih tonova kao HART paketa. Stoga se prenos podataka odvija putem AC strujnog izvora, a primanje podataka se odvija putem naponski osjetljivog modema, i to sve u sklopu transmitera i koristeći samo jednu paricu koja prenosi 4-20 mA DC signal (Kuphaldt, 2014).



Slika 3 – Model HART transmitera  
 Figure 3 – HART transmitter model  
 Рис. 3 – модель HART-трансммитера

Radi jednostavnosti spajanja u polju, HART uređaji su dizajnirani tako da se mogu spajati paralelno jedan sa drugim. Na ovakav način otklanja se potreba za prekidom strujnog kruga (petlje) i prekidom DC strujnog signala svaki put kada se želi spojiti HART komunikator za komunikaciju sa transponderom. HART komunikator se može modelirati kao AC naponski izvor (jer HART standard definiše da master uređaj u HART mreži šalje AC naponski signal, dok slave uređaj šalje AC strujni signal), zajedno sa drugim HART naponski osjetljivim modom za prijem HART podataka.

Generalno, uputstva proizvođača HART komunikatora preporučuju direktno paralelno spajanje sa HART instrumentima. Međutim, validno je i vrlo često i uobičajeno spajanje komunikatora paralelno sa otpornikom kao na narednoj slici, posebno zbog same fizičke izvedbe strujnog kruga i jednostavnijeg spajanja na izvode otpornika nego na redne stezaljke.



Slika 4 – Spajanje HART komunikatora  
 Figure 4 – HARTcommunicator device connection  
 Рис. 4 – подключение HART-коммуникатора

## Struktura HART protokola

HART protokol bazira se na OSI (Open System Interconnection) referentnom modelu koji je razvijen od strane ISO (ISO – International Organization for Standardization) (DIN ISO 7498). OSI model obezbjeđuje strukturu i sve neophodne elemente komunikacionog sistema. Sam

HART protokol koristi reducirani OSI model, gdje su implementirana samo tri nivoa (sloja) od ukupno sedam, a to su nivoi: nivo 1 – fizički sloj (Layer 1), nivo 2 – sloj veze (Layer 2) i nivo 7 – aplikacijski sloj (Layer 7).

Prvi nivo (Layer 1) predstavlja fizički nivo komunikacije, koji radi na FSK principu kako je već prethodno navedeno.

Drugi nivo (Layer 2) predstavlja sloj veze i utvrđuje format HART poruka. Pošto je HART master-slave protokol, sve komunikacijske aktivnosti potiču od master-a. Struktura HART poruka bit će navedena u nastavku rada.

Sedmi nivo (Layer 7) predstavlja aplikacijski nivo, koji uvodi set instrukcija za komunikaciju. Master šalje poruke sa zahtjevima za određene varijable (vrijednosti) prema uređajima u polju. Ove varijable mogu biti različitog tipa. Uređaji u polju “tumače” ove zahtjeve kako je to definisano u HART-u i šalju ih prema master-u. Da bi komunikacija između uređaja bila što efikasnija, razvijene su klase usklađenosti za master uređaje, kao i klase komandi za opremu u polju. Postoji šest klasa usklađenosti za master uređaje, dok su komande za opremu u polju podijeljene na tri kategorije (Boyes, 2009). Klase usklađenosti su:

- čitanje mjerene varijable,
- čitanje univerzalnih informacija,
- pisanje uobičajenih (standardnih) parametara,
- čitanje specifičnih informacija,
- pisanje izabranih parametara,
- čitanje i pisanje cjelokupne baze podataka.

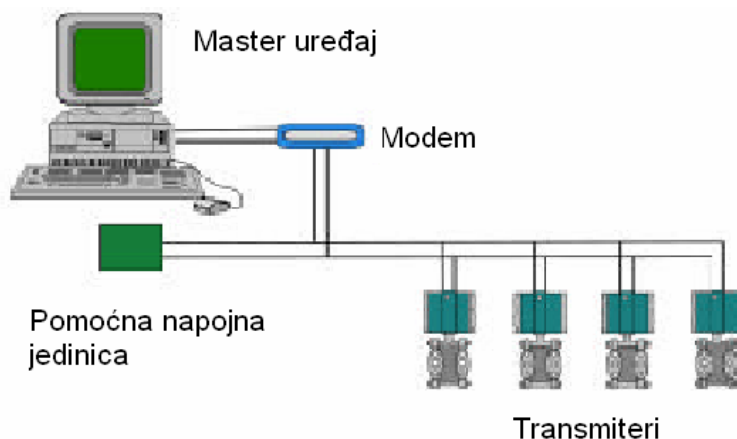
Klase HART komandi, kao što je već rečeno, podijeljene su u tri grupe: univerzalne (Universal), uobičajene (Common Practice) i specifične (Device-Specific).

## Topologije HART-a

HART uređaji mogu da rade u dvije različite mrežne konfiguracije: Point-to-Point ili Multidrop. Point-to-point topologija je najčešće korišteni način spajanja HART uređaja na upravljački sistem. U Point-to-Point modu signal 4-20 mA se koristi za jednu procesnu varijablu, dok se dodatne procesne varijable, konfiguracijski parametri i ostali podaci koji se nalaze na uređaju prenose digitalno korištenjem HART protokola. Za vrijeme digitalne HART komunikacije analogni signal ostaje nepromjenjen i može biti korišten za procesno upravljanje. Digitalni HART signal daje pristup sekundarnim varijablama i drugim podacima koji se mogu koristiti u svrhu održavanja i dijagnostike.

Multidrop mod rada je i glavna funkcionalnost HART protokola koju su dizajneri protokola željeli, ali se ona relativno rijetko koristi u industriji. Više HART instrumenata može se spojiti međusobno paralelno na jednu paricu

radi razmjene informacija između tih instrumenata i hosta. Multidrop mod rada zahtjeva samo jednu paricu i dodatnu napojnu jedinicu koja napaja do 15 uređaja (HART 5) ili 62 uređaja (HART 7). Sve procesne vrijednosti se prenose digitalno. U ovom modu rada sve adrese uređaja koje su na mreži (u jednom krugu) moraju biti jedinstvene u opsegu od 1 do 15 (ili 1–63 u zavisnosti od revizije HART protokola), i struja kroz svaki od njih mora biti fiksna na minimalnoj vrijednosti (4 mA). Za komunikaciju sa uređajima u polju koriste se standardne HART komande za čitanje procesnih varijabli ili parametara uređaja. Glavni nedostatak ovakvog načina rada HART uređaja je relativno mala brzina prenosa od 1200 bps (bita po sekundi). Vremenski ciklus koji je neophodan da se iščita jedna informacija sa uređaja iznosi aproksimativno 500 ms. To znači da za mrežu od 15 uređaja vrijeme neophodno za skeniranje i čitanje primarne varijable (mjerne veličine) sa svih uređaja iznosi aproksimativno 7,5 sekundi. Multidrop način spajanja instrumenata obično se koristi u slučajevima kada se vrši mjerenje i kontrola na instalacijama koje su znatno razučene, kao što su cjevovodi, kao i za mjerenja čije su promjene relativno spore.



Slika 5 – HART uređaji spojeni u multidrop mrežu  
 Figure 5 – HART field devices connected in a multidrop network  
 Рис. 5 – HART-устройства соединенные в мультидропную сеть

Kod projektovanja multi-drop HART mreže mora se obratiti pažnja na sledeće:

- karakteristike kablova koji se koriste,
- startnu struju svih uređaja na mreži,
- struju ustaljenog stanja svih uređaja,
- minimalni startni napon svih uređaja,
- napojnu jedinicu koju koriste uređaji na mreži (aktivni izvor napajanja ili napajanje kroz krug).

## Kablovi i napajanje

Teoretska gornja granica dužine kablova prilikom instalacije za HART iznosi 3000 m, što je zadovoljavajuće za većinu instalacija. Međutim, električne karakteristike kablova, većinom kapacitansa, ali i otpornost kablova, kao i broj uređaja koji su spojeni na njega, mogu znatno uticati na maksimalnu dozvoljenu dužinu. Sledeća formula može se koristiti za izračunavanje maksimalne dužine kablova (Park, et al, 2003):

$$L = \left[ \frac{65 \cdot 10^6}{R \cdot C} \right] \cdot \left[ \frac{C_f + 10000}{C} \right]$$

gdje su:

L – maksimalna dužina u metrima

R – ukupni otpor kruga ( $\Omega$ )

C – kapacitansa kablova ( $\frac{\text{pF}}{\text{m}}$ )

$C_f$  – maksimalni kapacitet uređaja (pF).

Ako se uzme da su dati sledeći podaci  $R=250 \Omega$ ,  $C=150 \frac{\text{pF}}{\text{m}}$  i  $C_f=5000 \text{ pF}$ , tada se može izračunati da je maksimalna dozvoljena dužina kablova  $L=1633 \text{ m}$ .

Uzemljenje takođe može znatno uticati na interferenciju na HART petlji, te se stoga mora obratiti posebna pažnja i na uzemljenje. Signalna petlja treba biti spojena na uzemljenje samo na jednom mestu, odnosno u jednoj tački. Generalno, najbolja lokacija za spajanje uzemljenja je u razvodnom ormaru, u blizini napojne jedinice. U novije vrijeme često se primjenjuje i standard IEC 61000-5-2 (IEC 61000-5-2 Electromagnetic compatibility EMC-Part 5 Installation and mitigation guidelines) koji preporučuje uzemljenje kablova na svakom kraju point-to-point instalacije i na svakom kraju multidrop instalacije. Na ovakav način osigurava se najbolja zaštita od EMC, kao i sigurnost. Ovaj metod pretpostavlja da su sve tačke uzemljenja na istom potencijalu (ekvipotencijalna mreža).

Napojne jedinice takođe mogu da ometaju ispravan rad HART uređaja, te se stoga mora voditi računa o kvaliteti napojnih jedinica koje se koriste. Generalno se može reći da većina napojnih jedinica industrijskih proizvođača zadovoljava sve neophodne uslove HART specifikacije. Poznato je da neki tipovi solarnih napajanja stvaraju smetnje u HART komunikaciji. Upravljačke jedinice punjenja koje rade na principu pulsno-širinske modulacije mogu stvarati znatne smetnje u radu uređaja, te se stoga mora obratiti posebna pažnja na njihove karakteristike. Karakteristike koje je neophodno da ispunjavaju napojne jedinice koje se koriste za HART komunikaciju date su kao (<http://www.hartcomm.org>, nd):

- maksimalna valovitost (47 – 125 Hz) = 0,2 V p-p,
- maksimalni šum (500 Hz – 10 kHz) = 1,2 mV rms,
- maksimalna serijska impedansa (500 Hz – 10 kHz) = 10  $\Omega$ .



Tabela 1 – Dozvoljene dužine kablova  
 Table 1 – Allowable cable lengths  
 Таблица 1 – Допустимая длина кабелей

Broj uređaja na mreži	Kapacitansa kabla (pf/m)			
	Dužina kabla (m)			
	65 pf/m	95 pf/m	160 pf/m	225 pf/m
1	2768	2000	1292	985
5	2462	1815	1138	892
10	2154	1600	1015	769
15	1846	1415	892	708

## Struktura HART poruke

Struktura HART poruka može se prikazati kao na sledećoj slici (SAMSON, 2012).

PREAMBLE	START	ADDR	COM	BCNT	[STATUS]	[DATA]	CHK
----------	-------	------	-----	------	----------	--------	-----

Slika 6 – Struktura HART okvira  
 Figure 6 – HART data link frame format  
 Рис. 6 – Структура HART окружения

PREAMBLE – preambula, predstavlja 5 do 20 bajta heksadekadne vrijednosti FF (sve digitalne 1), i pomaže prijemniku da sinhronizuje niz podataka.

START – Start Character (starni karakter) može imati više vrijednosti i ukazuje na tip poruke: master to slave, slave to master, ili burst poruka od uređaja, a takođe i adresni format tj. da li se radi o kratkom okviru ili dugom okviru.

ADDR – Address (adresa) uključuje i adresu izvora (mastera) i adresu uređaja (slave). U formatu dugog okvira ima 38 bita i sadrži jedinstveni identifikator odgovarajućeg uređaja.

COM – Command, komandni bajt sadrži jednu od HART komandi. Univerzalne komande su u opsegu od 0 do 30; uobičajene komande su u opsegu od 32 do 126, dok su specifične komande u opsegu od 128 do 253.

BCNT (byte count) – broj bajta sadrži broj bajtova koji slijede u statusnom i podatkovnom dijelu. Prijemnik ovu informaciju koristi da sazna kada će poruka biti kompletna.

STATUS – statusno polje ima dva bajta i javlja se samo u porukama odgovora sa slejva (sa uređaja). Ovo polje sadrži informaciju o greškama komunikacije u odlazećoj poruci, statusu primljene komande i o statusu samog uređaja.

DATA – polje podataka može i ne mora biti popunjeno (ne mora postojati), u zavisnosti od konkretne komande. Univerzalne i uobičajene poruke koriste do 32 bajta (HART 6 uključuje univerzalne komande 20, 21, i 22 koje koriste nove 32-bitne Long Tag karaktere), dok za verziju HARTA 5 ovo polje iznosi 25 bajta. Takođe, u budućnosti se može očekivati da će se ovo polje proširiti u narednim HART revizijama.

CHK – checksum – ovaj bajt se kreira na osnovu provjere ekskluzivnog ILI (EXOR) ili provjere uzdužnog pariteta za sve prethodne bajte (počevši od startnog karaktera). Zajedno sa paritetnim bitom pripojenim na svaki bajt na ovaj način se otkrivaju greške u komunikaciji.

## HART komande

HART komande su podijeljene u tri grupe: univerzalne (Universal), uobičajene (Common Practice) i specifične (Device Specific) (HART Communication Foundation, 2014). Svi uređaji koji koriste HART protokol moraju da podržavaju univerzalne komande. One obezbjeđuju pristup informacijama (podacima) koje se koriste u normalnom radu, kao što je čitanje primarne varijable i njene mjerne jedinice. Uobičajene komande obezbjeđuju funkcionalnosti koje koriste mnogi, ali ne i svi HART uređaji. Ukoliko su te komande implementirane, treba ih koristiti za realizaciju njihovih funkcija. Specifične komande predstavljaju funkcije koje su jedinstvene za svaki posebni uređaj. Ove komande pristupaju postavkama i kalibracionim informacijama, kao i informacijama koje su vezane za samu konstrukciju uređaja. Informacije o ovim komandama obezbjeđuje sam proizvođač opreme. Univerzalne komande koje koristi HART su:

- čitanje informacija o proizvođaču i tipu uređaja,
- čitanje primarne varijable (PV) i mjerne jedinice,
- čitanje strujnog izlaza i procentualne vrijednosti opsega mjerene veličine,
- čitanje do 4 predefinisane dinamičke varijable,
- čitanje i pisanje korisničkih tekstualnih poruka,
- čitanje informacija o senzoru (opseg uređaja, mjerne jedinice),
- čitanje i pisanje broja za asembliranje,
- pisanje pool adrese.

Uobičajene komande su:

- čitanje do 4 dinamičke varijable,
- postavljanje operativnih parametara,
- kalibracija,
- postavljanje fiksnog strujnog izlaza,
- izvođenje samotesta i glavnog reseta,
- postavljanje PV jedinica,

- skraćenje PV nula,
- skraćenje DAC nula i pojačanja,
- postavljanje prenosne funkcije (funkcija kvadratnog korjena ili linearna funkcija),
- postavljanje serijskog broja senzora,
- čitanje ili postavljanje (dodjeljivanje) dinamičkih varijabli.

## Wireless HART

HART 7 uključuje, pored žičane komunikacije, i bežičnu komunikaciju prema opremi u polju. WirelssHART je prvi standard koji definiše bežični prenos podataka za aplikacije u procesnoj industriji. Objavljen je 2007. godine od strane HART Communication Foundation, a odobren u aprilu 2010. godine od strane IEC kao međunarodni standard IEC 26591. Uloga WirelessHART-a je da se sačuva postojeća oprema i sva stečena znanja kod instalacije i održavanja, ali i da se korištenjem bežične tehnologije smanji cijena instalacije novih mjernih mjesta, pojednostavi pristup naprednim dijagnostičkim informacijama, kao i da se osigura bolji nadzor nad opremom. WirelessHART standard oslanja se na postojeći HART standard, IEEE-802.15.4 standard, AES-128 (Advanced Encryption Standard) enkripciju i na DDL/EDDL (Device Description Language/ Electronic Device Description Language) tehnologiju.

WirelessHART protokol radi na frekvenciji od 2,4 GHz ISM (Industry, Scientific, Medical frequency bands) opsegu fizičkog sloja, a koristeći IEEE 802.15.4 standard TDMA (Time Division Multiple Access) za pristup komunikacionim mediju. Kompletno vrijeme komunikacije se izvršava unutar unaprijed definisanog vremenskog okvira koje iznosi 10 ms (Kostadinović, et al., 2010). U svakom trenutku samo jedan par instrumenata komunicira na jednom frekvencijskom kanalu, ali je moguće da više instrumenata može da komunicira u isto vrijeme na različitim kanalima.

Po standardu IEEE802.15.4 radio-signalni imaju relativno male snage, te stoga se koristi pojačanje do 10 dB da bi komunikacija na udaljenostima do 200 m bila moguća. U slučajevima gdje je potrebna udaljenost manja, može se smanjiti pojačanje, da bi se smanjila vjerovatnoća interferencije sa ostalim mrežama koje koriste ISM frekvencijski opseg.

WirelssHART koristi IEEE 802.15.4 kompaktilni DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) radio-signal sa tehnikom skakanja između komunikacionih kanala da bi se obezbjedila sigurnost i pouzdanost. Ovaj nivo definiše karakteristike radio-signala kao što su metod signaliziranja, jačina signala i osjetljivost uređaja. Kao što je već rečeno, WirelessHART radi na 2400-2483,5 MHz besplatnom ISM opsegu frekvencija sa brzom prenosu do 250 kbit/s. Njegovi kanali su numerisani od 11 do 26 sa

5MHz razmakom između susjednih kanala. Sam kanal 26 u mnogim slučajevima nije zakonski dozvoljen, tako da nije ni podržan. DSSS tehnologija obezbjeđuje 8 dB dodatnog pojačanja koji obezbjeđuje jedinstvene algoritme kodiranja.

Velika prednost uređaja koji koriste WirelessHART jeste da svaki uređaj u mreži može da se koristi kao ruter za poruke od drugog uređaja. Drugim riječima, uređaj ne mora da direktno komunicira sa krajnjim prijemnikom, nego samo prosljeđuje poruku do sledećeg najbližeg uređaja. Na ovaj način proširuje se opseg mreže i osiguravaju redundantni komunikacioni putevi (rute) radi povećanja pouzdanosti. Da bi se osigurala dostupnost redundantnih ruta, poruke se konstantno šalju putem različitih ruta. Ukoliko poruka ne može stići na željenu destinaciju jednim putem, ona se automatski prosljeđuje na pouzdanu rutu, redundantnu rutu bez gubitka podataka.

Jedna od karakteristika WirelessHART protokola je i vremensko sinhroniziranje podatkovnog nivoa (data link layer). On definiše striktni vremenski okvir od 10 ms, koristeći TDMA tehnologiju da obezbjedi komunikaciju bez kolizije i determinističnu komunikaciju. Niz vremenskih slotova formira poseban periodičan frejm koji se naziva superfrejm za prenos podataka. Svi superfrejmovi počinju od ASN (Absolution Slot Number) 0, trenutka kada je mreža prvi put kreirana. Da bi se poboljšala kvaliteta prenosa, WirelessHART ima mogućnost kreiranja "crnih listi" kanala, a svaki kanal na kojem se javljaju znatne smetnje može se staviti na ovu listu. Na ovaj način mrežni administrator može potpuno isključiti neke od kanala koji su na "crnoj listi".

Za razliku od ožičenog HART protokola, WirelessHART koristi pet nivoa OSI modela. WirelessHART koristi nivo mreže i transportni nivo. Ova dva nivoa imaju zadatak da obezbjede sigurnu i pouzdanu komunikaciju krajnjih uređaja. Nivo veze i mrežni nivo osiguravaju sigurnosne servise. Na nivou (sloju) veze MAC (Media Access Control) sloj i mrežni nivo osiguravaju integritet podataka. MAC sloj koristi kombinaciju CRC (Cyclic Redundancy Check) i MIC (Message Integrity Code), iako CRC ima ograničenu vrijednost i dalje se koristi. Mrežni sloj koristi različite ključeve da osigura povjerljivost i integritet podataka za krajnje korisnike (Chen, et al, 2010).

Svaka WirelessHART mreža uključuje tri glavna elementa: gateway, opremu u polju (Wireless field device), i mrežog upravitelja (Network manager), koji može biti integrisan u gateway, host aplikaciju ili kontroler automatskog upravljanja. Primarni fokus mrežnog upravitelja stavljen je na najbolju iskorištenost mrežnih resursa radi postizanja optimalnih performansi brzine i količine prenesenih podataka, uz maksimalnu uštedu energije, kao i na sigurnost mreže. Gateway osigurava povezivanje između WirelessHART uređaja i upravljačkog sistema ili host aplikacija koje

su spojene na brzu komunikacionu mrežu (kao što su PROFIBUS, ETHERNET i sl.). Najčešće u sklopu gateway uređaja nalazi se integrisani mrežni upravitelj. Kao elementi mreže takođe se mogu pojaviti i pojačavači signala (Repeater), čiji je glavni cilj pojačavanje signala radi povećanja dometa WirelessHART mreže, i WirelessHART adapteri koji omogućuju povezivanje konvencionalnih HART uređaja na WirelessHART interfejs. Adapteri se mogu nalaziti bilo gdje u 4-20 mA strujnom krugu i mogu biti baterijski napajani ili se mogu napajati direktno iz 4-20 mA kruga.

## Zaključak

Može se reći da je HART protokol jedna od najpopularnijih načina komunikacije sa mjernom opremom u industriji. Moderniji digitalni standardi u komunikaciji sa opremom u polju, kao što su PROFIBUS i FOUNDATION Fieldbus, koji pružaju slične ili bolje karakteristike kao i HART protokol, postaju sve popularniji u industrijskom okruženju. Međutim, čini se da će se HART protokol zadržati još mnogo godina u širokoj industrijskoj primjeni. Tome ide u prilog i činjenica da se i sam HART protokol kontinualno razvija, a kao dokaz tome je uvođenje revizije HART 7, koja definiše bežični prenos podataka. Na ovakav način stavlja se u prvi plan digitalna razmjena podataka između uređaja, a ne tradicionalna analogna sa signalom od 4 do 20 mA. Komunikacija putem radio-signala eliminira teoretsku brzinsku barijeru od 1200 bita po sekundi, koja postoji kod ožičenog HART protokola, a pri tome i dalje dozvoljava primjenu standardnih programskih paketa za komunikaciju između računara i uređaja, kao i upotrebu HART komunikatora za podešavanje i parametriranje uređaja.

## Literatura

- Boyes, W. 2009. *Instrumentation Reference Book 4th Edition*. USA: Butterworth-Heinemann.
- Chen, D., Nixon, M., & Mok, A. 2010. *WirelessHART: Real Time Mesh Network for Industrial Automation*. USA: Springer.
- HART Communication Foundation. 2014. *HART Communication Application Guide*. Austin USA: HART Communication Foundation.
- Kostadinović, M., Popović, B., & Popović, N. 2010. Dizajn i implementacija mrežnih uređaja koji koriste WirelessHART protokol. *Zbornik radova Infoteh-Jahorina Vol.9*. U: , 2010, Jahorina. , str. 123-127
- Kuphaldt, T. 2014. *Lessons in Industrial Instrumentation*. [e-book]. Preuzeto sa [http://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/book/liii\\_2v06.pdf](http://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/book/liii_2v06.pdf) 2014 Nov 1.
- Park, J., Mackay, S., & Wright, E. 2003. *Practical Data Communication for Instrumentation and Control*. Velika Britanija: Newnes.
- SAMSON. 2012. *HART Communications*. Frankfurt: Samson AG. Preuzeto sa <http://www.hartcomm.org/>

## ПРИКЛАДНЫЕ HART ПРОТОКОЛЫ - ДЛЯ СВЯЗИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ПОЛЕВЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации  
ТИП СТАТЬИ: профессиональная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме:

*Умные протоколы инструментов предназначены для приложений, где обрабатываются данные, собранные с помощью приборов, датчиков и сенсоров, использующих методы цифровой связи.*

*HART-протокол – цифровой промышленный протокол передачи данных, попытка внедрить информационные технологии на уровень полевых устройств. На сегодняшний день в мире данная технология используется в более чем 40 млн. устройств. Модулированный цифровой сигнал, позволяющий получить информацию о состоянии датчика или осуществить его настройку, накладывается на токовую несущую аналоговой токовой петли уровня 4–20 мА. Таким образом, питание датчика, снятие его первичных показаний и вторичной информации осуществляется по двум проводам. HART-протокол – это практически стандарт для современных промышленных датчиков. Приём сигнала о параметре и настройка датчика осуществляется с помощью HART-модема или HART-коммуникатора. К одной паре проводов может быть подключено несколько датчиков. По этим же проводам может передаваться сигнал 4–20 мА. В данной статье описываются характеристики и применение HART-протокола.*

Ключевые слова: HART-протокол, сигнал, протокол, оцифровка.

---

## APPLICATION OF THE HART PROTOCOL FOR COMMUNICATION WITH SMART FIELD DEVICES

FIELD: Telecommunications  
ARTICLE TYPE: Professional Paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*Smart instrumentation protocols are designed for applications where data is collected from instruments, sensors and actuators by digital communication technology. The HART protocol is a typical smart instrumentation Fieldbus. More than 40 million HART devices are installed worldwide, and the HART technology is the most widely used field communication protocol for intelligent process instrumentation. Two communication channels supported by HART devices are the current loop*

4-20 mA, and the HART digital channel. A digital communication channel simultaneously transmits information along the same wire and without disruption to the analog channel. This bi-directional communication channel provides a real time access to available data on HART smart devices. This paper deals with the properties and the application of the HART protocol.

#### Introduction

The HART protocol is a typical smart instrumentation Fieldbus that can operate in a hybrid 4–20 mA digital fashion. The HART communication protocol is an open standard owned by the HCF member companies. Products that use the HART protocol to provide both analog 4-20 mA and digital signals provide flexibility which is not available by any other communication technology.

#### HART protocol properties (Basic Concept of HART)

The HART communication protocol is based on the Bell 202 telephone communication standard and operates using the frequency shift keying (FSK) principle. This allows the superposition of the digital signal to an analog current signal. A digital signal is composed of two frequencies, 1200Hz which represents the digital 1, and 2200Hz which represents the digital 0. Because the average value of the FSK signal is always zero, the 4–20 mA analog signal is not affected.

#### HART protocol structure

The HART protocol is implemented with the OSI model which is developed by the ISO (DIN ISO 7498). The OSI model provides the structure and all the necessary elements of the communication system. The HART protocol uses a reduced OSI model, where there are implemented only three layers out of seven: a physical layer, a data link layer, and an application layer. To make the interaction between HART devices as efficient as possible, classes of conformity have been established for masters as well as classes of commands for slaves.

#### HART topologies

HART devices can operate in one of two network configurations: either the point-to-point one or the multidrop one. The point-to-point topology is the most common way of connecting a HART device to the control system. In the point-to-point mode, the traditional 4–20 mA signal is used to communicate one process variable, while additional process variables, configuration parameters, and other device data are transferred digitally using the HART protocol.

The multidrop mode is the main functionality of the HART protocol wanted by protocol designers. However, due to its slow speed, it is rarely used in industry. More HART instruments can be connected to each other in parallel to a single pair of wires to exchange information between these instruments and the host. The multidrop mode requires only a single pair of wires and an auxiliary power supply unit which supplies up to 15 devices

(HART 5) or 62 devices (HART 7). In this mode, all field device polling addresses must be unique in a range of 1-15 (or 1-63), and the current through each device is fixed to a minimum value.

#### Cables and power supply

A theoretical limit for the cable length in the HART communication is 3000 meters. However, the electrical characteristics of the cable, mostly capacitance, as well as the combination of connected devices, can affect the maximum allowable cable length of the HART network.

#### HART commands

The HART commands are divided into three classes: Universal, Common Practice and Device Specific. All devices using the HART protocol must recognize and support the universal commands. The Common Practice commands provide functions that can be carried out by many but not all field devices. The Device Specific commands provide functions that are unique and restricted to an individual device.

#### Wireless HART

In addition to wired communication, the HART 7 includes wireless communication. The role of Wireless HART is to preserve the existing equipment and all the acquired knowledge in installation and maintenance, and also, by the use of wireless technologies, to reduce the price of installation of new measurement points, simplify access to advanced diagnostic information, and ensure better control over the equipment. The WirelessHART standard relies on the existing HART standard, the IEEE-802.15.4 standard, the AES-128 encryption and the DDL / EDDL technology.

#### Conclusion

It can be said that the HART protocol is one of the most popular ways to communicate with measuring equipment in industry. More modern digital standards in communication with field equipment, such as PROFIBUS and FOUNDATION Fieldbus providing similar or better performances as well as the HART protocol, are becoming increasingly popular in the industrial environment. However, it seems that the HART protocol will remain widely applied for many years. This is supported by the fact that the HART protocol continually evolves, and, as proof of this, there is the introduction of revision 7 which defines wireless data transmission.

Key words: HART protocol, signals, protocols, digitization.

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 07. 12. 2014.  
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 02. 01. 2015.  
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 04. 01. 2015.



# UTICAJ LJUDSKOG FAKTORA U VOJNOM VAZDUHOPLOVNOTEHNIČKOM ODRŽAVANJU

Srbojjub J. Marinković, Aleksandar Ž. Drenovac  
98. vazduhoplovnotehnički bataljon, VP 5017 Lađevci,  
e-adresa: luiggikg@hotmail.com; aleksandar.drenovac@yahoo.com

DOI: 10.5937/vojtehg63-6496

OBLAST: vazduhoplovno održavanje, menadžment ljudskih resursa,  
sistemska inženjerstvo

VRSTA ČLANKA: stručni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

## Sažetak:

*Vazduhoplovnotehničko održavanje, kao specifična oblast održavanja vojne tehnike, karakteriše se visokim zahtevima pouzdanosti, zasnovanim na propisima i tehničkim standardima. Sistemski pristup održavanju predstavlja ključni element kvalitetnog održavanja, a uticaj vazduhoplovnotehničkog kadra na svim nivoima ima odlučujući uticaj na krajnje rezultate održavanja vazduhoplova.*

Ključne reči: *vazduhoplov, održavanje, ljudski faktor, standardi.*

## Uvod

Vazduhoplovnotehničko održavanje (VTOd) u savremenom vazduhoplovstvu predstavlja najznačajniji aspekt preventivnog osiguranja bezbednosti letenja i praktično se, u izvesnom delu, javlja i kao mera inženjeringa u delu projektovanja bezbednosti.

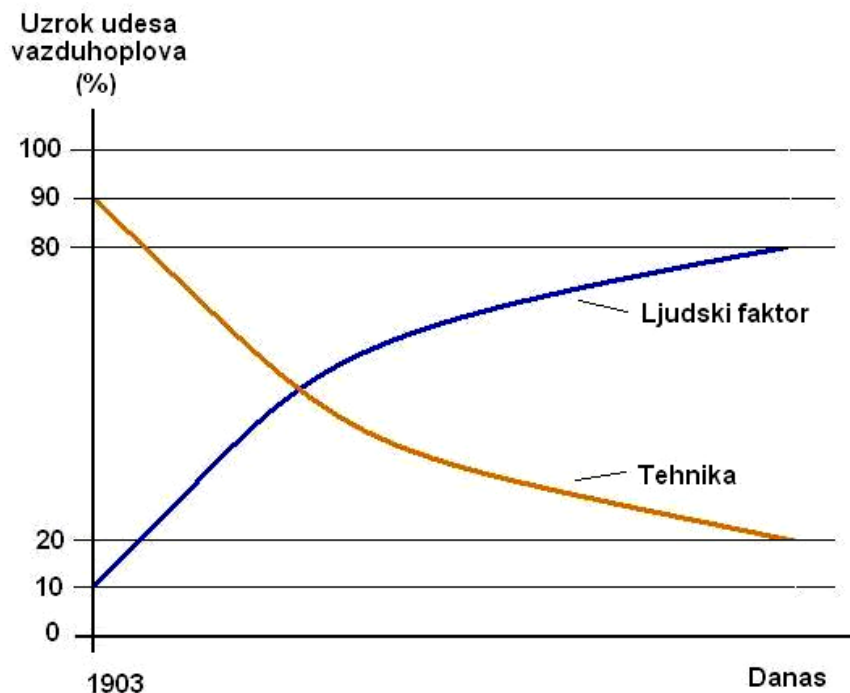
Tehnička organizacija za održavanje vazduhoplova ima za cilj i odgovorna je da obezbedi siguran i pouzdan rad vazduhoplova i opreme koje održava. Rukovodstvo tehničke organizacije nosi krajnju odgovornost za ukupan uspešan rad na održavanju vazduhoplova (Razumenić, 2003).

Da bi odgovorilo svojim zadacima, rukovodstvo mora da obezbedi potrebna materijalna i finansijska sredstva, kao i potreban stručni kadar, čime bi se održali bezbednosni standardi sa kojima su vazduhoplovi ili oprema proizvedeni, i sa kojim su počeli radni vek. Pri tome, svakog trenutka osnovna referenca i polazna tačka moraju biti potreba i obaveza da se osigura bezbednost letenja, kao i svest o vrednosti tehnike i ljudskog života, čime se induktivnim putem lako dolazi do zaključka o velikom značaju ljudskog faktora (kadra angažovanog na održavanju vazduhoplova).

## Značaj ljudskog faktora u VTOd-u

Ljudski faktor dobija sve značajniju, praktično i primarnu ulogu u vazduhoplovnotehničkom održavanju. Tome direktno doprinosi značaj ljudskog faktora za bezbednost letenja.

U odnosu na početke razvoja i uvođenja avijacije u upotrebu, kada je u udesima vazduhoplova relativno učešće (procentualni odnos) tehnike i ljudskog faktora kao uzroka nesreća bilo 90:10, došlo se do odnosa 20:80 u savremenom dobu, slika 1 (Marušić, et al, 2007, p.37). U apsolutnom iznosu, višestruko je smanjen broj ljudskih i tehničkih grešaka. Drastično je smanjen i broj nesreća u odnosu na broj poletanja, a promeni odnosa u najvećoj meri je doprinelo konstantno unapređenje tehnike, koja je razvojem i primenom novih tehnologija i naučno-tehničkih dostignuća postajala sve pouzdanija, uz istovremeno višestepeno obezbeđenje pouzdanosti delova i sklopova, ali i na rezultatima naučnih dostignuća zasnovani razvoj i unapređenje analitičkih, organizacionih, upravljačkih i tehničkih metoda, tehnika i alata.



Slika 1 – Aspekti uticaja ljudskog faktora  
Figure 1 – Aspects of the human factor impact  
Рис. 1 – Аспекты влияния человеческого фактора

Uticaj ljudskog faktora manifestuje se kroz ispoljavanje uticaja tehničkog i letaćkog sastava. Sa aspekta povećanja sigurnosti, na smanjenje broja ljudskih grešaka uticalo je uspostavljanje profesionalnih organizovanih sektora za održavanje vazduhoplova, uspostavljanje i nadogradnja procedura zasnovanih na rezultatima pozitivne prakse.

U pogledu održavanja vazduhoplova, veliki je značaj posvećen uspostavljanju posebne službe za održavanje vazduhoplova i daljem razvoju efikasnog i efektivnog sistema održavanja. Vazduhoplovnotehnički kadar bazira se i usavršava na iskustvima u održavanju, pozitivnoj praksi domaćeg i stranih vazduhoplovstava, primenjenim tehničko-organizacionim metodama, i stalnom ličnom i tehničkom razvoju i usavršavanju.

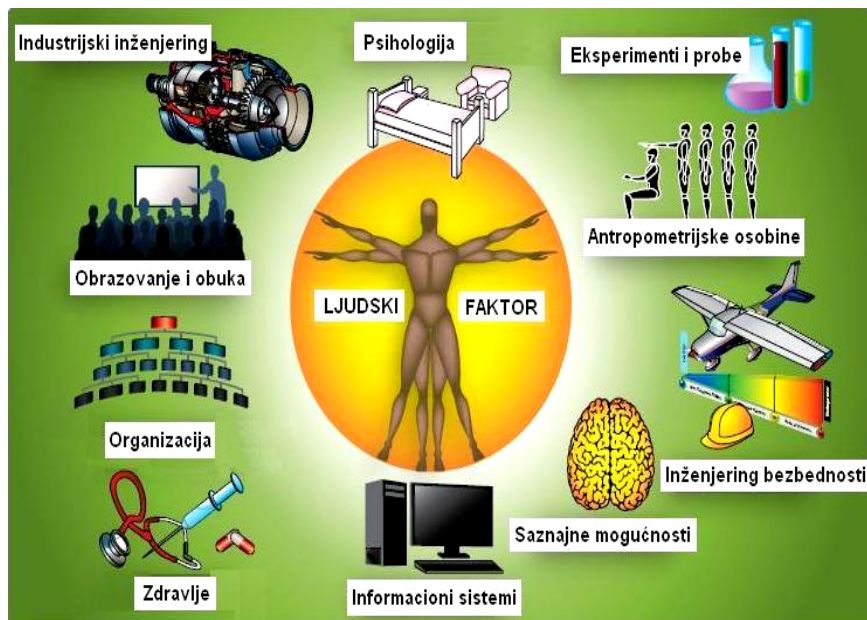
Značaj ljudskog faktora u vazduhoplovnotehničkom održavanju ogleda se i u uspostavljanju i doslednom sprovođenju dokumentovanog sistema održavanja vazduhoplova, koji ima ishodište u osnovnim normama i pravilnicima, kao i vazduhoplovnotehničkim uputstvima za svaki tip vazduhoplova i sve elemente opreme, sklopova i agregata vazduhoplova.

Isto tako, veoma značajan aspekt ljudskog faktora u vazduhoplovnotehničkom održavanju predstavlja saradnja vazduhoplovnih inženjera i tehničara sa letaćkim sastavom, posebno u inicijalnim procesima vezanim za korektivno održavanje vazduhoplova, odnosno za proces definisanja nepravilnog rada vazduhoplova, a samim tim i stvaranja optimalnih uslova za adekvatnu defektaciju neispravnosti.

## Uticaj ljudskog faktora

Razumevanje interakcije između organizacionih, individualnih i faktora timskog rada značajno je za uspostavljanje principa i sistema za obezbeđenje pouzdanog sistema vazduhoplovnotehničkog održavanja i umanjeње rizika od grešaka i nesrećnih događaja. Efikasno upravljanje prepoznatim faktorima predstavlja proaktivni pristup i preventivno delovanje.

Manifestacije uticaja ljudskog faktora su brojne, kao i aspekti uticaja, što se može videti i na slici 2. Javljaју se kroz sintezu više različitih elemenata, koji u zajedničkom delovanju ostvaruju uticaj na rezultate rada u vazduhoplovnotehničkom održavanju.



Slika 2 – Aspekti uticaja ljudskog faktora  
 Figure 2 – Aspects of the human factor impact  
 Рис. 2 – Аспекты влияния человеческого фактора

Statistika pokazuje da se 12 do 15% svih vazduhoplovnih nesreća desilo zbog propusta u održavanju vazduhoplova (Marušić, et al, 2007, p.37). Najčešći uzroci nastanka ovakvih grešaka su nesprovođenje radnih procedura na propisan način, odnosno njihovo skraćivanje. U izveštajima o uzrocima takvih nesreća najčešće se navodi: psihološki pritisak zbog nedostatka vremena održavanja pre poletanja vazduhoplova, nedostatak adekvatne opreme, nedovoljan trening tehničkog kadra, loša međusobna koordinacija tehničara, kao i premorenost i pad koncentracije tehničara koji izvode procedure održavanja.

Preko sto velikih svetskih avio-kompanija analiziralo je uzroke grešaka u održavanju vazduhoplova (mase preko 5700 kg) i došlo se do zaključka da su najčešći (Marušić, et al, 2007, p.38):

1. pogrešna montaža vazduhoplovnih komponenti,
2. ugradnja pogrešnih delova,
3. neprecizan razvod i spajanje električne instalacije vazduhoplova,
4. loše podmazivanje,
5. nedovoljno pričvršćeni poklopci motora i ostalih tehnoloških otvora na oplati,
6. neosigurani poklopci na mestima utakanja goriva ili motorskog ulja.

Mnoge greške nastaju zbog rutine i prevelike opuštenosti tehničara koji održavaju vazduhoplove, jer smatraju da zbog velikog pozitivnog iskustva neće načiniti nijednu grešku.

Takođe, uočeno je da postoje znatne oscilacije u pojavama grešaka tokom radnog dana, a da se najčešće javljaju u ranim jutarnjim satima.

Svetska vazduhoplovna praksa, vojna i civilna, prepoznala je dvanaest elemenata negativnog uticaja ljudskog faktora na održavanje vazduhoplova (AMT Handbook, pp.14/11-14/28):

1. Nedostatak komunikacije, koji predstavlja ključni ljudski faktor koji može rezultirati neodgovarajućim ili nepravilnim održavanjem. Komunikacija je stalni proces koji se odvija između tehničara za održavanje vazduhoplova i vazduhoplovnih inženjera, pilota, rukovalaca rezervnih delova i ostalih. Svaka komunikacija nosi i mogućnost nerazumevanja, što unosi i određenu dozu rizika. Posebno je karakterističan primer radova na održavanju, koje realizuju timovi iste ili različitih specijalnosti.

2. Nedostatak timskog rada, koji se nadovezuje na nedostatak komunikacije, i može biti posledica toga. Timski rad je potreban na svim nivoima održavanja vazduhoplova i ogleda se u razmeni znanja među tehničarima, koordinaciji aktivnosti na održavanju, saradnji sa letačkim sastavom na defektaciji. Kako bi se obezbedila i unapredila bezbednost letenja, timski rad podrazumeva uključenost svih i razumevanje akcija koje se preduzimaju. Nedostatak timskog rada može svaku aktivnost učiniti težom, rezultirati nedostatkom komunikacije i direktno uticati na bezbednost.

3. Nedostatak asertivnosti, koji predstavlja činilac koji može direktno uticati na rezultate održavanja i opštu bezbednost. Asertivnost je sposobnost izražavanja osećanja, mišljenja, verovanja i potreba na pozitivan, produktivan način. Ukoliko je atmosfera takva da ne postoji otvoreno izražavanje takvih stavova, brojni realni problemi mogu se prevideti i prećutati, i posredno ili neposredno dovesti do teških posledica. Zato rukovodioci održavanja moraju poznavati oblike ponašanja svojih potčinjenih, podsticati izražavanje različitih mišljenja i stavova, iskazivanje osećanja, ali i naći prave načine da iskoriste i usmere njihova znanja i talente, i obezbede odgovarajuća usavršavanja.

4. Nedostatak znanja, koji predstavlja element koji može direktno uticati na bezbednost vazduhoplova i može izazvati katastrofalne posledice. Održavanje se mora vršiti prema propisanim standardima i prihvaćenim instrukcijama, zbog čega je važno stalno obnavljanje znanja i praćenje vazduhoplovnih tehnologija i procedura. Tehničari moraju biti sigurni da koriste poslednje verzije uputstava, i da pri tome dosledno primenjuju korake navedene u procedurama. Kako bi se stanje unapredilo i predupredile negativne posledice, potrebno je stalno obnavljati i unapređivati znanja, ali i konsultovati iskusnije tehničare.

5. Nedostatak resursa, koji predstavlja element koji može uticati na kvalitet izvršenja radova, a ogleda se u nemogućnosti da se određeni zadatak izvrši zbog nedostatka sredstava. Vazduhoplovna sredstva, uključujući delove i sklopove, podležu posebnim standardima izrade i sposobnosti prihvatanja različitih opterećenja, i zahtevaju i odgovarajuće alate za održavanje. Korišćenje neodgovarajućih delova i alata, odnosno elemenata ispod propisanih standarda, može direktno uticati na bezbednost vazduhoplova. Upravo zato svi nivoi organizacije moraju biti svesni potrebe obezbeđivanja odgovarajućih resursa i njima upravljati na optimalan način. Na taj način vrši se i optimizacija vremena i novčanih sredstava, ali i obezbeđuje izvršavanje zadataka na bezbedan način.

6. Nedostatak svesnosti situacije, koji predstavlja stanje neprepoznavanja posledica određene akcije koja se preduzima. U vazduhoplovstvu nije uobičajeno da se automatizovano ponavljaju zadaci održavanja i dešava se da se izvršavaju rutinski. Kako bi se sprečio nastanak grešaka, potrebno je kod tehničara razvijati svest o potrebi izvršavanja svakog zadatka na propisan proceduralni način, i kao da se prvi put realizuje, sa punom pažnjom.

7. Odsutnost, koja predstavlja faktor koji u procesu održavanja može narušiti propisane procedure, a posebno se javlja kao mogućnost da se u održavanju preskoči detalj koji zahteva značajnu pažnju. Na odsutnost tokom realizacije aktivnosti mogu uticati uslovi radne sredine (otvoren prostor ili hangar), ali i različiti socijalni uticaji, koji svojom pojavom ili delovanjem mogu uticati na podeljenu pažnju. U određenim slučajevima postoji mogućnost da lice koje vrši određenu aktivnost u održavanju vazduhoplova i samo shvati da je odsutno i da dalje potpuno svesno nastavi realizaciju zadatka. Pozitivna praksa pokazuje da je i u takvim slučajevima dobro vratiti se par koraka unazad, kao sredstvo obezbeđenja da i na prethodnim koracima, zbog odsutnosti, nije načinjena određena greška, ili nenamerni propust ili previd.

8. Pritisak, koji predstavlja jedan od nevidljivih faktora koji utiče na vazduhoplovnotehnički kadar, ali se njegove posledice ispoljavaju na kvalitet održavanja i bezbednost vazduhoplova. Zadaci održavanja vazduhoplova izvršavaju se u ambijentu konstantnog samopritiska i pritiska da se sve aktivnosti izvrše na najbolji mogući način, kako je propisano, često u što kraćem roku, bez prava na grešku. Takva situacija može sa psihološkog aspekta uticati na stanje tehničara na održavanju, i odraziti se na kvalitet radova. Kako bi se adekvatno uticalo na smanjenje pritiska, vazduhoplovnotehnički rukovodioci i svi u hijerarhiji moraju biti svesni rizika, i svojim odlukama i delovanjem uticati na smanjenje pritiska, po pitanju kvaliteta izvršenja radova, a posebno po pitanju vremena za izvršenje i završetak radova na održavanju vazduhoplova. Pozitivnim pristupom rukovodioci osiguravaju i očuvanje potencijala kadra, kao i opštih psiho-fizičkih kapaciteta.

9. Norme, koje predstavljaju određenu vrstu pravila, često nepisanih, koje su sastavni deo elemenata funkcionisanja organizacije za održavanje vazduhoplova. Uglavnom se razvijaju kako bi se rešili problemi koji imaju različita i nejasna rešenja i mogućnosti. Specifičnosti održavanja vazduhoplova ne dozvoljavaju nepostupnost u radu, bilo kakve improvizacije, rad po sećanju i van procedura. Zato je i vrlo važno izgrađivanje normi pozitivnog pristupa i ponašanja u izvršavanju zadataka održavanja. Kada se suoči sa nejasnom situacijom, pojedinac može koristiti obrazac ponašanja druge osobe u pristupu i rešavanju takvog problema, kao primer pozitivne prakse. Zato nove pripadnike jedinica za održavanje treba upućivati u norme i uvoditi u pravilan pristup, kako bi vođenim putem usvojili obrasce pozitivnog ponašanja i izgradili kredibilitet u timu.

10. Rutiniranost, koja predstavlja stalnu opasnost u procesu održavanja, posebno kada se radi o zadacima koji se ponavljaju. U određenim situacijama se i lica koja rade na održavanju mogu osetiti komforno prilikom obavljanja određene aktivnosti, posebno pri određenim proverama, tokom kakvih ranije nisu nađene neispravnosti. Jedan od simptoma može biti realizacija određenog postupka bez praćenja procedura. Kako bi se umanjio mogući uticaj, potrebno je razvijati svest o potrebi stalnog pristupa radu u problematici na propisani način.

11. Zamor, koji predstavlja faktor koji ima jedan od najvećih uticaja na ljudske greške u procesima održavanja. Javlja se kao fizički ili mentalni. Manifestuje se rasejanošću, uz smanjenje saznanje sposobnosti, sposobnosti opažanja, sposobnosti donošenja (optimalnih) odluka, vremena reagovanja, koordinacije, brzine i snage. Osnovni uzroci zamora su nedostatak sna, stres ili preveliko angažovanje. Vrlo često pojedinac nije ni svestan zamora, pa posebnu ulogu u prepoznavanju simptoma i preduzimanju odgovarajućih akcija imaju saradnici i pretpostavljeni. Kako je vazduhoplovnotehničko održavanje specifično u pogledu zahtevnosti, rad može uzrokovati sve date uzroke, pa je potrebno voditi računa o stepenu i načinu angažovanja. Jasno je da i angažovanje duže od predviđenog (propisanog), u vidu prekovremenog rada, predstavlja faktor rizika, pa rukovodioci na svim nivoima treba da izbegavaju suviše angažovanje.

12. Stres, koji predstavlja faktor koji značajno utiče na psihofizičke i radne sposobnosti vazduhoplovnotehničkog kadra. Sama činjenica da se, zbog izvršenja letачkih zadataka, mora obezbediti ispravnost vazduhoplova u ograničenom vremenskom okviru, uz osiguranje pouzdanosti, i sa svešću da greška u održavanju može dovesti do vazduhoplovne nesreće, stvara veliku dozu stresa kod tehničara koji rade na održavanju. Isto tako, na svakog pojedinca mogu uticati brojni činioci, i to fizički (temperatura, buka, osvetljenje, ograničen prostor) i psihološki (lični, interpersonalni, finansijski, porodični problemi, neodgovarajuća ishrana, nedostatak sna). Kako bi se optimalno upravljalo stresom potrebno je u rad sa

pojedincima i grupama uključivati stručna lica koja će razvijati sposobnosti prepoznavanja stresnih faktora i ublažavanja posledica. Isto tako, vazduhoplovnotehnički rukovodioci, kao i svi na višim nivoima organizacije, moraju dobro poznavati svoje potčinjene, i preduzimati odgovarajuće mere za smanjenje mogućnosti nastanka stresnih situacija.

## Upravljanje ljudskim resursima u VTOD-u

Kako bi se na adekvatan način pristupilo kreiranju i sprovođenju optimalne strategije upravljanja ljudskim faktorom u održavanju vazduhoplova, potrebno je na svim nivoima komandovanja (rukovođenja, upravljanja) stvoriti predstavu o značaju i uticaju ljudskog faktora. Takođe, potrebno je obezbediti i visok nivo razumevanja i svesti o eventualnim i mogućim posledicama neadekvatnog tretiranja vazduhoplovnotehničkog kadra.

Osnovu vazduhoplovnotehničkog kadra čine inženjeri i tehničari, odnosno tehnički kadar visokih tehničkih znanja. Pored značajnih znanja iz oblasti mašinstva i elektrotehnike, oni unose i specifičan izgrađeni pristup i način razmišljanja – analitički, orijentisan prema detaljima i rešavanju problema, istrajnost i strpljivost u pronalaženju kvarova i njihovoj popravci.

Kvalifikovani vazduhoplovnotehnički kadar je vrlo deficitaran, posebno kada je reč o vojnom vazduhoplovstvu, s obzirom na to da je reč o vrlo specifičnim zanimanjima i netržišnoj oblasti. Školovanja vazduhoplovnotehničkog kadra se planiraju i realizuju u diskretnim trenucima, prema aktuelnim potrebama, pa je postojećim kadrom potrebno maksimalno pažljivo i efikasno upravljati.

U svakom trenutku u državi postoji ograničen, veoma mali broj vazduhoplovnih inženjera i tehničara, pa se zbog njihovog značaja mora posvetiti i posebna pažnja njihovom tretmanu. Praktično, oni predstavljaju i veoma značajan državni resurs, od kojeg zavisi i čitavo vazduhoplovstvo. Očigledno, svaki odliv kadra značajno utiče na jedinice za održavanje, pa je u stalnom radu potrebno voditi računa o očuvanju vazduhoplovnotehničkog kadra kao značajnog resursa, odnosno o očuvanju i razvoju psiho-fizičko-socijalno-stručnih kapaciteta svakog pojedinca.

Upravljanje ljudskim resursima podrazumeva i adekvatno karijerno vođenje, pa je u tom smislu potrebno uspostaviti kriterijume i zvanično usvojiti i prezentovati sistem vrednovanja, odnosno merljiv put i uslove napredovanja i usavršavanja. Na taj način ostvarila bi se transparentnost u upravljanju vazduhoplovnotehničkim kadrovima, a u isto vreme direktno uticalo na podizanje motivacije za postizanje boljih rezultata, veću potrebu za usavršavanjem i samousavršavanjem, isticanje pozitivnih primera i sigurnost u stručnom razvoju.



Postoje brojni pristupi i klasifikacije oblasti kojima se mora posvetiti pažnja, ali se svi oni na različite načine zadržavaju na deset esencijalnih ideja (pitanja i postulata) koje bi komandno-rukovodeći kadrovi (ne samo vazduhoplovnotehnički, već svi u vertikali, po hijerarhiji) na svim nivoima trebalo da razumeju i usvoje, kako bi donosili odluke zasnovane na značajnim elementima:

1. značaj ljudskog faktora u održavanju vazduhoplova,
2. karakteristike i ograničenja ljudskog faktora,
3. aspekti socijalne psihologije,
4. lični faktori koji utiču na ljudske performanse,
5. fizički aspekti uticaja radne sredine na ljudske performanse,
6. kategorije zadataka koji mogu uticati na ljudske performanse,
7. komunikacija na radnom mestu,
8. uzroci ljudskih grešaka,
9. aspekti ljudskog faktora u udesima vazduhoplova, i
10. upravljanje rizicima u vazduhoplovnotehničkom okruženju.

Svakodnevni rad na sredstvima vazduhoplovne tehnike mora biti organizovan u skladu sa savremenim principima menadžmenta, sa svim elementima: planiranje, organizacija, realizacija, kontrola i evaluacija. Sastavni deo sistema predstavlja i sistem stalnog unapređenja, koji praktično predstavlja povratnu spregu kojom se svi zaključci vraćaju na početak, tj. u proces planiranja, radi korišćenja rezultata.

## Učenje kroz rad

U svim velikim svetskim organizacijama, nebitno kojom se delatnošću primarno bave, veliki značaj pridaje se institucijama učenja i obuke kroz rad, poznatim kao „on-the-job-learning“ i „on-the-job-training“. Zapravo, takav koncept učenja predstavlja pragmatičan pristup edukaciji i usavršavanju zaposlenih, kojim se članovi organizacije kroz različite oblike primenjenog učenja uvode u poslovne procese, odnosno čime im se interaktivnim pristupom usađuju znanja, veštine i navike.

Ovakav pristup ima poseban značaj u radu sa sredstvima vazduhoplovne tehnike, s obzirom na to da je zbog specifičnosti sredstava i same literature, kao i obučenog kadra, efikasno i efektivno učenje moguće praktično jedino u radnoj sredini, gde su dostupni svi resursi. Rad predstavlja osnovu za učenje, a zadatak rukovodilaca jeste da stvore sredinu i uslove koji će olakšati stalno učenje.

Na isti način, u vazduhoplovnotehničkim jedinicama učenje kroz rad je jedan od osnovnih i nezamenljivih alata za stvaranje kvalitetnog i pouzdanog kadra koji se angažuje na zadacima i aktivnostima vazduhoplovnotehničkog održavanja. Nemoguće je stvoriti adekvatan kadar samo teoretskim predavanjima, ili prikazom aktivnosti kroz prezentacije ili projek-

cije, već je potrebno i vođenim putem omogućavati usvajanje praktičnih znanja kroz konkretan rad, koji u ovom slučaju predstavlja specifični oblik obuke na vazduhoplovnotehničkim sredstvima.

Vazduhoplovnotehnička sredstva, posebno vazduhoplovi, specifična su sredstva, pa direktno uvežbavanje radnji i postupaka u održavanju nije moguće na upotrebnim sredstvima. Nezamislivo je simuliranje otkaza radi uvežbavanja defektacije i otklanjanja kvarova, ili skidanje delova i demontaža sklopova radi uvežbavanja metoda i postupaka rada timova i specijalista različitih profila.

Kako bi se obezbedio najviši nivo obučenosti, zahtevan za rad na održavanju vazduhoplova, i potpuna sigurnost angažovanog ljudstva, mora se izvršiti uvođenje tehničara u dužnosti kroz više etapa, sa različitim nivoima i oblicima usavršavanja i obučavanja. Odgovarajuće formalno obrazovanje predstavlja samo osnovu za višestepenu stručnu nadogradnju. Prvi stepen obučavanja realizuje se kroz upoznavanje osnovnih principa funkcionisanja vazduhoplova i njegovih sklopova, na koji se nastavlja specijalističko usavršavanje za rad na konkretnim sredstvima uz primenu metodologije rada na održavanju. Kroz sve module, od samog početka, zastupljene su mere bezbednosti pri radu na vazduhoplovnotehničkim sredstvima, uz primenu mera lične zaštite. Posle završetka kompletnog ciklusa osnovnog obučavanja, obezbeđuje se sistematsko i planско uvođenje u dužnost pripadnika jedinice, kroz vođeni mentorski rad u kontrolisanim uslovima na realnim vazduhoplovnim sredstvima.

Primenom različitih metoda i postupaka u obuci, cilj je formiranje i usađivanje posebnih stručnih, motivacionih, karakternih, voljnih, psihofizičkih i psihosocijalnih kvaliteta ljudstva angažovanog na organizaciji održavanja i samom održavanju vazduhoplovnotehničkih sredstava.

## Motivacioni aspekti ljudskog faktora u VTOD

Rad na održavanju vazduhoplova predstavlja jedan od najzahtevnijih poslova, i to sa psihološkog, socijalnog, stručnog i fizičkog aspekta.

Stručnost vazduhoplovnotehničkih kadrova mora biti na najvišem nivou, s obzirom na to da se radi na održavanju skupih, tehnički kompleksnih i veoma zahtevnih sredstava. Rad koji zahteva stalnu pažnju, maksimalnu koncentraciju, odgovoran pristup i postupanje prema strogo definisanim procedurama, bez prava na grešku i improvizaciju, nosi veliku težinu i znatno psihičko opterećenje.

Veliki broj aktivnosti u različitim postupcima održavanja vazduhoplova realizuje se kroz timski rad, u kojem je potrebno ostvariti najviši mogući stepen saradnje, sa zajedničkim višim interesima i motivima. Zato je potrebno uspostaviti visok stepen kohezije među pripadnicima jedinice za

održavanje, u odeljenjima različitih specijalnosti, ali i među odeljenjima. Pozitivna socijalizacija svakog pripadnika jedinice od velikog je značaja za rezultate rada kompletne jedinice.

Kako izvršavanje mnogih aktivnosti zahteva velika fizička napreznja, uz značajan uticaj psihološkog opterećenja na fizičku opterećenost čitavog organizma, veoma je značajna i svakodnevna fizička obuka vazduhoplovnotehničkog kadra. Fizički obučeni kadar mnogo lakše podnosi i sve druge napore, a uz to se i znatno utiče na voljno-motivacione faktore svakog pripadnika jedinice.

Motivacija ljudstva angažovanog u održavanju vazduhoplova ima veliki značaj za realizaciju veoma složenih i odgovornih zadataka. Maksimalne rezultate ostvaruju ljudi koji su visoko motivisani, svesni svog značaja i rezultata rada, ali i zadovoljni statusom.

U samoj teoriji motivacije, veoma značajnom smatra se Maslovljeva hijerarhija motivacionih faktora, koja predstavlja piramidu potreba (Maslov, 2006, p.43). Počev od najnižeg nivoa, Maslov ih je definisao kao: fiziološke potrebe, sigurnost, društvene potrebe, poštovanje i samoostvarenje. Rukovodioci na svim nivoima moraju znati da, nezavisno od oblasti i prirode posla, ljudi nisu spremni za ispunjavanje potreba višeg reda dok se ne zadovolje potrebe sa nižeg nivoa.

Fiziološke potrebe podrazumevaju zadovoljenje potrebe za hranom, vodom, vazduhom, snom, odećom, stanovanjem i slično. Ovaj aspekt trebalo bi razmatrati kroz materijalno obezbeđenje, odnosno primanja vazduhoplovnotehničkog kadra, ali isto tako i kroz obezbeđenje odgovarajućih svakodnevnih socijalno-radnih uslova.

Sigurnost, u smislu integriteta i bezbednosti, potrebno je zadovoljiti kroz institucije sistema, i stalno unapređivati lični integritet pripadnika jedinica za vazduhoplovnotehničko održavanje, kako bi se obezbedili optimalni uslovi za punu posvećenost poslovima održavanja.

Društvene potrebe odnose se, u ovom segmentu, na osećaj pripadanja, gde je potrebno izgraditi ambijent u kojem će svaki pripadnik jedinice za vazduhoplovnotehničko održavanje osećati pripadnost kolektivu, koji će i doživljavati sa posebnim emocijama.

Poštovanje podrazumeva očekivanje svakog pripadnika jedinice da dostigne određeni ugled u radnom okruženju, na osnovu angažovanja i rezultata rada, odnosno svih stručnih i moralnih kvaliteta.

Samoostvarenje, kao najviši stepen u teoriji motivacije, podrazumeva ispoljavanje i razvoj sopstvenih suštinskih mogućnosti kroz stručni doprinos i kontrolno-savetodavne funkcije u sistemu upravljanja i obuke.

Zbog velikog značaja potrebno je uspostaviti odgovarajuće mehanizme, i stvoriti optimalnu atmosferu u kojoj će se u pogodnim socijalno-radnim uslovima izvršavati složeni zadaci vazduhoplovnotehničkog održavanja. Uloga svih rukovodilaca na svim nivoima je suštinska u ovom segmentu, pa se datoj tematici se mora posvetiti maksimalna pažnja.

## Obuka vazduhoplovnotehničkog kadra

Vazduhoplovnotehnički kadar predstavlja specifičnu kategoriju, ne samo u vazduhoplovstvu, već i u sistemu odbrane. Dok se mnogi drugi ljudski resursi mogu obezbediti ili nadomestiti za relativno kratko vreme, potreban je veoma dug period za formiranje kvalitetnog pojedinca koji će uspešno odgovoriti svim potrebama i zadacima iz domena vazduhoplovnotehničkog održavanja.

Pod dugim periodom podrazumeva se i nekoliko godina, koliko je neophodno za izgradnju svih potrebnih stručnih kvaliteta, ali i razvijanje i usvajanje potrebnih normi, standarda, pravila, procedura, načina razmišljanja i delovanja, osećaja pripadnosti i timskog duha, razumevanja odgovornosti prema svom i zajedničkom radu, razvijanju odgovarajućeg načina komunikacije, itd.

Veoma značajan faktor kvaliteta u radu vazduhoplovnotehničkih kadrova predstavlja nivo obučenosti. Upravo zato obuka se i sprovodi kao integralni deo svakodnevnih aktivnosti, i uključuje teoretske i praktične segmente obuke.

Značajnu metodu unapređenja lične i kolektivne obučenosti predstavljaju i vođene otvorene diskusije, kroz analizu šema sklopova i agregata vazduhoplova, kojima se podstiče proaktivan način razmišljanja, ali u isto vreme dolazi i do zajedničkog sagledavanja obrađivane problematike, i usvajanja jedinstvenih stavova o načinu funkcionisanja delova i sklopova, odnosno mogućim otkazima i manifestacijama neregularnog rada. Na taj način se i teoretske osnove prenose u vizuelizaciju funkcionisanja sistema vazduhoplova.

Sadržaji obučavanja moraju biti raznovrsni, kako bi se osigurao visok nivo zainteresovanosti i lične motivisanosti svih pripadnika jedinica za usvajanje sadržaja. Osim tehničkih programa obuke, potrebno je raditi i na programima obuke kojima se pripadnici jedinica za vazduhoplovnotehničko održavanje osposobljavaju za specifičan timski rad visoke odgovornosti na izuzetno zahtevnim i skupim sredstvima vazduhoplovne tehnike.

Većina zadataka u vazduhoplovstvu realizuje se kroz specifične projekte. Zato je za vazduhoplovnotehničke rukovodioce potrebno obezbediti programe sticanja veština iz oblasti upravljanja projektima, obzirom da se svi elementi pozitivne prakse i priznatih metodologija primenjuju u upravljanju projektima u vazduhoplovnotehničkom održavanju.

Visoki zahtevi efikasnosti i efektivnosti u procesima vazduhoplovnotehničkog održavanja nameću zahteve visokog kvaliteta procesa održavanja i proizvoda/usluga koji se pojavljuju kao izlazni elementi, nameću upravljanje kvalitetom kao nezaobilazan proces, što automatski povlači i potrebu za obučavanjem iz oblasti upravljanja kvalitetom za vazduhoplovnotehničke rukovodioce i rukovodioce viših nivoa planiranja.

Sam proces održavanja vazduhoplova, kao i eksploatacija vazduhoplova koja sledi kao proces koji se nastavlja, nosi veliki broj različitih rizika visokog nivoa. Kako bi se rizicima efikasno upravljalo, i osigurao pouzdan i efektivan sistem održavanja vazduhoplova, za vazduhoplovnotehničke rukovodi- oće potrebno je organizovati obučavanja iz oblasti upravljanja rizicima.

Svakodnevni rad vazduhoplovnotehničkih rukovodilaca zasnovan je na upravljanju timovima, sa visokim stepenom učešća različitih procesa interakcije među vazduhoplovnotehničkim inženjerima i tehničarima. Zbog velikog značaja tih procesa, potrebno je neprestano raditi na ličnom razvoju vazduhoplovnotehničkih kadrova, kroz različite obuke za sticanje i razvoj veština liderstva, vođenja timova, upravljanja vremenom, efika- sne asertivne komunikacije i upravljanja konfliktima.

Određeni nivo navedenih obuka trebalo bi organizovati za sve pri- padnike jedinica angažovane na održavanju vazduhoplova, kako bi se stvorilo zajedničko i jedinstveno gledište na razmatranu problematiku, a samim tim i konzistentan pristup obuci i radu.

Stalno usavršavanje tehnike i sve veći zahtevi koji se postavljaju pred lica angažovana na održavanju vazduhoplova, zahtevaju i stalno usavršavanje kadra, prihvatanje i primenu savremenih organizaciono- tehničkih teoretskih koncepata i praktičnih metoda, koje se stalno nado- građuju i prilagođavaju tehničko-tehnološkom razvoju u različitim oblastima. Vrlo često se određene metode razvijene u nekim oblastima prime- njuju i u drugim, pa čak i nesrodnim oblastima, te je potrebno stalno pra-ćenje trendova, proučavanje i usvajanje novih koncepata i metoda. Radi toga potrebno je uspostaviti saradnju sa različitim organizacijama, kako srodnim (jedinice za održavanje civilne avijacije), tako i sa organizacija- ma ili delovima organizacija iz različitih tehničkih oblasti, čime bi se kroz panel-diskusije i različita okupljanja omogućila razmena znanja, veština i iskustava. Posebno je potrebno prepoznati stalnu potrebu tehnički školo- vanog kadra za razmenom znanja i iskustava sa licima sličnih profila, po- sebno zbog stalnog i brzog napretka i promena tehnologija, i obezbediti uslove za zadovoljenje te neophodnosti, čime bi se omogućilo neformal- no usavršavanje kadra i stalno unapređenje.

Vrlo značajan element obuke, ne samo vazduhoplovnotehničkog ka- dra, već i rukovodilaca viših nivoa i svih lica uključenih u procese planira- nja i organizacije letenja, trebao bi da postane program „Ljudski faktor u vazduhoplovnotehničkom održavanju”. Isti bi trebao da postane integralni deo programa godišnje obuke svih vazduhoplovnih jedinica, koji bi reali- zovali vazduhoplovnotehnički rukovodioci sa značajnim iskustvom u vo-đenju jedinica za održavanje vazduhoplova.

Kroz različite seminare, radionice i diskusije, svi učesnici različitih procesa organizacije i realizacije letenja i vazduhoplovnotehničkog odr-žavanja upoznali bi se sa osnovnim aspektima značaja i uticaja ljudskog faktora, i u isto vreme došli do zajedničkih zaključaka i stavova.

## Upravljanje rizicima ljudskog faktora

Vazduhoplovi i vazduhoplovna tehnika predstavljaju najsloženije i najskuplje sisteme na upotrebi u sistemu odbrane, pa se njihovom održavanju i obezbeđenju dugotrajne ispravnosti mora posvetiti posebna pažnja. Direktna uticaja na ispravnost vazduhoplova ima ljudski faktor, kroz rad vazduhoplovnotehničkih kadrova na zadacima vazduhoplovnotehničkog održavanja, kroz sve tipove održavanja.

Zbog velikog uticaja ljudskog faktora na performanse vazduhoplova, odnosno na njihovu ispravnost i raspoloživost, potrebno je sagledati rizike u vazduhoplovnotehničkom održavanju, i njima upravljati na efikasan način.

Upravljanje rizicima u vazduhoplovnotehničkom održavanju mora se odvijati kroz procesni pristup, gde su elementi procesa: identifikacija, kvalitativna i kvantitativna analiza, izrada strategije i plana odgovora na rizike, primena strategije i plana, i procena preostalog rizika, uz stalno praćenje i kontrolu, i preduzimanje mera za stalno unapređenje procesa. Na taj način obezbeđuje se i stalno unapređenje procesa upravljanja rizicima.

Sagledavajući ljudske resurse kao faktor rizika, praktično primarno mesto na skali rizika zauzima nesigurnost ili eventualna nedovoljna obučenosć. Ovaj rizik je veliki, i može imati za posledicu oštećenje sklopova vazduhoplova, uništenje vazduhoplova ili čak gubitak života posade i drugih lica.

Strategija upravljanja rizikom ljudskog faktora svodi se samo na jedno rešenje – redukciju rizika. Ključni element u redukciji rizika jeste ljudski faktor. Efikasno upravljanje rizicima zahteva istinsku posvećenost i opredeljenje najvišeg rukovodstva. Kako bi se obezbedilo efikasno upravljanje rizicima, potrebno je uspostaviti procese koji osiguravaju bezbedan rad na održavanju vazduhoplova i bezbednost letenja koja zavisi od održavanja.

U svakom procesu potrebno je definisati ulazne i izlazne elemente, kao i resurse, čijim adekvatnim upravljanjem će se obezbediti efikasnost i efektivnost održavanja. Optimalan način upravljanja rizicima ljudskog faktora zasniva se na uspostavljanju jasnih procedura, zasnovanih na propisima i pozitivnoj praksi, sa kojima moraju biti upoznati svi pripadnici jedinica za vazduhoplovnotehničko održavanje, kao i rukovodioci viših nivoa. Procedure je potrebno stalno ponavljati, uvežbavati, a njihovu primenu pratiti i kontrolisati. Isto tako, veoma važan element upravljanja rizicima jeste izmena i nadogradnja procedura, radi stalnog unapređenja procesa i sistema u celini.

Pre početka svih aktivnosti na održavanju vazduhoplova, vazduhoplovnotehnički rukovodioci su u obavezi da sve izvršioce radova upoznaju sa identifikovanim rizicima u realizaciji datih aktivnosti i obavezom pri-

mene preventivnih mera zaštite i zaštitne opreme. Pozitivna praksa pokazuje da je na početku svih aktivnosti veoma značajno zahtevati i poštovanje procedure, a na svakom nivou kroz radne grupe razraditi (ponoviti) procedure za izvršenje određenih zadataka ili grupa zadataka.

Višestruko osiguranje na održavanju vazduhoplova predstavlja i sistem kontrole izvršenja radova, koji podrazumeva da svaku aktivnost tehničara u održavanju vazduhoplova dodatno kontroliše najstručniji i formacijski zvanično ovlašćeni i postavljeni rukovodilac po određenoj specijalnosti, odnosno za određeni tip vazduhoplova.

## Međunarodni propisi o ljudskom faktoru

Značaj upravljanja ljudskim faktorima odavno je prepoznat u svetu, i prihvaćen kao nezaobilazan u svim procesima, nezavisno od oblasti rada. Radi obezbeđenja maksimalne bezbednosti vazduhoplova i letenja, odnosno uspostavljanja optimalnih organizacionih modela, razvijaju se različiti standardi i formiraju specijalizovane agencije, koje se bave širom problematikom bezbednosti, a čiji je obavezan element i oblast uticaja i upravljanja ljudskim faktorom.

Najznačajniju kategoriju predstavljaju standardi JAR (Joint Aviation Requirements) serije, koje su razvila regulatorna tela određenih evropskih država. Isto tako, veliki uticaj na stalni razvoj regulative ima EASA (European Aviation Safety Agency), regulatorna agencija Evropske unije za bezbednost u civilnom vazduhoplovstvu.

U skladu sa standardom JAR-145, koji se bavi upravljanjem ljudskim faktorom u vazduhoplovstvu, i u kojem su date preporuke i obavezujuće stavke za organizacije održavanja, takve zahteve nameće i standard EASA-145, koji pored navođenja obaveznih sadržaja tema ljudskog faktora u procesu sertifikacije kadra, daje i šire zahteve za organizacije održavanja vazduhoplova, u smislu obaveznih obuka iz ljudskog faktora ne samo za vazduhoplovnotehničke inženjere i tehničare, već i za sve rukovodioce, supervizore, kontrolore, i ostalo ljudstvo uključeno u procese organizacije. Standard nameće i obavezu obnavljanja znanja iz oblasti ljudskog faktora u dvogodišnjem periodu. Postoji više od 60 elemenata ljudskog faktora datih u uputstvima u vezi EASA-145, uključujući pritisak, ograničenja ljudske memorije, timski rad, asertivnost, itd (Hobbs, 2008, p.31). Direktor civilnog vazduhoplovstva Srbije i Crne gore je u standardu YU JAR-145, usaglašenom sa JAR-145, naložio da organizacija održavanja mora osigurati da u dvogodišnjim periodima ovlašćeno osoblje ima stalno odgovarajuće obnavljanje znanja, kako bi usvojilo najnovija saznanja primenjene tehnologije, organizacionih postupaka i uticaja ljudskog faktora (Službeni glasnik Republike Srbije 102/2003, p.13).

## Savremeni pristup – nekažnjivo prijavljivanje grešaka

Međunarodni vazduhoplovni propisi JAR serije redovno se ažuriraju i obnavljaju, radi uspostavljanja novih standarda koji će u svakom elementu obezbediti optimalne uslove za bezbednost letenja.

Standard JAR 145, revizijom iz 2002. godine, nalaže pozitivnu praksu nekažnjivog izveštavanja (nonpunitive reporting), koja obezbeđuje sistematsko prikupljanje podataka o ljudskim greškama u održavanju, koji će omogućiti dolaženje do adekvatnih podataka za preduzimanje adekvatnih akcija za unapređenje stanja u održavanju. Istu problematiku obrađuje i Uredba Komisije EZ br. 1330/2007 od 24. septembra 2007. godine, kojom se utvrđuju pravila za izvršenje o prosleđivanju podataka zainteresovanim stranama o događajima u civilnom vazduhoplovstvu iz člana 7, stava 2. Uputstva 2003/42/EZ Evropskog parlamenta i Saveta (*Službeni glasnik RS 54/2012*, pp.1-2). Na osnovu datih dokumenata i drugih standarda značajnih za datu oblast, definisan je Pravilnik o prijavljivanju događaja u civilnom vazduhoplovstvu (*Službeni glasnik RS 54/2012*), koji daje sve smernice za postupanje u slučaju različitih događaja.

Pravilnik događaje deli u više kategorija, a za svaku od njih detaljno navodi sve grupe i moguće pojavne oblike, sa manifestacijama. Kategorije događaja su:

- događaji u vezi sa korišćenjem (eksploatacijom) vazduhoplova,
- događaji u vezi sa tehničkim delovima vazduhoplova,
- događaji u vezi sa opravkom i održavanjem vazduhoplova,
- događaji u vezi sa uslugama na zemlji,
- događaji u vezi sa uslugama u vazdušnoj plovidbi.

Prema članu 3. Pravilnika, događaj (occurrence) označava operativni prekid, kvar, grešku ili drugo nepravilno stanje koje utiče ili je moglo da utiče na bezbednost leta, ali koje nije dovelo do udesa ili ozbiljne nezgode, kako su oni definisani u članu 204. Zakona o vazdušnom saobraćaju.

Član 4. Pravilnika definiše da prijavljivanje događaja ima za cilj da doprinese unapređenju bezbednosti u vazduhoplovstvu kroz odgovarajuće prikupljanje, čuvanje, zaštitu i širenje odgovarajućih podataka o bezbednosti. Kako se dalje navodi u istom članu, jedina svrha prijavljivanja događaja jeste sprečavanje udesa i nezgoda, a ne utvrđivanje ili pripisivanje krivice ili druge odgovornosti.

Zakon o vazdušnom saobraćaju u članu 205. definiše oblast istraživanja i analize udesa i ozbiljne nezgode vazduhoplova. U navedenom članu navodi se da svaki udes i ozbiljna nezgoda vazduhoplova svestrano moraju da se istraže i analiziraju kako bi se utvrdile činjenice pod kojim su se desili, ako je moguće otkrili njihovi uzroci, i potom preduzele mere kojima se sprečavaju njihovi uzroci, i potom preduzele mere kojima se sprečavaju novi udesi i nove



ozbiljne nezgode. U drugom stavu istog člana jasno se navodi da istraživanje i otkrivanje uzroka udesa i ozbiljnih nezgoda vazduhoplova nema za cilj utvrđivanje krivične, privredno-prestupne, prekršajne, disciplinske, građansko-pravne ili neke druge odgovornosti za udes i ozbiljnu nezgodu.

Slično je regulisano i vazduhoplovnim propisima susednih zemalja. Agencija za civilno vazduhoplovstvo Crne Gore donela je Nalog za zaštitu sigurnosti vazdušnog saobraćaja, kojim je regulisano da organizacija za održavanje vazduhoplova mora da uspostavi procedure prihvatljive za Agenciju, uzimajući u obzir ljudski faktor i ljudske mogućnosti za obezbeđenje dobre prakse održavanja i ispunjavanja odgovarajućih zahteva ovog sigurnosnog naloga, koji moraju uključivati precizno i jasno definisane radne naloge ili ugovore, kako bi vazduhoplov i vazduhoplovne komponente bile vraćene u upotrebu u sigurnom stanju i u skladu sa propisima (ACV, 2012, pp. 1-3). U postupku izrade Programa održavanja vazduhoplova i drugih dokumenata treba maksimalno uvažiti princip ljudskog faktora.

U nastavku su navedena načela za izradu i sadržaj programa održavanja:

- radne procedure iz odobrenih programa održavanja treba da budu lako i nedvosmisleno razumljive direktno mehaničarima/inženjerima održavanja, ili da im mogu biti lako i nedvosmisleno prenešene,
- primeniti princip poštovanja Ljudskih faktora u opisu organizacije hangara ili radionica,
- procedure, uputstva i postupke koji omogućavaju mehaničarima/inženjerima održavanja da primenjuju Program održavanja primenivati dosledno i ispravno,
- celokupno osoblje u održavanju mora imati znanje iz Ljudskog faktora i veštine adekvatne dodeljenim zadacima i odgovornostima,
- potrebno je uspostaviti i objaviti kompanijske politike vazduhoplovne sigurnosti,
- potrebno je uspostaviti, u organizacijama održavanja, programe upravljanja greškama u održavanju, kao jednog od elemenata „kulture sigurnosti”,
- potrebno je napraviti specifične procedure izmene smena, koje odražavaju „dobru praksu“ unutar organizacije,
- planirati radne sate, delove, alate i poslove uzimajući u obzir zamor i pritisak koji se odražava na radnu sposobnost,
- raditi dvostruke kontrole ili specifične kontrole kritičnih tačaka ili ispitivanja,
- izbegavati kontrole i potpisivanja završenih zadataka od strane neovlašćenog osoblja,
- kompanijske procedure treba da budu napisane i implementirane tako da uzimaju u obzir princip ljudskog faktora.

Osnovna ideja u svim navedenim primerima, odnosno u savremenom pristupu održavanju vazduhoplova, jeste uvažavanje svih psiholoških ka-

rakteristika čoveka, prihvatanje ljudske greške kao definitivne pojave i činjenice da se ljudske greške dešavaju usled brojnih uticaja psihološke, socijalne, fizičke ili stručne prirode. Zbog postojanja visokog nivoa svesti o značaju svakog postupka i samosvesti – uticaja alter-ega, a posebno držanja do ličnog integriteta, autoriteta i reputacije, isključuje se mogućnost namernog propuštanja neke radnje ili namerne greške u održavanju.

Radi smanjenja ljudskih grešaka u održavanju, celokupna industrija i vazduhoplovne vlasti nastoje da se umesto kulture kažnjavanja pređe na kulturu istine. Zato je veoma važno iskreno sagledati sve činjenice vezane za ljudske greške u održavanju, izraditi detaljnu analizu grešaka, koje se zatim koriste za poboljšanje i prevenciju eventualnih budućih sličnih propusta.

Novi pristup uzrocima ljudskog faktora podrazumeva sledeće:

- priznavanje činjenice da se greške događaju,
- priznavanje i prepoznavanje organizacijskog aspekta ljudske greške,
- uvođenje sistema za upravljanje greškama (error management),
- izgradnju nove sigurnosne kulture (kulture istine),
- primenu naučnih otkrića i istraživanja u oblasti ljudskog faktora u održavanju.

Razumevajući i prihvatajući ljudske greške kao deo svih procesa, nezavisno od oblasti ljudskog delovanja, i prihvatanju te činjenice kao suštinske istine, može se pristupiti kvalitetnoj analizi uzroka grešaka, i kasnije uticati na uzroke, radi daljeg smanjenja grešaka.

Prihvatanje istine o mogućnosti ljudske greške i prihvatanje ljudske greške nastale iz različitih uticaja, predstavlja savremeni primenjeni koncept u vazduhoplovnotehničkom održavanju, čime se odbacuje dugo primenjivana tradicija apsolutnog kažnjavanja ljudskih grešaka.

Promena treba da rezultira i usvajanjem novih stavova svih nivoa rukovođenja, i izgradnjom svesti o činjeničnom stanju i primenjenim savremenim principima pozitivne prakse u vazduhoplovnotehničkom održavanju zasnovanim na rezultatima psihologije. Zaokret stavova svih rukovodilaca treba da rezultira i drugačijim pristupom, koji će kod pripadnika jedinica za održavanje vazduhoplova isključiti stalno prisutni strah i podsticati načelo istine o uzrocima i pojavnim oblicima grešaka. Na taj način bi se podržalo i podstaklo prijavljivanje eventualno nastalih grešaka, čime bi se smanjila mogućnost nastanka neželjenih situacija.

Početno snimanje stanja trebalo bi započeti anketiranjem, u vidu anketa u kojima bi ispitanicima bilo ponuđeno da slobodno izaberu hoće li se izjasniti anonimno ili otvoreno, kako bi se podstakla početna otvorenost (Marušić, et al, 2007, pp. 37-75). Narednim koracima trebalo bi ići prema stvaranju ambijenta potpuno slobodnog, neanonimnog, izražavanja zapažanja i stavova, a posebno uočenih propusta i njihovih uzroka. Krajnji cilj treba da bude kreiranje ambijenta definitivne kulture istine i otvorenosti u izražavanju i diskusiji o uzrocima nastanka grešaka.

Tome treba da prethodi usvajanje i razvoj istih stavova i principa kod rukovodilaca svih nivoa u hijerarhiji, njihovo prihvatanje takvog koncepta i stvaranje ličnog osećaja potrebe i koristi takvog načina rada. Kroz takve korake potrebno je izgraditi zajednički pristup svih rukovodilaca, koji bi podrazumevao pozitivan stav prema izražavanju primećenih uzroka grešaka u održavanju, naspram ustaljene prakse kritičkog gledanja na identifikovanje uzroka i izražavanje ličnih stavova.

Kako bi se uspostavila takva organizaciono-tehnička kultura, potrebna je posvećenost najvišeg rukovodstva organizacije i stvarno zastupanje takvih stavova, odnosno potenciranje na stalnom sagledavanju i prepoznavanju uzroka grešaka, koje bi pomoglo stvaranju novih pozitivnih normi u održavanju.

## Zaključak

Usavršavanjem vazduhoplovne tehnike, ljudska greška će sve više dolaziti u prvi plan kao uzrok neželjenih događaja vezanih za održavanje vazduhoplova. Analizirajući vazduhoplovne nesreće na svetskom nivou u proteklih dvadeset godina, uočen je trend povećanja relativnog učešća ljudskog faktora, tehničkog i letачkog sastava, kao primarnog uzroka nesreća. Zbog toga je neophodno preduzeti korake koji bi stvorili novi pristup ljudskom faktoru u održavanju, kao i napuštanje starih dogmi o strogoj nepogrešivosti održavanja i o isključivo pojedinačnoj odgovornosti krajnjih izvršilaca za greške u održavanju, jer je dokazano da značajan uticaj na rad i rezultate imaju rukovodioci svih nivoa, njihov pristup, kao i različiti psihološko-socijalno-fizičko-stručni faktori.

Vazduhoplovnotehnički kadar treba posmatrati kao značajan resurs koji podleže svojevrsnoj amortizaciji, uz jasne pokazatelje veoma teškog i sporog obnavljanja. Zbog značaja i uticaja na rezultate održavanja i bezbednost vazduhoplova, odnosno letenja, potrebno je u stalnom radu imati na umu sve aspekte ljudskog faktora u održavanju vazduhoplova, i na odgovarajući način pristupati organizaciji održavanja.

Jasno je da na rad tehničara i inženjera u vazduhoplovnotehničkom održavanju značajno utiču uslovi radne sredine i odluke pretpostavljenih u hijerarhiji. Zbog direktnog uticaja i značaja odluka rukovodilaca svih nivoa na rezultate održavanja, potrebno je na svim nivoima rukovođenja izgrađivati i razvijati svest o potrebnom adekvatnom upravljanju ljudskim potencijalima.

Rukovodioci na svim nivoima moraju voditi računa o psihološko-socijalnim aspektima vazduhoplovnotehničkog kadra i omogućiti optimalne uslove za očuvanje i efikasno upravljanje ljudskim resursima u vazduhoplovnotehničkom održavanju. Isto tako, potrebno je posvetiti pažnju očuvanju radne i kognitivne sposobnosti, očuvanju opštih elemenata zdravlja i fizičke sposobnosti.

Karijerno vođenje i obezbeđenje uslova za stručni razvoj kroz različite interne i eksterne obuke predstavljaju značajan vid upravljanja ljudskim resursima u vazduhoplovnotehničkom održavanju, te im zato treba dati značajnu ulogu. Godišnjim planovima potrebno je obezbediti i precizirati seminare, radionice, treninge i različite vrste diskusija, u kojima će vazduhoplovnotehnički kadar biti u mogućnosti da stiče nova znanja iz savremenih tehničkih principa u organizaciji i postupcima održavanja, ali i da obnavlja stečena znanja i razmenjuje iskustva sa tehničkim licima iz istih ili srodnih oblasti. Radi toga, potrebno je uspostaviti zvaničnu saradnju i sa odgovarajućim stručnim civilnim strukturama.

Kao vid inženjeringa obrazovanja i obuke, odnosno projektovanja procesa stvaranja kvalitetnog vazduhoplovnotehničkog kadra, potrebno je uspostavljanje saradnje i redovno usaglašavanje stavova operativnih jedinica vazduhoplovnotehničkog održavanja sa obrazovnim institucijama koje se javljaju kao izvori vazduhoplovnotehničkog kadra – inženjera i tehničara, kako bi se obezbedila razmena iskustava i sagledale potrebe operativnih jedinica, pa u skladu sa njima i prilagođavati nastavne programe.

Radi unapređenja stanja i podizanja nivoa kvaliteta održavanja, odnosno dostizanja većeg stepena bezbednosti vazduhoplova i letenja, potrebno je usvajati pozitivan pristup i međunarodne standarde. Zato treba zvanično deklarirati i primeniti koncept nekažnjivog izveštavanja, koji bi se primenjivao na svim nivoima, kako bi se uspostavila nova kultura prihvatanja ljudske greške i efikasnije uticalo na faktore njihovog nastanka.

Sagledavanje faktora i uticaja ljudskog faktora mora postati sastavni deo sadržaja obučavanja, a svakako oblast kojoj se mora posvetiti posebna pažnja i kroz redovne seminare za sve učesnike u procesima planiranja, do najviših rukovodilaca u RVIPO Vojske Srbije.

### *Literatura*

ACV, 2012, Nalog za zaštitu sigurnosti vazdušnog saobraćaja, Podgorica, Agencija za civilno vazduhoplovstvo.

AMT Handbook Addendum Human Factors, Dostupno na: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aircraft/media/AMT\\_Handbook\\_Addendum\\_Human\\_Factors.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/media/AMT_Handbook_Addendum_Human_Factors.pdf), Preuzeto: 02.07.2014. godine.

Hobbs, A., 2008, An Overview of Human Factors in Aviation Maintenance, Dostupno na: <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/550.pdf>, Preuzeto: 22.05.2014. godine.

Marušić, Ž., Alfirević, I., Pita, O., 2007, Metode povećanja pouzdanosti sustava održavanja vazduhoplova, Osijek, Tehnički vjesnik 14 (3,4), pp.37-45.

Maslov, A., 2006, Psihologija u menadžmentu, Beograd, Adižes centar.

Razumenić, S., Manić, A., 2003, Održavanje vazduhoplova, Beograd, Saobraćajni fakultet.

Službeni glasnik Republike Srbije, 102/2003, Pravilnik o održavanju, obnovi i izmenama na vazduhoplovu i vazduhoplovnom proizvodu, kao i tehničkoj kontroli i kontroli kvaliteta obavljenih radova- YU JAR-145), Beograd, JP Službeni glasnik.

Službeni glasnik Republike Srbije, 73/2010, Zakon o vazdušnom saobraćaju, Beograd, JP Službeni glasnik.

## ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА СОДЕРЖАНИЕ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

ОБЛАСТЬ: содержание авиационной техники, менеджмент человеческих ресурсов, системный инжиниринг

ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

### Резюме:

*Для содержания авиационной техники, являющейся специальной областью содержания военного оборудования, характерны высокие требования надежности, регламентируемые техническими стандартами и утвержденными нормами. Метод системного содержания представляет ключевой элемент качественного содержания, а инженерно-технический кадр играет большую роль на всех его уровнях, влияя на конечные результаты содержания авиационной техники.*

Ключевые слова: авиационная техника, содержание, человеческие ресурсы, стандарты.

## HUMAN FACTOR IMPACT IN MILITARY AIRCRAFT MAINTENANCE

FIELD: Aircraft Maintenance, Human Resource Management, System Engineering.

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*Aircraft maintenance, as a specific field of military materiel maintenance, is characterized by high reliability standards, based on regulations and technical standards. A system approach to maintenance represents the key element of maintenance quality, while aircraft maintenance staff has a crucial influence on the final outcome of aircraft maintenance.*

### Introduction

*Aircraft maintenance represents the most significant aspect of preventive measures of flight safety, as well as a type of engineering in safety design.*

*Being a specific kind of maintenance, with particular importance, constraints, demands and characteristics, aircraft maintenance is carried out through a multi-level technical organization.*

*There are numerous manifestations of the human factor influence, characterized by both subjective and objective parameters, affecting aircraft maintenance.*

The importance of the human factor

*The human factor becomes more and more important, gaining even a key role in aircraft maintenance due primarily to the importance of the human factor in flight safety through the establishment and implementation of a documented system of aircraft maintenance, based on the guidelines for each type of aircraft and all items of equipment, assemblies and aggregates. Constant improvement of aviation technology has led to the 20:80 mechanical failure to the human factor ratio in aircraft accidents, with a constant decrease in the absolute number of errors due to the development of analytical, organizational, managerial, and technical methods, techniques and tools.*

The influence of the human factor

*Statistics shows that 12-15% of all aviation accidents occurred due to aircraft maintenance failures, caused by various psychological, social, and physical factors influencing the personnel in aircraft maintenance. World aviation practice has recognized twelve elements of the negative impact of the human factor in aircraft maintenance, so that managers at all levels should pay considerable attention to each of them in order to achieve a preventive, maximum positive impact.*

Human resource management in aircraft maintenance

*The essential maintenance staff are engineers and technicians with not only high technical knowledge, but also with specific approaches and ways of thinking as well as analytical, detail-oriented and problem-solving skills, perseverance and patience in finding and resolving errors included. Given that such personnel is scarce and represent a significant public resource, it is necessary to pay special attention to their treatment, predictable career guidance and constant development.*

On the job learning

*In all world organizations, no matter which activity primarily involved in, great importance is attached to an institution of learning known as "on-the-job-learning" and "on-the-job-training." This is particularly important in maintenance units, where the induction is done through a number of stages, with different levels and forms of education and training. This approach is particularly important because*

*of specific resources and literature, as well as trained staff, since efficient and effective learning can be carried out only in the work environment in which all resources are available.*

#### Motivational aspects of the human factor in aircraft maintenance

*Maintenance work on the aircraft is one of the most challenging tasks from the psychological, social, vocational and physical aspect. A large number of activities in a variety of aircraft maintenance procedures is implemented through teamwork, where it is necessary to achieve the highest possible degree of cooperation, with common interests and higher motives. The implementation of the common task depends on the motivational aspect of each individual, so leaders of all levels must take into account meeting the needs of individuals in accordance with the pyramidal hierarchy of needs, in order to have maximally motivated and dedicated maintenance staff.*

#### Human factor risk management

*Risk management in aircraft maintenance must be carried out through a process approach, where the elements of the process are: identification, qualitative and quantitative analysis, development of a strategy and a plan of the responses to risks, strategy and plan implementation, as well as the assessment of residual risk. Constant monitoring and control are necessary as well as taking measures for continuous process improvement. A continuous improvement of risk management processes is thus provided. In all activities, it is necessary to implement the maximum risk reduction and insist on respecting rules, procedures and preventive actions.*

#### Modern approach- - non punitive error reporting

*International aviation regulations require the positive practice of non punitive reporting which provides a systematic collection of data on human errors in aircraft maintenance ,in order to take action to improve the situation. The sole purpose of this reporting is the prevention of accidents and incidents and not to attribute the determination of guilt or other responsibilities. Accepting the truth of the possibility of a human error should result in the adoption of new attitudes at all levels of management, and in a new approach encouraging the principles of truth.*

#### Conclusion

*With the advancement of aviation technology, the human factor will increasingly be at the forefront. Therefore, it is necessary to establish a new approach to human factors in aircraft maintenance, and abandon the old dogma of the infallibility of strict maintenance, as well as the sole responsibility of individual end-executors for maintenance errors,*

*since the impact of management and applied organizational methods is demonstrated as well as that of psycho-social factors. Aircraft personnel engaged in the maintenance of such an important resource should be given special attention, especially in terms of providing optimal working conditions, career guidance, enabling the development and establishment of cooperation and exchange of experiences with other institutions. To improve the situation, it is necessary to adopt the concepts of international standards, and apply the principle of non-punitive reporting and acceptance of a human error in order to more effectively address the factors of error occurrence and aircraft safety. Consideration of the factors and the impact of the human factor has become an integral part of the content of the training, but also an area that needs to be given special attention through regular seminars for all participants in the planning process, including the most senior leaders in the Air Force of the Serbian Armed Forces.*

Keywords: *aircraft, maintenance, human factor, standards.*

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 23. 07. 2014.  
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 17. 01. 2015.  
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 19. 01. 2015.



# UČENJE NA DALJINU I HEURISTIKA U FUNKCIJI EDUKACIJE SUBJEKATA SISTEMA CIVILNE ODBRANE ZA VANREDNE SITUACIJE

Paun J. Bereš<sup>a</sup>, Kristian P. Bereš<sup>b</sup>, Sreten S. Cvetković<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Uprava za obaveze odbrane, Regionalni centar Novi Sad, CMO Zrenjanin

e-adresa: paunberes@gmail.com; sreten1970@gmail.com

<sup>b</sup> „Funkweb Aktiv AS“, Oslo, Norveška,

e-adresa: kristianberes@gmail.com

DOI: 10.5937/vojtehg63-6577

OBLAST: edukacija

VRSTA ČLANKA: stručni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

## Sažetak:

*Rad prezentira učenje na daljinu i heuristiku u edukaciji subjekata civilne odbrane za rešavanje problema radi donošenja adekvatnih odluka u vanrednim situacijama i vanrednom stanju sa posebnim osvrtom na primenu heurističkog modela edukacije timova – štabova za vanredne situacije i komandnog kadra Vojske Srbije. Namenjeno je komandnom i nastavnom kadru, kao i subjektima Civilne odbrane, sistema zaštite i spasavanja (Sektor za vanredne situacije) i lokalne samouprave (načelnicima upravnih okruga, gradonačelnicima i predsednicima opština – komandantima i komandnom kadru Vojske Srbije, koji može biti angažovan u vanrednim situacijama na zaštiti i spasavanju stanovništva i materijalno-tehničkih sredstava).*

*Heuristički pristup rešavanju problema implementiran u metod učenje na daljinu treba da omogući edukaciju komandnog kadra od lokalnog do nacionalnog nivoa u donošenju adekvatnih odluka u vanrednim situacijama po proglašenju vanredne situacije i vanrednog stanja na delu teritorije ili celoj teritoriji Republike Srbije.*

Ključne reči: učenje, učenje na daljinu, heuristika, civilna odbrana.

## Uvod

Savremenom svetu (postindustrijskom, tehnološkom, informatičkom, globalnom) potrebni su ljudi, obučeni, spremni i sposobni da koriste nova kompleksna oruđa, brzo i efikasno usvajaju, izgrađuju i primenjuju raznovrsna znanja, aktivno i odgovorno učestvuju u složenim društvenim i ekonomskim odnosima i procesima u svakodnevnom životu i donose adekvatne, racionalne i najbolje odluke, a pogotovo u *vanrednim situacijama*.

U svetu, koji se brzo menja i u kojem se znanja svakodnevno usložavaju i proširuju, a izvori informacija iz oblasti *vanrednih situacija* neslućeno umnožavaju, podatak, informacija i činjenica mogu postati bespredmetni i prevaziđeni i pre nego što su upotrebljeni. Heurističkim pristupom rešavanju problema (Kvašček, 1978) implementiranim u metod učenja na daljinu i projektovanjem budućeg sistema civilne odbrane u funkciji vanrednih situacija, teži se prevazilaženju pomenutih problema (Bereš, 2014) *na jedan nov način (nastavne teme i jedinice su koncipirane u vidu heurističkog algoritma (Amaldi i dr., 2003), što omogućava slušaocima izbor nepoznate materije i preskakanje poznatog, tako da se maksimalno postiže individualnost u radu. Ovako inoviran model učenja na daljinu sa heurističkom koncepcijom omogućuje slušaocima da se uključe u proces edukacije u bilo kom trenutku (u slobodno vreme, u radno vreme putem interneta i računara sa bilo kog izdvojenog mesta).*

## Pojam, zadatak i cilj učenja na daljinu u Ministarstvu odbrane

Učenje na daljinu obuhvata mnogo više od jednostavnog prenosa informacija i ne možemo ga definisati kao „tradicionalno učenje” (slika 1) sa primenom novih tehnologija. To je potpuno drugačiji proces, koristi druge metode i pruža obilje drugih mogućnosti. Ono postavlja zahteve i pred slušaoca (u našem slučaju – člana štaba za vanredne situacije i starešine jedinice Vojske Srbije pridodate tom štabu) i pred nastavnika i zahteva podelu odgovornosti. Stil, metod i pristup primenjen u učenju na daljinu bitno se razlikuju od pristupa kod tradicionalnog učenja na koji je većina slušalaca navikla. Okruženje za učenje je veoma interaktivno i komunikativno, ali ključna razlika je u tome da je na slušaocu velika odgovornost u vezi s napretkom u procesu učenja.



Slika 1 – a) Tradicionalno učenje i b) učenje na daljinu. Kvalitet učenja na daljinu je dokazan istraživanjima

Figure 1 – Traditional teaching and learning a) quality of distance learning is proven by research b)

Рис. 1 – Традиционное и дистанционное обучение а) Эффективность методов дистанционного обучения доказана результатами исследований б)

Brojne su prednosti koje učenje na daljinu nudi u odnosu na klasično (Pokorni, 2014, str.138-146). To su, pre svega, fleksibilnost po pitanju vremena, mesta i tempa učenja. Učenici mogu pohađati kurseve bilo kad, bilo gde i po sopstvenom tempu. To je naročito pogodno za osobe koje rade ili iz drugih razloga nisu u mogućnosti da prate nastavu na tradicionalan način. Osim toga, cena ovakvog pohađanja kurseva je mnogo manja nego na tradicionalan način. Dostupnost informacija je znatno veća (elektronske knjige, članci, simulacije, virtuelne laboratorije ili učionice). Sve što je učeniku potrebno je računar i pristup Internetu. Učenje na daljinu nudi brojne prednosti i samim institucijama i nastavnicima. Broj slušalaca nije ograničen brojem raspoloživih nastavnika i učionica. Pored toga, cena organizovanja nastave je niža. Jedan od često spominjanih nedostataka učenja na daljinu je nedostatak neposrednog kontakta nastavnika sa učenicima. Dobar nastavnik može da interpretira govorom tela, prilagođava se individualnim potrebama, razjasni svoja očekivanja, vodi aktivnosti, podstiče diskusiju, priprema koncepte, nudi blagovremeno i spontano povratno informisanje. Osim toga, kod slušalaca se može razviti osećaj izolovanosti i anonimnosti koji se mogu odraziti u nezadovoljstvu, lošoj efikasnosti i smanjenju broja slušalaca. U virtuelnom okruženju kod slušalaca može postojati manja odgovornost u procesu obuke. On nema osećaj da je u centru nastavnog procesa, pa se oseća manje odgovornim. Na razvoju naprednih nastavnih materijala, pored samog nastavnika, potrebno je angažovati programere, veb-dizajnere, grafičke dizajnere itd., što čini da cena razvoja nastavnih sadržaja može biti veoma visoka. Za pripremu jednog sata nastavnog sadržaja vrhunskog kvaliteta, koji bi bio dostupan preko platforme za učenje na daljinu, potrebno je nekoliko desetina sati. Kao zaključak prethodnih razmatranja nameće se potreba da se kombinuju tradicionalni prenos znanja (kroz neposrednu fizičku prisutnost nastavnika i slušalaca/studenata, slušalaca ili kursista) i novi pristupi koji omogućavaju savremene tehnologije (nastavni sadržaji su dostupni kao i kontakt sa nastavnikom ili ekspertom – obe stvari bilo kada i bilo gde) (Ministry of Education Canada, 2009). Modeli kombinovanja mogu biti veoma različiti po načinu, proporciji, vremenu i redosledu (slika 6).

## Pronalaženje optimalnog modela učenja

Kao zaključak prethodnih razmatranja nameće se potreba da se kombinuju tradicionalni prenos znanja (kroz neposrednu fizičku prisutnost nastavnika i slušalaca) i novi pristupi koji omogućavaju savremene tehnologije (nastavni sadržaji su dostupni kao i kontakt sa nastavnikom ili ekspertom – obe stvari bilo kada i bilo gde). Modeli kombinovanja mogu biti veoma različiti po načinu, proporciji, vremenu i redosledu. U našem

slučaju inovirani model učenja na daljinu sa heurističkom koncepcijom, koji omogućuje slušaocima da se uključe u proces edukacije u bilo kom trenutku (u slobodno vreme, u radno vreme putem interneta i računara sa bilo kog izdvojenog mesta) u zamišljenoj, tj. virtualnoj učionici.

Elektronsko učenje predstavlja osnov savremenog učenja na daljinu. Bez elektronskog učenja model je tradicionalan, jer je zasnovan na neposrednom transferu znanja, upravljanju i vođenju slušalaca. U tom slučaju učenje na daljinu nije ostvarljivo. Kombinovano učenje predstavlja kombinaciju učenja, čije dimenzije su vreme (nedelje kursa), aktivnosti (predavanja, učenja, proveravanja) i sadržaji učenja (teme, ili lekcije). Ono je kombinovano u meri u kojoj su kombinovani različiti modeli učenja. Postoji nekoliko modela uključivanja elektronskog učenja u realizaciju kurseva (Vojna akademija, 2014).

*Model 1* uključuje resurse elektronskog učenja samo na početku – u pripremi za kurs. Ovaj model je pogodan radi pripreme kandidata za predstojeći kurs. Elektronskim materijalima obezbedili bi se isti uslovi za sve – da započnu kurs sa približno istim predznanjem. Platforma za učenje na daljinu može da se iskoristi i za evaluaciju prethodnih znanja kandidata. Ovim dvema aktivnostima nastavnici imaju potpuni uvid u ulazni kvalitet slušalaca/studenata ili slušalaca i mogu da prilagode nastavne sadržaje ovim pokazateljima.

*Model 2* uključuje korišćenje elektronskih resursa tek nakon završene teme ili čitavog kursa. To može da bude aktivnost koja je povezana sa prethodnim sadržajem – seminar, zadatak, esej i slično, u okviru kojeg studenti/slušaoци individualno ili timski saraduju i rešavaju problem demonstrirajući svoje znanje i razumevanje nastavnih sadržaja. Nastavnicima je omogućeno da vrše evaluaciju slušalaca/studenata i kvaliteta nastave.

*Model 3* uključuje korišćenje elektronskih resursa na početku i na kraju, na isti način na koji se to radi u prethodna dva modela.

*Model 4* omogućava slušaocima da koriste nastavne materijale tokom čitavog kursa. Sličan je korišćenju štampanih udžbenika, s tim da elektronski format omogućava brzo pronalaženje i pretraživanje sadržaja, navigaciju po poglavljima, dodavanje komentara, diskutovanje i traženje pomoći u vezi sa nekim delovima koji nisu shvaćeni (korišćenjem platforme za učenje na daljinu).

*Model 5* obuhvata samo proveru znanja preko platforme. Pogodan je za uvodne teme i međuprovere, kako bi slušalac mogao da stekne uvid u stepen usvojenih znanja – poznavanja materije, šta treba bolje da nauči i šta nije razumeo na pravi način (u skladu s tim da preduzme mere na otklanjanju nedostataka). Ovaj model, koji uvodi periodične provere znanja i koji se često koristi pri izučavanju stranih jezika, omogućava održavanje pažnje i kontinuiteta u radu slušalaca.

*Model 6* uključuje korišćenje platforme u određenom periodu, u svim sadržajima učenja. Pogodan je u slučaju da su slušaoci zbog obaveza povremeno dislocirani iz mesta u kom je obrazovni centar, ali da i dalje treba da se zadrži kontinuitet nastave.

*Model 7* se gotovo u potpunosti zasniva na elektronskom učenju. Pogodan je za kurseve koji se u potpunosti realizuju posredstvom platforme za učenje na daljinu, u slučajevima kada su učenici/studenti ili slušaoci odsutni na duži rok iz mesta službovanja (npr. međunarodne vojne misije). *Zakon o oružanim sukobima, Međunarodno ratno pravo, Prva pomoć, imobilizacija, evakuacija povređenih i obolelih, Integralna bezbednost na radnom mestu, Zaštita od požara* – predstavljaju samo neke od elektronskih kurseva koji se danas distribuiraju u potpunosti posredstvom platforme za učenje na daljinu. Uбудuće treba obogatiti ovu platformu novim sadržajima iz oblasti vanrednih situacija, što i jeste cilj ovog rada.

## Heuristika u vanrednim situacijama i učenje na daljinu

Pod heurističkim modelovanjem podrazumeva se stvaranje takvog modela koji ima heurističko značenje i reprezentuje više originala u jednom te istom modelu, tj. taj model omogućuje pronalaženje novih znanja i razvija stvaralaštvo zahtevajući od subjekata ovu ili onu samostalnost uz uvažavanje nivoa predznanja svakog subjekta u svom domenu ponaosob (primer: frekventne vanredne situacije (Bereš i dr., 2014, str.155-159). Heuristički model veoma malo determiniše radnje u toku rešavanja problema, tako da ostavlja slušaocu – članu tima (*štaba za vanredne situacije*) mogućnost pronalaženja jednog ili svih mogućih rešenja, zavisno od predznanja, stepena samostalnosti i njegovih stvaralačkih sposobnosti. Ovakav pristup rešavanju problema omogućuje svakom subjektu – članu tima (*štaba za vanredne situacije*) da postigne svoj maksimum, kako slabijim, prosečnim, tako i natprosečnim, tj. talentovanim slušaocima. Postavljanje problema heurističkom strategijom znači da je član tima stavljen u položaj da otkrije, primenom starog iskustva u novim situacijama, da poznata znanja dovodi u novu situaciju (funkciju), otkriva nove puteve kreativnog rešavanja problema (Bereš i dr., 2013, str.46-57). Implementacijom takvog modela u metod učenja na daljinu postignut je novi kvalitet u osposobljavanju pomenutog kadra. Takođe, multi- medijsko predavanje sa nastavnim temama i jedinicama koncipirano je u vidu heurističkog algoritma (slika 3), što omogućava slušaocima izbor nepoznate materije i preskakanje poznatog, tako da se maksimalno postiže individualnost u radu. Ovako inoviran model učenja na daljinu sa heurističkom koncepcijom omogućuje slušaocima da se uključe u proces edukacije u bilo kom trenutku (u slobodno vreme, u radno vreme putem interneta i računara).

## Rešavanje problema i donošenje adekvatnih odluka

Naš problem su vanredne situacije (Bereš i dr., *Vojnotehnički glasnik* 2014, str.155-159), koje mogu da zadese Evro region, Srbiju ili teritoriju odgovornosti Centra Ministarstva odbrane za lokalnu samoupravu Zrenjanin (tj. olujne i obilne kiše praćene grmljavinom i gromom, poplave, olujno nevreme sa snežnim nanosima, požari i sl.).Pitanje je kako nastavne sadržaje iz ove oblasti prikazati na najpodesniji način za obuku štabova za vanredne situacije u svim stanjima (mir, vanredna situacija ili vanredno stanje). U našem slučaju to je heurističkim algoritam i heuristički model edukacije (Bereš i dr., 2014) implementiran u učenje na daljinu putem virtuelne učionice, sa ciljem da se ukaže na mogućnost korišćenja portala Ministarstva odbrane (slike 1 a i b, 2, 3, 4, 5 i 6) u osposobljavanju pomenutih štabova i subjekata civilne odbrane.

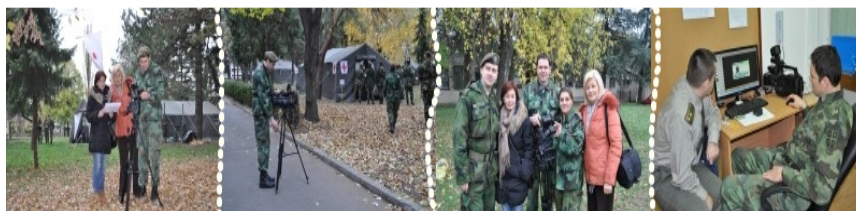
Prodor novih informatičkih tehnologija, integracija i koncentracija elektronskih medija u jednom sistemu je suština multimedijalnog sistema koji je za novi tip kompjutera povezao televiziju, interaktivni video, teletekst, telefon, reprodukciju zvuka i fotografije, računarske mreže i reprografiju i omogućio učenje i nastavu na individualnom nivou i to diferencirano prema sposobnostima i mogućnostima korisnika.



Slika 2 – Oblici elektronskog učenja  
Figure 2 – Forms of e-learning  
Рис. 2 – Формы дистанционного обучения



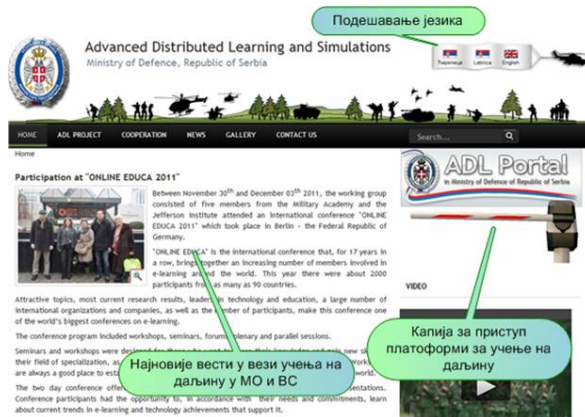
Slika 3 – Proces razvijanja kurseva primenom savremenih tehnologija  
Figure 3 – The process of developing courses using modern technology  
Puc. 3 – Процесс разработки курсов (инструктажа) по методам современных технологий



Slika 4 – Kreiranje i obrada nastavnih materijala za potrebe izrade kurseva  
Figure 4 – Creating and processing teaching materials for the preparation of courses  
Puc. 4 – Создание и разработка учебных материалов для проведения инструктажа



Slika 5 – Portal za učenje na daljinu u Ministarstvu odbrane R. Srbije  
Figure 5 – Portal for Distance Learning in the Ministry of Defense of the Republic of Serbia  
Puc. 5 – Портал дистанционного обучения Министерства обороны Республики Сербия



Slika 6 – Podešavanja i pristup platformi za učenje na daljinu  
 Figure 6 – Settings and access to the platform for distance learning  
 Рис. 6 – Настройка и доступ к платформе для дистанционного обучения

## Edukacija – rešavanje problema – donošenje odluka

Poglavlje je objavljenom u članku "Heuristika i operaciona istraživanja u funkciji edukacije subjekata sistema civilne odbrane za vanredne situacije" u Vojnotehničkom glasniku (Bereš i dr., 2014, str.152-154).

## Efekti obrazovanja kombinovanog modela edukacije

Eksperimentalno istraživanje realizovano je kao eksperimenat sa jednom grupom (Mužić, 1982) na izabranim nastavnim sadržajima iz oblasti vanrednih situacija (slika 2), pogodnih za obradu heurističkim pristupom koje je uslovalo adekvatno oblikovanje nastavnih sadržaja (multimedijski CD sa nastavnim temama i jedinicama iz oblasti vanrednih situacija u vidu heurističkog algoritma) radi individualnog pristupa i trajnog sticanja znanja. Realizacija rada u eksperimentalnoj grupi E odvijala se kroz intenzivniji misaoni rad slušalaca, poštovanje određenih faza rada i povećane sazajne efekte. Istraživanje je sprovedeno u Odeljenju za vanredne situacije srednjobanatskog okruga Zrenjanin. Eksperimentom je obuhvaćena jedna grupa slušalaca koja čini jednu eksperimentalnu grupu („Eksperiment sa jednom eksperimentalnom grupom”), gde želimo da ustanovimo koliki je napredak (čist učinak nastavnog časa) slušalaca prilikom usvajanja gradiva iz oblasti vanrednih situacija, primenom učenja na daljinu i heurističkog modela. U eksperimentu su izabrani programski sadržaji realizovani primenom heurističkog



modela kao putokaz pri izboru nastavnih jedinica spomenute teme ili oblasti u toj realizaciji. Zavisnu varijablu eksperimentalnog istraživanja definisali smo kao: „povećani efekti nastave pri edukaciji slušalaca iz oblasti vanrednih situacija, putem korišćenja heuristike i učenja na daljinu-UD”.

Uticaj korišćenja heurističkog modela na efekte nastave iz oblasti vanrednih situacija ogleda se u rezultatima ispitivanja znanja slušalaca. Proučavanjem heuristike i UD u nastavi, analizom i selekcijom izvršen je izbor najpogodnijih sadržaja, čija primena obezbeđuje optimalne efekte nastave iz oblasti vanrednih situacija, u uslovima kombinovanja učenja na daljinu, heurističkog modela nastave i virtuelne učionice.

Rezultati delovanja eksperimentalnog faktora dobijeni su na osnovu sprovedenog testiranja slušalaca, na početku i na kraju svake nastavne jedinice određene nastavne teme. Da bi ustanovili čist učinak eksperimentalnog faktora od rezultata finalnog stanja, tj. kvantiteta usvojenih znanja, oduzeli smo inicijalno stanje (ono što su slušaoci već znali) tj. rezultate inicijalnog stanja koje smo odredili na početku navedene programske oblasti testiranjem slušalaca.

Eksperimentom je obuhvaćeno 20 slušalaca, aritmetička sredina finalnog stanja svih učesnika  $X_f=4,39$ , aritmetička sredina inicijalnog stanja  $X_i=3,25$ . Prema tome, prosečna efikasnost eksperimentalnog faktora  $XF = X_f - X_i = 4,39 - 3,25 = 1,14$  ili procentualno  $XF\% = 22,80\%$ . Naravno, ovde nismo koristili rezultate pojedinih slušalaca, već smo uzeli u obzir aritmetičke sredine. Na osnovu toga možemo konstatovati da je čist učinak slušalaca učenje na daljinu i heurističkog modela nastave ostvaren na primeru virtuelne učionice oko 22,80%, što znači da se nivo znanja slušalaca povećao na završetku realizacije nastavne jedinice, tj. blok-časa za 22,80% u odnosu na znanja koja su slušalaca imali na početku.

## Zaključak

Prednosti učenja na daljinu su fleksibilnost po pitanju vremena, mesta i tempa učenja, mnogo niža cena od cene kod tradicionalnog načina i znatno veća dostupnost informacija (elektronske knjige, članci, simulacije, virtuelne laboratorije ili učionice). Sve što je slušaocu potrebno je računari i pristup internetu. Učenje na daljinu nudi brojne prednosti i samim institucijama i nastavnicima. Broj slušalaca nije ograničen brojem raspoloživih nastavnika i učionica. Pored toga, cena organizovanja nastave je niža.

Timski rad u rešavanju problema u vanrednim situacijama donosi različite veštine u tim, što pospešuje efikasnost. Pored toga, tu su: više znanja i informacija; heuristička predviđanja problema; veće razumevanje i posvećenost problemima u vanrednim situacijama; usredsređenost na problem; proces odlučivanja po fazama sa odgovarajućim aktivnostima. Faza odlučivanja predstavlja proces donošenja odluke i obuhvata sledeće aktivnosti: analizu proble-

ma i definiciju ciljeva, analizu rizika, razradu strategija, razradu modela i simulacija ponašanja i donošenje odluke i njeno prenošenje na subjekte; primena heurističkih tehnika na rešavanje kombinatornih problema u vanrednim situacijama; primena heurističkih metoda usmerena u dva pravca: (a) na rešavanje složenih problema koji se mogu predstaviti u kvantitativnom obliku, ali su toliko složeni da njihovo rešenje nije moguće pomoću strogih analitičkih tehnika i (b) na probleme koji se ne mogu predstaviti matematičkim modelom, jer su promenljive u modelu kvantitativne prirode. Cilj heurističke metode je da omogućiti nalaženje prihvatljivih rešenja složenih problema koji ne mogu da se reše pomoću klasičnih metoda. Rešavanje heuristički koncipiranih problema podrazumeva: veštinu korišćenja relativnih znanja u postizanju postavljenih ciljeva, transformaciju dobijene situacije u željenu ili unapred definisanu pomoću razumevanja problema i sprovođenjem adekvatnih upravljačkih akcija (Hotomski, 1995). Pojam rešavanje problema označava razumevanje događaja i transformaciju znanja u odgovarajuće akcije. Potrebno je razvijati model i metod kojim bi se unapredio kvalitet donošenja odluka kvantitativnim sredstvima (softverska podrška), a radi racionalnijeg korišćenja resursa (energije, novca, vremena, radne snage, hrane, itd.) u svim vanrednim situacijama.

Takođe, treba predlagati originalna rešenja i biti konkurentan vodećim istraživanjima u oblasti vanrednih situacija.

Potrebno je uključiti mlade istraživače i osposobiti ih da u budućnosti budu vodeći domaći i svetski eksperti u oblasti vanrednih situacija.

## Doprinos – primenljivost u praksi

Ovi rezultati mogu služiti kao putokaz pri planiranju i opremanju svih subjekata sistema odbrane savremenim sredstvima za brzo reagovanje u vanrednim situacijama – bujičnim poplavama (kao što su: nove tehnologije – mobilni nasipi; sredstva za brze intervencije sa kopna na vodi i iz vazduha: čamci specijalne konstrukcije, protivgradni, protivpožarni avioni i sl.) i sredstvima veze (ALE-Automatic Link Establishment), kao i za projektovanje predloga kurikuluma za osposobljavanje kadrova civilne odbrane (lokalnih samouprava, privrednih društava, javnih preduzeća, udruženja, organizacija javnog informisanja, NVO i sl.), Sektora za vanredne situacije MUP-a, tj. (štabova za vanredne situacije), subjekata Ministarstva odbrane (Uprave za obaveze odbrane, Civilno-vojne saradnje J-9, Vojske Srbije) i drugih subjekata na teritoriji Republike Srbije po metodi učenja na daljinu preko portala Ministarstva odbrane, radi stvaranja kontinuiteta u praćenju, obučavanju i osposobljavanju budućih kadrova neophodnih reformisanoj civilnoj odbrani u vanrednim situacijama i vanrednom stanju.

Cilj inoviranog modela (učenje na daljinu i heurističkog modela nastave) jeste ukazivanje na mogućnost edukacije slušalaca u duhu racionalnog korišćenja postojećih resursa, kroz timski rad na zajedničkom projektu koji

objedinjuje različite ideje članova tima u uslovima kombinovanja učenja na daljinu, heurističkog modela nastave i virtuelne učionice – uključenost svih subjekata sa lokalnog nivoa u funkciji upravljanja vanrednim situacijama (poplave, olujni vetrovi, suše, požari, tehničko-tehnološke katastrofe, i sl.), i stavljanje ovakvih modela i modela Ministarstva odbrane u funkciju vanrednih situacija kroz demonstraciju primene na konkretnim primerima i donošenju pravovremenih racionalnih odluka u preventivnom delovanju i otklanjanju posledica eventualnih katastrofa koje mogu da nas zadese.

### Literatura

Amaldi, E., Capone, A., Malucelli, F., 2004, *Optimization models with power control and algorithm*, preuzeto sa [https://www.google.rs/?gws\\_rd=cr&ei=kz-BUvvEAsWatQbT4YGwBw#q=planning+umts+base+station+location+optimization+models+with+power+control+and+algorithms](https://www.google.rs/?gws_rd=cr&ei=kz-BUvvEAsWatQbT4YGwBw#q=planning+umts+base+station+location+optimization+models+with+power+control+and+algorithms), (pristupano 11.05.2004).

Bereš, P., Bereš, K., 2014, *Heuristika i operaciona istraživanja u funkciji edukacije subjekata sistema civilne odbrane za vanredne situacije*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 62(3), str.152-164.

Bereš, P., Bereš, K., 2013, *Heuristički model edukacije i prototip sistema za daljinsko aktiviranje sirena u vanrednim situacijama*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 61(1), str.46-57.

Hotomski, P., 1995, *Sistemi veštačke inteligencije*, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin.

Kvašček, R., 1978, *Modeli procesa učenja*, Beograd, Prosveta.

Ministry of Education, Canada, 2009, *Pandemic Response Framework and Pandemic Planning Guidelines for School Districts*, [http://www.gov.bc.ca/h1n1/attachments/pandemic\\_response\\_framework.pdf](http://www.gov.bc.ca/h1n1/attachments/pandemic_response_framework.pdf). (pristupano 18.06.2009).

Mužić, V., 1982, *Metodologija pedagoškog istraživanja*, Svjetlost Sarajevo.

Pokorni, S., 2009, *Obrazovanje na daljinu*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 57(2), str.138-146.

Vojna akademija, 2013, *Učenje na daljinu - CD autorizovana predavanja*, <http://www.va.mod.gov.rs/cms/view.php?id=17364> (pristupano 15.08.2014).

### ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ЭВРИСТИКА ПРИ ИНСТРУКТАЖЕ СОТРУДНИКОВ СЛУЖБЫ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

ОБЛАСТЬ: обучение  
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

#### Резюме:

*В данной работе представлены методы эвристики и дистанционного обучения, применяемые в учебном процессе представителей Гражданской обороны по чрезвычайным ситуациям,*

влияющие на выбор соответствующих решений, при наступлении чрезвычайных ситуаций и чрезвычайного положения. Особое внимание уделяется применению эвристической модели в обучении сотрудников оперативного штаба по чрезвычайным ситуациям и представителей командного состава Армии Республики Сербия.

Инструктаж предназначен командному и преподавательскому составу кадров Гражданской обороны: местному самоуправлению (начальникам районных управлений, председателям районных Советов, мэрам, председателям муниципальных округов и командирам), а также аварийно-спасательным службам (Сектор ГО и ЧС).

Эвристический метод, приспособленный системе дистанционного обучения, будет способствовать правильному выбору решений командного персонала, при наступлении чрезвычайных обстоятельств и объявлении чрезвычайного положения, как на местном, так и на национальном уровне Республики Сербия.

Ключевые слова: учение, дистанционное обучение, эвристика, гражданская оборона.

---

## DISTANCE LEARNING AND HEURISTICS IN THE EDUCATION OF CIVIL DEFENCE EMERGENCY PERSONNEL

FIELD: Education  
ARTICLE TYPE: Professional Paper  
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*The paper presents learning and the heuristic method in educating Civil Defense staff with a view to making appropriate decisions in emergency situations and a state of emergency with special reference to the use of heuristic models in the education of emergency teams and the command of the Army of Serbia. It is designed for command and teaching staff, as well as for the personnel of civil defense, the protection and rescue system (Department for Emergency Situations) and local governments (district chief executives, mayors and mayors-commanders and commanding officers of the Army of Serbia that can be employed in emergency situations during the protection and rescue of people and materiel.*

*The heuristic approach to problem solving and learning should provide the training of command personnel from the local to the national levels in making adequate decisions after the proclamation of emergency and a state of emergency in parts of the territory, or across the territory of the Republic of Serbia.*

## Introduction

*The modern world (post-industrial, technological, informational, global) needs people who are trained, ready and able to use new complex tools, who quickly and efficiently acquire, construct and apply a variety of skills, who actively and responsibly take part in complex social and economic relationships and processes in everyday life and make adequate, rational and best decisions, especially in emergency situations.*

*In a rapidly changing world, where knowledge expands in complexity and quantity on a daily basis, and where sources of information in the field of emergency proliferate at a speed of light, data, information and facts can become irrelevant and obsolete even before they are used. The heuristic approach to problem solving (Kvašček, 1978) implemented into the method of distance learning and the design of the future system of civil defense in the function of emergency seek to overcome these problems (Beres 2014) in a new way (teaching topics and units are designed as a heuristic algorithm (Amaldi et al., 2003), which allows learners to choose unknown subject matter and skip the known one, so that the maximum individuality is achieved in their work. Such a renewed model of distance learning with the heuristic concept allows the audience to get involved in the education process at any point in time (in their leisure time, during working hours via the Internet and from any computer available).*

## Concept, mission and purpose of distance learning at the Ministry of Defence

*Learning involves much more than simple transmission of information and cannot be defined as "the traditional view" (Figure 1) with the use of new technologies. It is a completely different process, using other methods, and provides a wealth of other features. It sets out the requirements before both learners (in this case – members of emergency teams and officers of the Serbian Army within these teams) and teachers and requires sharing responsibility. The style, method and approach applied in distance learning are significantly different from the traditional approach to learning which most learners are accustomed to. The learning environment is very interactive and communicative, but the key difference is that learners have great responsibility in relation to their progress in the learning process.*

## Heuristics in emergency situations and distance learning

*The heuristic modeling involves the creation of such a model that it has heuristic significance and represents several originals in one same model, i.e. this model enables the discovery of new knowledge and the development of creativity by requiring from learners to be independent taking into account the previous knowledge of each learner in their domain separately (e.g frequent emergencies (Beres et*

al., 2014, p. 155-159) The heuristic model very little determines activities in the course of solving problems so that it leaves to learners-team members (Staff for Emergencies) a possibility of finding one or all possible solutions, depending on learners' prior knowledge, level of independence, and their creative abilities. Such an approach to problem solving allows each learner-team member (Staff for Emergencies) to reach their maximum, for weak, average, and above average, i.e. talented listeners alike. Setting a problem using the heuristic strategy means that a team member is placed in a position to apply old experiences to new situations in order to discover new ways of creative problem solving (Beres et al., 2013, p. 46-57). Implementing such a model into the method of distance learning brings a new quality in the training of the mentioned staff. For example, multi media teaching with the teaching topics and units is designed as a heuristic algorithm (Figure 3), which allows learners a choice of unknown subject matter and skipping the known one, so that the maximum individuality is achieved in their work. Thus this innovated model of distance learning with the heuristic concept allows the audience to get involved in the education process at any point in time (in their free time, during working hours, on the Internet and computers).

#### Conclusion

The advantages of the method of distance learning and the implemented heuristic model of education are as follows.

The advantages of distance learning are flexibility in terms of time, place and pace of learning, much lower price than in the traditional way, and significantly increased availability of information (e-books, articles, simulations, virtual labs or classrooms). All the learner needs is a computer and the Internet access. Distance learning offers a number of advantages both to institutions and teachers. The number of listeners is not limited by the number of available teachers and classrooms. In addition, the price of organizing teaching is lower.

Teamwork in solving problems in emergency situations; more people bring different skills to the team, which helps to improve efficiency; more knowledge and information; heuristic prediction problem; greater understanding and commitment to problems in emergency situations; focus on the problem; decision-making process in stages with appropriate activities. The phase of decision making is a process of decision making and includes the following activities: problem analysis and definition of objectives, risk analysis, development of strategies, development of models and simulation of behavior as well as decision making and its transfer to learners; and the application of heuristic techniques to solve combinatorial problems in emergency situations. The use of heuristic methods is focused in two directions: (a) to solve complex problems that can be presented in quantitative terms but are so complex that their solution cannot be found using rigorous analytical techniques and (b) problems that

*cannot be represented by a mathematical model because the variables in the model are of quantitative nature. The goal of the heuristic method is to allow finding acceptable solutions to complex problems that cannot be solved by classical methods. Solving heuristically conceived problems (the term means: the art of using relative knowledge in achieving the set goals, the transformation of the resulting situation into the desired or predetermined one by understanding the problem and by implementing appropriate management actions). The notion of solving problems means understanding the events and the transformation of knowledge into appropriate actions. Developing models and methods that would improve the quality of decision making by quantitative means (software support) for a more rational use of resources (energy, money, time, labor, food, etc.) in all emergency situations.*

*Proposing original solutions and being competitive with leading research in the field of emergency.*

*Keywords: learning, distance learning, heuristics, civil defense.*

---

Datum prijema članka / Paper received on / Дата получения работы: 11. 08. 2014.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 19. 10. 2014.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 21. 10. 2014.

# АНГАЖОВАЊЕ ВОЈСКЕ СРБИЈЕ НА ПРУЖАЊУ ПОМОЋИ СТАНОВ- НИШТВУ У СЛУЧАЈУ НУКЛЕАРНИХ И ХЕМИЈСКИХ УДЕСА

Дејан Р. Инђић<sup>а</sup>, Мирослав Р. Терзић<sup>а</sup>,  
Стеван В. Жигић<sup>б</sup>, Срђан З. Рутић<sup>в</sup>

<sup>а</sup> Универзитет одбране у Београду, Војна академија

<sup>б</sup> Војска Србије, Гарда, Београд

<sup>в</sup> Војска Србије, Команда за обуку, ЦУК АБХО, Крушевац

DOI: 10.5937/vojtehg63-6923

ОБЛАСТ: заштита животне средине

ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: српски

**Сажетак:**

*Нуклеарни и хемијски удеси у савременом друштву често проузрокују несагледиве последице по људе, материјална средства и животну средину. Ова врста удеса захтева посебне процедуре и активности приликом отклањања последица, управо због специфичних карактеристика и велике токсичности материја које се користе у нуклеарним и хемијским постројењима. Војска Србије (ВС) са својим јединицама и установама може дати значајан допринос у реализацији задатака на санирању последица насталих при удесима. У раду је приказано место, улога и задаци ВС, као и један од начина ангажовања њених састава на пружању помоћи становништву у случају нуклеарних и хемијских удеса.*

Кључне речи: *јединице; отклањати; нуклеарни; хемијски; удеси.*

## Увод

Убрзани развој нуклеарних технологија, хемијске индустрије и повећана потреба човечанства за енергентима и синтетичким материјалима (производи и полупроизводи) условили су интензивну изградњу нуклеарних електрана (реактора) и капацитета за производњу различитог хемијског материјала чији рад објективно угрожава живот на ужем или ширем простору, а последице удеса могу бити несагледиве.

Кратак период коришћења нуклеарне енергије у мирнодопске сврхе указује на могућност настанка удеса, који могу угрозити живи свет уопште. Узроци настанка удеса могу бити различити (најчешће људски фактор), а последице ограничене на релативно мали про-



стор или на велика пространства (хаварија нуклеарне електране у Чернобилу – Украјина<sup>1</sup>).

У мирнодопској примени у свету, потенцијално најопаснији извор зрачења представљају нуклеарни реактори (531 електрана, 325 истраживачких реактора, бројне нуклеарне подморнице, сателити, бродови и др.), а део њих има застарелу технологију. У окружењу Србије налази се 16 блокова нуклеарних електрана, а на реци Дунав укупно 10.

Оштећења на хемијским постројењима и неконтролисано истицање опасних материја у спољну средину дешава се знатно чешће, како због већег броја таквих постројења, тако и због низа других фактора који утичу на могућност контролисања потенцијалних извора опасности (корозија на инсталацијама, саобраћајни удеси, неправилно складиштење и сл.). И у овом случају људски фактор је најчешћи узрок настајања опасности.

Хемијске материје су по својој природи агресивне у односу на човека и животну средину, те свако њихово неконтролисано ослобађање може довести до несавладивих последица и катастрофа. Хемијским загађењем – контаминацијом ваздуха, воде и земљишта угрожавају се основни ресурси и нарушава еколошка равнотежа на целој Земљи или на неком њеном делу. Ризик од таквих удеса постоји код рада и коришћења објеката хемијске индустрије, постројења, инсталација и опреме, транспортних средстава и друго, где се производе, прерађују, превозе, складиште или на неки други начин користе опасне хемијске материје (ОХМ).

Поред наведеног, треба нагласити да технолошки процеси нису у потпуности сигурни, без обзира на развој модерне технологије за праћење процеса производње. Проблем, поред осталог, лежи и у чињеници да су у нашој земљи, као и у окружењу, многа индустријска постројења и технолошки процеси застарели, па је самим тим могућност настанка удеса повећана.

Такође, треба истаћи да је данас у свету, више него икад, присутан страх од тероризма. Изведени терористички напади у Јапану<sup>2</sup>, САД, Русији, Шпанији, Ираку и другим земљама то потврђују и додатно упозоравају на могуће последице. (Trifunović i dr., 2011.)

У оквиру терористичких акција могући су терористички напади на хемијска и нуклеарна постројења, што може имати огромне последице, како на живи свет, тако и на материјална добра.

У овом раду биће приказана једна од могућих варијанти за ангажовање јединица (снага) ВС у помоћи цивилним структурама друштва, на отклањању последица нуклеарних (Н) и хемијских (Х) удеса.

<sup>1</sup> Евакуисано је преко 135.000 људи, контаминиран је већи део Европе, коначан биланс преко 8.000 мртвих, док број озрачених није у потпуности сагледан.

<sup>2</sup> Пример употребе хемијског оружја у терористичке сврхе је напад скте „Аум Синриќо“ на Токијски метро у марту 1995. године (11 настрадалих и преко 5.000 интоксикованих).

## Задаци, снаге и средства јединица Војске Србије за пружање помоћи становништву приликом нуклеарног и хемијског удеса

Употреба ВС планира се на основу: додељених мисија и задатака, могућих сценарија угрожавања безбедности земље, стања ВС, планова развоја система одбране, смерница и одлука.

Планирање употребе ВС треба да обезбеди војни одговор на изазове, ризике и претње безбедности. У ВС се израђују планови употребе, планови превенције криза и планови одговора на кризе. План употребе ВС је саставни део Плана одбране Републике Србије (Р. Србије). Планови превенције криза припремају се ради одговора на могуће кризне ситуације, који своје полазиште имају на израђеним сценаријима избијања и развоја кризе и израђују се на свим нивоима командовања. Они могу представљати основу за израду планова одговора на кризе. Планови одговора на кризе израђују се као одговор на насталу кризу. Ради учешћа снага ВС у мултинационалним операцијама, у складу са одлуком Народне скупштине Р. Србије, израђују се посебни планови. Планирање употребе ВС за пружање помоћи цивилним властима у супротстављању претњама безбедности остварује се у оквиру планирања превенције криза и у складу са конкретном ситуацијом. (Generalštab VS, 2010)

Опасне материје које се ослободе у току Н и Х удеса непосредно угрожавају живот и здравље људи, животиња, као и животну средину. На санацији последица Н и Х удеса ангажују се сви расположиви капацитети државе. Од брзине и ефикасности ангажовања, пре свега стручних екипа, а затим и осталих субјеката друштва, зависиће степен умањења насталих последица.

### *Задаци јединица Војске Србије у пружању помоћи становништву при нуклеарном и хемијском удесу*

За пружање помоћи цивилном становништву при Н и Х удесу могу бити ангажоване јединице и установе ВС, као и њени привремени састави.

Јединице, установе и привремени састави ВС приликом ангажовања на пружању помоћи цивилном становништву при Н и Х удесу у миру извршавале би, начелно, следеће задатке:

- утврђивање врсте и степена Н и Х опасности;
- контролу степена радиоактивне и хемијске контаминације;
- заштиту људи, животиња, покретних ствари и објеката од контаминације
- и отклањање последица контаминације.

У складу са врстом јединице која би била ангажована, произилазе и конкретни задаци које би те јединице у случају Н и Х удеса могле извршавати. (Indic, 2012, pp.133–146)

*Јединице АБХ службе* – коришћењем формацијских средстава и допунским опремањем специјалним средствима, извршавају: контролу радиоактивне и хемијске контаминације и учествују у отклањању последица насталих нуклеарним и хемијским удесом (РХ извиђање, спашавање, гашење пожара, деконтаминација и др.). Посебно место заузима вод за обезбеђење од Н и Х удеса из састава 246.БАБ-ХО/Команде КоВ који се ангажује на задацима обезбеђења од Н и Х удеса на целој територији Србије, по захтеву носиоца обезбеђења и наређењу надлежног старешине.

*Јединице авијације* – извршавају задатке контроле радиоактивне контаминације из ваздуха и у неприступачним рејонима, евакуације и транспорта, а ангажовањем специјалних ваздухоплова (хеликоптера са противпожарним ведром) и у неутралисању последица Н и Х удеса.

*Јединице инжињерије* – уз коришћење основних средстава (инжињеријских машина, амфибија и др.), ангажују се у контроли контаминације водених токова и отклањању последица – рашчишћавању рушевина, ослобађању комуникација и евакуацији и спасавању људи и материјалних добара.

*Оклопне јединице* – ангажују се за извиђање рејона са високим степеном радиоактивног зрачења и за евакуацију из тих рејона.

*Јединице пешадије* – учествују у организовању контролно заштитне службе, спашавању и евакуацији људи и материјалних добара.

*Јединице војне полиције* – учествују у обезбеђењу рејона удеса и реализују задатке из своје надлежности.

*Јединице речне флотиле* – ангажују се на унутрашњим пловним путевима на задацима РХ извиђања и РХ деконтаминације, спасавању и евакуацији људи и материјалних добара.

*Јединице и установе интендантске службе* – обезбеђују у условима Н и Х удеса снабдевање исправном храном и водом за пиће, сарађују у контроли контаминације хране и воде, те заштити и деконтаминацији материјалних средстава и објеката.

*Јединице и органи саобраћајне службе* – обезбеђују услове за несметано функционисање саобраћаја у случају удеса и непосредно се ангажују у транспорту ка угроженим рејонима и у евакуацији људства и материјалних добара из угрожених рејона.

*Органи санитетске службе* – контролишу контаминацију гамаспектрометријским и токсиколошко–хемијским анализама узорака и

непосредно збрињавају контаминирани, затровани, повређени и оболели у удесима. Поред постојеће организације за интервенције у удесима формирају стручне екипе и тимове.

*Органи ветеринарске службе* – контролишу контаминацију намирница животињског порекла и врше заштиту и отклањање последица Н и Х удеса код животиња.

Посебне задатке, нарочито у области контроле контаминације и отклањања последица, извршавају јединице (установе) које располажу стручним кадром и одговарајућим средствима и опремом или се наменски опремају и обучавају за те задатке. За извршавање посебних задатка ангажују се јединице (установе): АБХ службе, а непосредно сарађују Војномедицинска академија, Војнотехнички институт, органи државне управе и локалне самоуправе, предузећа и др. организације (хидрометеоролошка служба, служба осматрања и обавештавања, предузећа – произвођачи или корисници ОХМ, организације које се баве проблемима заштите животне средине и спасавања људи и материјалних добара при елементарним непогодама и др.).

Сарадњу са структурама ван ВС, надлежним за обезбеђење од елементарних непогода и других несрећа, остварују непосредни носиоци планирања и организовања обезбеђења јединица и установа од Н и Х удеса у миру. Циљ сарадње је:

- размена информација о стању објеката потенцијалних извора Н и Х опасности на територији (врста опасности, степен, количине ОХМ, токови транспорта, услови у којима долази до хаварије и др.),
- размена искустава у планирању и организовању обезбеђења (предузете мере, ангажоване снаге, поступци рада и др.),
- обавештење о месту, времену и врсти насталог удеса, степenu опасности, правцу ширења контаминације и другим значајним подацима који се односе на удес,
- координација активности у контроли степена опасности и отклањању насталих последица,
- усклађивање ангажовања снага и средстава према конкретним потребама и могућностима и др.

Сарадња се остварује са организацијским целинама Министарства одбране и са органима државне управе и локалне самоуправе који извршавају задатке обезбеђења од Н и Х удеса, као што су:

- *Служба осматрања и обавештавања* која, поред осталих задатака, прати нуклеарну (радиоактивну) и хемијску ситуацију и обавештава заинтересоване структуре. Команде, јединице и установе обезбеђују размену података о стању радиоактивности и хемијској ситуацији у својој зони одговорности;

– *органи Цивилне заштите*, који у оквиру задатака обезбеђења становништва и материјалних добара, у непосредној сарадњи са командама, јединицама и установама обезбеђују услове за живот и рад у случају удеса, разрађују поступке и стварају услове за контролу и отклањање последица Н и Х удеса;

– *Хидрометеоролошка служба*, која систематски прати радиоактивност ваздуха и падавина у оквиру хидролошког и метеоролошког мониторинга и ране најаве нуклеарне опасности. Подаци мерења са главних метеоролошких станица седмично се достављају Генералштабу ВС и командама оперативног нивоа;

– *стручним службама, институтима и органима у предузећима*, која производе или користе материје опасне по живот и здравље људи и загађују животну средину, ради што ефикаснијег предузимања мера за обезбеђење у случају удеса и стварања услова за живот и рад јединица и установа ВС. У случају удеса конкретно се ангажују у контроли и отклањању последица;

– *јединице и органи Министарства унутрашњих послова*, који у свом саставу имају специјализоване јединице обучене и опремљене за отклањање последица Н и Х удеса (посебно организацијске целине Сектора за ванредне ситуације).

### ***Снаге Војске Србије за пружање помоћи становништву при нуклеарном и хемијском удесу***

Војска Србије нема посебне снаге које су намењене за пружање подршке цивилним властима у случају елементарних непогода, техничко–технолошких и других несрећа, већ се ангажују постојеће, које својом организацијом, ресурсима и оспособљеношћу могу успешно реализовати овакве задатке.

Која ће се јединица ВС или њен део ангажовати у пружању помоћи цивилном становништву при Н и Х удесу зависиће од више фактора, а првенствено од:

- последица које су наступиле приликом Н и Х удеса;
- потреба које искажу органи цивилне власти и
- обима редовних задатака које јединице ВС у одређеном времену реализују.

Несумњиво је да ће се у пружању помоћи цивилном становништву при Н и Х удесу првенствено ангажовати јединице АБХ службе (посебно вод за обезбеђење од Н и Х удеса у миру који је у готовости за дејство у случају потреба), инжињерије, авијације, пешадије, оклопних јединица, санитетске службе итд.

## *Средства јединица Војске Србије за пружање помоћи становништву при нуклеарном и хемијском удесу*

За потребе пружање помоћи цивилном становништву при Н и Х удесу јединице Војске ослањају се, пре свега, на формацијска средства која се ефикасно могу употребити, а то су:

– *општа и специјална средства и објекти за радиолошку и хемијску заштиту* – заштитне маске, огртачи, изољујући апарати, заштитна одећа (комбинезони) и сл., склоништа, техничка средства, подешени објекти и др. (слика 1);



*Слика 1 – Средства за РХБ заштиту*

*Figure 1 – NBC protection equipment*

*Рис. 1 – Спецформа для защиты от радиационного и химического воздействия*

– *средства за детекцију радиоактивног (Р) зрачења и хемијских (Х) материја* – детектори и мерачи радиоактивности, хемијски детектори, индикаторска средства, гама–спектрометри (слика 2);



*Слика 2 – Средства за РХ детекцију*

*Figure 2 – NC detection equipment*

*Рис. 2 – Приборы для радиационной и химической разведки*

– прибори и уређаји за РХ деконтаминацију (слика 3).



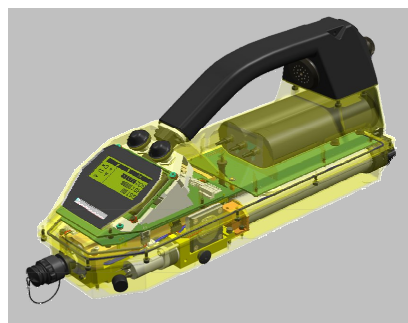
Слика 3 – Уређаји за РХ деконтаминацију

Figure 3 – NC decontamination devices

Рис. 3 – Приборы для радиационной и химической контаминации

За извршавање посебних задатака у случају Н и Х удеса одређене снаге (привремени састави) опремају се одговарајућим ванформацијским средствима и опремом, као допуна основних средстава. Ову групу средстава и опреме начелно чине:

- специјална цедила за заштиту од индустријских гасова и друга специјална заштитна средства (нпр. специјални заштитни комплекти са изолационим апаратима),
- савремена средства за детекцију и идентификацију опасних материја (слика 4) и
- друга опрема за праћење контаминације и отклањање последица удеса.



Слика 4 – Савремена средства за детекцију и идентификацију опасних материја (DRAGER ACCURO и RAID M-100)<sup>3</sup>

Figure 4 – Modern means for the detection and identification of hazardous materials (DRAGER ACCURO and RAID M-100)

Рис. 4 – Современные приборы для обнаружения и определения опасных веществ (DRAGER ACCURO and RAID M-100)

<sup>3</sup> Део наведених средства налази се у ЦУК АБХО Крушевац и 246.БАБХО/Команде КоВ.

Месна и приручна средства (аутомобил цистерне, прскалице, пумпе, системи за орошавање...) користе се у складу са могућности-ма и према конкретним условима.

За извршавање задатака транспорта, евакуације, заштите, збрињавања, гашења пожара, изолације, РХ извиђања, рашчишћавања и др. ВС располаже широким дијапазоном средстава – од инжињеријских машина, оклопних возила, хеликоптера, бродова, санитарских возила, ватрогасних возила, камиона, аутобуса до средстава за обезбеђење водоснабдевања, резерви хране, средстава за медицинско збрињавање и сл.

## Приказ ангажовања састава Војске Србије на пружању помоћи становништву у случају нуклеарног и хемијског удеса

У овом делу рада биће приказано ангажовање јединица ВС на пружању помоћи цивилним властима на отклањању последица при Н и Х удесу. Најпре ће бити извршено моделовање удеса и, на основу насталих (прогнозираних) последица, биће приказан начин ангажовања састава ВС на отклањању последица.

У раду се неће разматрати модел Н удеса због тога што је могућност нуклеарног удеса на територији Србије мало вероватна, а уколико и дође до нуклеарног удеса у окружењу и испољи се утицај на нашој територији, у отклањању његових последица морале би се (због његових специфичних карактеристика) ангажовати целокупне снаге државе намењене за ову сврху (био би захваћен већи део територије државе).

### *Модел нуклеарног и хемијског удеса*

Према дефинисаним сценаријима израчунавају се и моделују ефекти удеса, а на основу добијених података одређују се ширине повредивих зона и предвиђају снаге за отклањање насталих последица. За моделовање се користе параметри произашли из природе опасних материја које учествују у удесу или настају у њему и њихове физичко-хемијске, токсиколошке и друге особине. Ради добијања потпуних података морају се узети у обзир и тренутни метеоролошки параметри и топографске карактеристике локације на којој је дошло до удеса (у овом моделу то је град Шабац, где на 1 km<sup>2</sup> живи просечно 150 становника). (Inđić, 2014)



### Сценарио хемијског удеса

На локацији хемијске фабрике „Elixir group” је 24. 6. 2014. године око 06.00 часова, услед превртања вагон-цистерне са амонијаком дошло до изливања комплетног садржаја из резервоара по околном простору. Физичко-хемијске карактеристике изливане опасне материје и подаци о моделованом Х удесу приказани су у табели 1.

Табела 1 – Подаци о моделованом хемијском удесу  
Table 1 – Information about the modeled chemical accident  
Таблица 1 – Данне о прогнозно-моделуемој хемическој аварии

<b>ПОДАЦИ О НАСТАЛОМ УДЕСУ</b>	
Време и датум удеса	06.00, 24.06.2014. године
Назив опасне материје	амонијак
Количина	20 t
Просечна дебљина локве	14 cm
<b>ЖАРИШТЕ</b>	
Полупречник	13.9 m
Површина отпаравања	21.9 m <sup>2</sup>
Брзина отпаравања	733,9 g/s
Прешло у парну фазу	4.01 t
Време природне деконтаминације	06:03 (сат:мин)
<b>ПРИМАРНИ ОБЛАК</b>	
Дубина простирања/површина зоне	0,44 km / П=0,41 km <sup>2</sup>
<b>СЕКУНДАРНИ ОБЛАК</b>	
Дубина простирања/површина зоне	2,06 km / 13,32 km <sup>2</sup>
<b>ПОСМАТРАНА ТАЧКА</b>	
По слободном избору	
<b>ПОДАЦИ О ОПАСНОЈ МАТЕРИЈИ</b>	
Назив опасне материје	амонијак
Молекуларна маса	17 g/mol
Температура кључања	- 33 <sup>o</sup> C
Напон пара на 20 степени	800000 Pa
Средња смртна концентрација	4500 mg/m <sup>3</sup>
Максимална дозвољена концентрација	18 mg/m <sup>3</sup>
Гранична вредност имисије	2 mg/m <sup>3</sup>
Средња праг токсодоза	454000 mg/m <sup>3</sup>
Густина у течном стању	610 kg/m <sup>3</sup>
Специфична запремина	1.41 m <sup>3</sup> /kg
Прелази у парну фазу на 30 степени	23 %
<b>МЕТЕО ПОДАЦИ (мерено 24. 6.2014. године у 6.00 часова)</b>	
Ветар (брзина/из правца)	1 m/s – 180 (С)
Температура (2 м)	18 <sup>o</sup> C
Вертикална стабилност	Ф – инверзија

Полазни подаци:  
 – маса амонијака: 20 t;  
 – подлога: бетонска;  
 – околина: градски услови;  
 – температура ваздуха (околине): 18°C;  
 – релативна влажност ваздуха: 60% (време: без падавина);  
 – ветар: јужни, брзина 1 m/s (на висини 2 m од нивоа тла);  
 – стање у приземном слоју атмосфере: стабилно, класа – Ф (инверзија).

Када се наведени параметри из удесног сценарија унесу у програмски пакет „HeSPRO”<sup>4</sup> добија се преглед (табела 1) који садржи податке о удесу, податке о опасној материји, метео податке и шему зоне опасности (слика 5). (Luković, i dr., 2004)



Слика 5 – Зоне простирања опасних концентрација амонијака, након 30 min од почетка дисперзије, у условима стабилне атмосфере и при брзини ветра од 1 m/s  
 Figure 5 – Zone of the propagation of dangerous concentrations of ammonia after 30 min from the start of the dispersion, under the conditions of the stable atmosphere, and at a wind speed of 1 m/s

Рис.5 – Зоны опасной концентрации аммиака, после 30 минут от начала дисперсии, в стабильных метеорологических условиях, при скорости ветра 1m/c.

Према подацима на слици 5 евидентно је да зоне нарочито опасних концентрација досежу преко 400 m од места изливања (жаришта контаминација), те је у оквиру одговора на насталу удесну ситуацију неопходно спровести мере санације удеса. Свакако, најважнија активност биће реализација X деконтаминације настале локве од изливеног амонијака.

Последице на људе и материјална добра при изливању ОХМ приказани су у табели 2.

<sup>4</sup> „HeSPRO” – програм за брзу процену хемијске ситуације при удесима са опасним материјама налази се у свим јединицама ВС ранга баталјон – дивизион.

Табела 2 – Последице хемијског удеса при изливању амонијака  
 Table 2 – Consequences of the chemical accident of ammonia spill  
 Таблица 2 – Последствия химической аварии с выбросом аммиака

Р. бр.	Последице Х удеса на људе, ТМС и земљиште	Обим последица	НАПОМЕНА
1.	<b>Хемијски удес</b>		
	а) Жариште удеса с посебно угроженим рејоном ( $C_{IDLH}^5$ )	$r=0,44\text{km}; O=2,26\text{km}; P=0,41\text{ km}^2$	
	б) Шире захваћен рејон ( $C_{0,1IDLH}^6$ )	$r=2,06\text{km}; O=12,94\text{km}; P=13,32\text{ km}^2$	
2.	<b>Последице на људе</b>		
	а) Настрадали	3 до 4 лица	Сахрањивање
	б) Интоксиковани ( $C_{IDLH}$ )	62 лица	Санитетско збрињавање
	б) Интоксиковани ( $C_{0,1IDLH}$ )	400 лица	За хемијску деконтаминацију
3.	<b>Последице на ТМС (возила)</b>		
	а) Возила до 10 t	24 до 30 ком	За хемијску деконтаминацију
	б) Возила преко 10 t	12 до 15 ком	За хемијску деконтаминацију
4.	<b>Приоритетне комуникације</b>	1,76 km	За хемијску деконтаминацију

### Модел састава Војске Србије за отклањање последица нуклеарног и хемијског удеса

На основу модела Х удеса приказаног у претходном делу, применом различитих научних метода (метода анализе и синтезе, историјско–компаративна метода и др.), може се доћи до једног од могућих модела састава ВС за пружање помоћи цивилном становништву на отклањању последица Н и Х удеса.

У складу са стандардном законском процедуром на месту моделованог Х удеса (жаришта) прво би се ангажовале снаге цивилних структура, и то: специјализоване екипе предузећа, снаге за извиђање места удеса (токсиколошке екипе Завода за јавно здравље), санитетске екипе локалне самоуправе и снаге МУП-а (пре свих снаге Сектора за ванредне ситуације). (Indić, 2012, pp.288–307)

Уколико снаге цивилних власти нису у могућности да у потпуности одговоре на удес (што је случај у моделованом Х удесу), на основу захтева за ангажовањем и на основу процене потребних снага формира се привремени састав ВС за пружање помоћи становни-

<sup>5</sup> IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) – концентрација опасна по здравље људи, при експозицији од 30 min ( $IDLH = 18\text{ mg/m}^3$ )

<sup>6</sup> 0,1IDLH – концентрација опасна за осетљиву популацију (деца, старе особе и болесни).

штву на отклањању последица насталог удеса. Један од могућих модела организације привременог састава ВС за пружање помоћи цивилним властима на отклањању последица моделованог хемијског удеса приказан је на шеми 1.

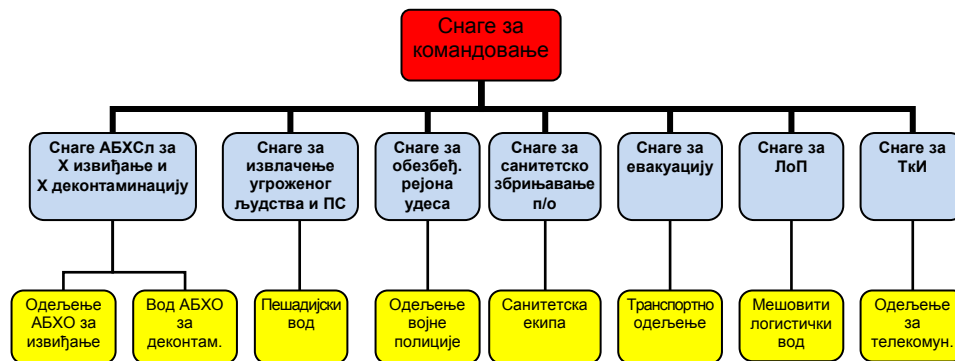


Схема 1 – Организација привременог састава ВС за пружање помоћи цивилним властима на отклањању последица Х удеса

*Scheme 1 – Organization of a temporary structure of the SA to provide assistance to civil authorities in eliminating the consequences of a chemical accident*

Схема 1 – Организација спасатељних подразделения ВС, содејствующих органам грађданской обороны в мероприятиях по ликвидации последствий химической аварии

У табели 3 приказана је моделована формација привременог састава са задацима јединица на отклањању последица при Х удесу.

Табела 3 – Моделована формација привременог састава ВС

*Table 3 – Modeled formation of an SA temporary structure*

Таблица 3 – Модель структуры спасательных подразделений ВС РС

ЈЕДИНИЦА		Категорија лица			УКУПНО	ЗАДАТАК
		Оф	Поф	ПВ (ЦП)		
Снаге за командовање	Командир	1			2	Командовање привременим саставом и координација са штабом локалне самоуправе.
	Заменик	1				
Снаге АБХО за извиђање и деконтам. (Дк)	оАБХОи		1	8	31	Одељење АБХО за извиђање са 3 извиђачке патроле извршава задатке извиђања рејона Х удеса. Вод АБХО за Дк састава три одељења са специјалним м/в АЦД М-78 извршава задатке деконтаминације људи, животиња, ТС, земљишта и објеката.
	вАБХОд	1	3	18		

ЈЕДИНИЦА		Категорија лица			УКУПНО	ЗАДАТАК
		Оф	Поф	ПВ (ЦЛ)		
Снаге за извлачење угроженог људства и ПС	Пешадијск и вод	1	4	35	40	Извршавају задатке помоћи цивилном становништву при евакуацији и одвођењу до рејона прикупљања, одакле се транспортним средствима врши даља евакуација.
Снаге за обезбеђење рејона удеса	Одељење ВП		1	12	13	Извршавају задатке спречавања уласка лица и м/в у рејон удеса и спречавања нарушавања јавног реда.
Снаге за санитетско збрињавање п/о	Санитетска екипа	1	2	2	5	Извршавају задатке указивања прве помоћи, тријажа, евакуације до медицинских установа и деконтаминације повређених.
Снаге за евакуацију	Одељење за транспорт		1	5	6	Извршавају задатке евакуације, односно превозења, првенствено људи, из угроженог рејона.
Снаге за логистичку подршку (ЛоП)	Мешовити логистички вод	1	4	29	34	Састава 4 одељења (ватрогасно, за снабдевање, за одржавање и опште логистике) извршавају првенствено задатке ЛоП јединица ВС ангажованих на отклањању последица удеса, а у случају потребе могу се ангажовати и на обезбеђењу водом, храном, ћебадима и сл.
Снаге за телекомуник и информатику (ТКИ)	Одељење за телекомун.		1	9	10	Извршава задатке ТКИ обезбеђења између команде привременог састава и официра за везу у штабу локалне самоуправе, команде привременог састава и претпостављене команде и међу снагама привременог састава.
<b>УКУПНО</b>		<b>6</b>	<b>17</b>	<b>118</b>	<b>141</b>	

Моделоване снаге ВС ангажују се у сарадњи са снагама цивилних власти, а свим снагама ангажованим на отклањању последица Х удеса руководи градски штаб за ванредне ситуације у чијем се саставу налази и официр за везу из ВС. (Žigić, 2014.)

Ово је само један од могућих модела састава ВС за пружање помоћи цивилним властима на отклањању последица Х удеса, а које ће се и колике снаге ангажовати првенствено ће зависити од размера удеса и исказаних потреба цивилних власти. (Inđić i dr., 2014, pp.23–41)

Напомињемо да у ВС постоје, на гарнизоним принципима, већ организовани привремени састави за пружање помоћи локалној самоуправи у случају Н и Х удеса, али се поставља питање њихове ефикасности, односно брзине реаговања за одговор на удес, с обзиром на то да оне нису стално задејствоване. Такође, поставља се питање правовременог ангажовања јединица АБХ службе с обзиром на то да се оне налазе само у гарнизону Крушеваца.

### ***Ангажовање састава Војске Србије на отклањању последица нуклеарног и хемијског удеса***

Отклањање последица Н и Х удеса је организована делатност носилаца задатака из обезбеђења од Н и Х удеса у миру, којом се умањују или елиминишу настале последице, а опасност по људе своди на најмању могућу меру.

Организовање отклањања последица обухвата:

– одређивање посебних снага и средстава и начин њиховог ангажовања на отклањању последица, услове и начин ангажовања у угроженим рејонима и

– успостављање сарадње с другим интервентним снагама за санирање насталих последица (екипе предузећа – радних организација, снаге локалне самоуправе, јединице и органи цивилне заштите, ватрогасне јединице, медицинске екипе и др.).

За отклањање последица Н и Х удеса формирају се посебне снаге (привремени састави) са потребним средствима. Величина и састав тих састава и начин њиховог ангажовања разрађују се упутством које прописује командант гарнизона (гарнизоног места) – аеродрома, а сходно закључцима из процене опасности од Н и Х удеса и могућностима јединица и установа размештених у гарнизону (гарнизоним местима). У зависности од величине насталог удеса и захтева, односно потреба цивилних власти, могу се ангажовати и друге снаге и средства ВС, које нису одређене упутством команданта гарнизона (гарнизоног места) – аеродрома.

Евидентно је да би тежиште у помоћи цивилним властима у отклањању последица од Н и Х удеса, првенствено по питању радиолошког и хемијског извиђања и радиолошке и хемијске деконтаминације, имале јединице (састави) АБХ службе, док би се остали састави ангажовали на посебним задацима и помоћи цивилним структурама у санитарском збрињавању повређених, рашчишћавању препрека и рушевина, гашењу пожара, евакуацији цивилног становништва, обезбеђењу места удеса и слично.

### ***Ангажовање састава Војске Србије у санитетском збрињавању повређених и интоксикованих***

На задацима санитетског збрињавања повређених и интоксикованих, у пружању помоћи цивилном становништву у случају Н и Х удеса ангажовали би се органи санитетске службе формирањем привремених амбуланти (слика 6).

Задаци које би ти санитетски састави реализовали обухватају: указивање прве помоћи, тријаж, евакуацију, деконтаминацију повређених и оболелих, лечење и др.



*Слика 6 – Привремена амбуланта за отклањање последица при Н и Х удесу*  
*Figure 6 – Temporary clinic for the elimination of consequences in N and C accidents*  
*Рис. 6 – Полевой многопрофильный госпиталь для оказания медицинской помощи пострадавшим от ядерной и химической аварий*

### ***Ангажовање састава Војске Србије у рашчишћавању препрека и рушевина***

За задатке рашчишћавања препрека и рушевина тежишно би се формирали састави из јединица рода инжењерије који би, уз коришћење основних средстава (инжењеријске машине, возила и др.), били ангажовани у рашчишћавању рушевина, ослобађању и оправци путних комуникација. Поред инжењеријских јединица у рашчишћавање препрека и рушевина свакако могу бити укључене и друге јединице ВС (пре свих оклопне и пешадијске јединице), првенствено са људством, што ће, наравно, зависити од величине удеса и насталих последица (слика 7).

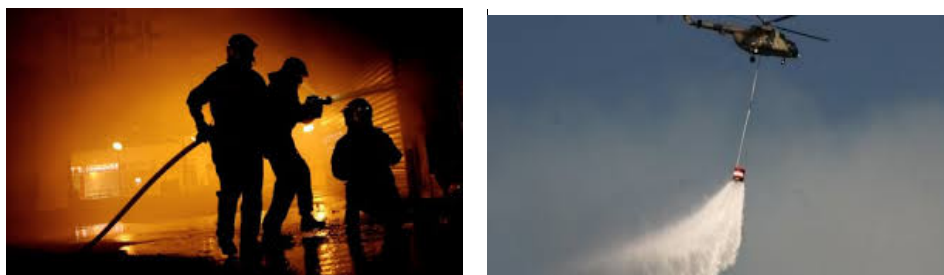


Слика 7 – Рашчишћавање рушевина ангажовањем инжињеријских састава  
 Figure 7 – Clearing debris by engaging engineering units  
 Рис. 7 – Расчистка развалин инженерными войсками

### Ангажовање састава Војске Србије у гашењу пожара

Војска Србије има у свом саставу формацијске ватрогасне јединице намењене и оспособљене за извршење задатака гашења пожара и првенствено би се те јединице, односно састави, ангажовали на реализацији гашења пожара у сарадњи са ватрогасним јединицама МУП-а (слика 8).

За гашење већих пожара и пожара у тешко приступачним рејонима могу се ангажовати јединице авијације својим специјалним ваздухопловима (хеликоптерима са противпожарним ведром).



Слика 8 – Гашење пожара (са земље и из ваздуха)  
 Figure 8 – Fire extinguishing (from the ground and from the air)  
 Рис. 8 – Пожаротушение (наземными и авиационными силами)



### **Ангажовање састава Војске Србије у радиолошком и хемијском извиђању**

На задацима радиолошког и хемијског извиђања првенствено би се образовали привремени састави из јединица АБХ службе, а као појединци могу се ангажовати и РХ извиђачи који се налазе у осталим јединицама ВС.

За поједине задатке РХ извиђања могу се, у одређеној мери, користити авијација, оклопне и механизоване јединице, које би се ангажовале за извиђање рејона са високим степеном радиоактивности (слика 9).



Слика 9 – Радиолошко извиђање места нуклеарног удеса  
Figure 9 – Radiological surveillance of nuclear accidents  
Рис. 9 – Радиационна разведка очага ядерног поражења

### **Ангажовање састава Војске Србије у радиолошкој и хемијској деконтаминацији**

Деконтаминација приликом Н и Х удеса представља скуп мера и активности којима се уклањају и неутралишу радиолошки и хемијски контаминанти настали при удесима, чиме се опасност са контаминираних површина или средина своди на дозвољене нивое контаминације. Крајњи циљ деконтаминације је потпуно отклањање радиоактивних контаминаната и свођење нивоа контаминације на минимум и неутрализација хемијских контаминаната. (Generalštab VS, 2008)

Деконтаминацији при Н и Х удесима у миру подлежу: људи, животиње, храна и вода, техничка средства, одећа и опрема, земљиште и објекти (слика 10). Она може бити потпуна и делимична.

*Делимична деконтаминација* подразумева отклањање контаминаната са одређених делова тела (лице, врат, руке и сл.). Делимична деконтаминација је привремена, па треба увек тежити потпуној деконтаминацији.

Потпуну деконтаминацију људи обављају јединице АБХ службе, на за то уређеним просторима (деконтаминационе станице). Деконтаминацију повређених и оболелих обављају органи санитетске службе (на уређеним пунктовима). Повређене и оболеле животиње деконтаминирају се у ветеринарским установама. За деконтаминацију земљишта и објеката биће употребљене јединице АБХ службе, али и други састави ВС: инжињерија, када је потребно скидати одређени слој земљишта, ауто-цистерне из логистичких јединица за испирање земљишта и др.



Слика 10 – Хемијска деконтаминација објеката  
Figure 10 – Chemical decontamination of facilities  
Рис. 10 – Химическая деконтаминация объектов

### Ангажовање састава Војске Србије у евакуацији становништва

За потребе евакуације цивилног становништва из угроженог подручја могу бити, у складу са потребама, ангажовани сви транспортни капацитети ВС, од јединица саобраћајне службе као носиоца транспорта у Војсци, па до транспортне авијације и јединица речне флотиле (слика 11).



Слика 11 – Евакуација становништва транспортном авијацијом  
Figure 11 – Evacuation using transport aircraft  
Рис. 11 – Транспортная авиация, задействованная для эвакуации населения

Након укључивања приказаних снага у састав екипа за интегрисани одговор на удес, њихово ангажовање одвијало би се у складу са одлукама команданта Штаба за ванредне ситуације (општине – града). Време ангажовања предложеног привременог састава зависиће од последица Х удеса (наведених у табели 1), али и од успешности координаног рада са осталим субјектима који учествују у одговору на удес.

На основу моделованих последица време ангажовања ових снага начелно би износило:

- 1) за хемијско извиђање места удеса (спољна граница жаришта удеса): око 30 минута;
- 2) за Х извиђање правца на контаминираним земљишту: око 60 минута;
- 3) за Х деконтаминацију људи: 3 h;
- 4) за Х деконтаминацију возила: 3 до 4 h;
- 5) за Х деконтаминацију приоритетних комуникација: 1,5 до 2 h;
- 6) за санитетско збрињавање п/о: 2 до 3 h;
- 7) за извлачење људства из угроженог рејона: 2 до 3 h;
- 8) за евакуацију са места Х удеса: 3 до 4 h.

У оквиру интегрисаних снага формира се и Служба за информисање, која ће давати информације са терена и саветовати грађане како да се понашају у овим сложеним условима. О ситуацији у рејону удеса грађани се могу информисати и преко Центра за обавештавање општине – града (на телефон за хитне позиве – 112).

## Закључак

Нуклеарни и хемијски удеси и угрожавање здравља грађана и животне средине, услед контаминације радиолошким и хемијским контаминантима, стални су безбедносни ризици за становништво и материјална добра Републике Србије.

Нормативно-правно регулисање и успостављање ефикасног система заштите и спасавања у ванредним ситуацијама, као и подршка осталих структура система и институција државе представља један од изазова на које је потребно одговорити приликом спровођења организационих и законодавних реформи. Основни циљ је обједињавање свих активности усмерене ка заштити живота, здравља и имовине грађана, очување услова неопходних за живот и припремање за превазилажење ситуација у условима пожара, елементарних непогода, дејстава опасних материја и других опасности.

Оперативност и координација између органа цивилне власти, Војске и осталих учесника у санирању последица Н и Х удеса веома је значајна. То намеће потребу одређивања посебних лица за координацију активности снага ВС и осталих учесника не само у санира-

њу последица удеса, већ и у фази процене могућих ризика, израде планова и одређивања снага за евентуални одговор на удес.

Такође, ради успешних припрема и ангажовања снага у операцији пружања подршке цивилним властима у случају Н и Х удеса, потребно је вршити сталну едукацију припадника ВС уз координацију са осталим надлежним министарствима из ове области. У извршавању задатака оспособљавања припадника ВС и других учесника у операцији пружања подршке цивилним властима у случају Н и Х удеса, активну улогу може имати Центар за обуку кадрова АБХО у Крушевцу.

У пружању подршке цивилним властима у случају Н и Х удеса значајно место имале би, поред јединица АБХ службе, и јединице које могу извршавати задатке евакуације и транспорта, као и јединице инжињерије, војне полиције, пешадије, логистике, а по потреби и друге.

Тренутна решења на нивоу државе су таква да свако министарство планира своје задатке и снаге у случају елементарних и техничко-технолошких несрећа, што свакако није добро. Коришћење јединица ВС у пружању подршке цивилним властима је ограничавајуће, с обзиром на то да такве ситуације захтевају брзо реаговање, опремљеност и обученост јединица за такве задатке, а од момента када се упуту захтев органа локалне самоуправе до тренутка ангажовања јединица ВС може проћи и више часова. С обзиром на карактеристике опасних материја, време често може бити ограничавајући фактор за употребу јединица ВС, односно оно знатно утиче на целисходност њиховог ангажовања.

За брз, ефикасан и поуздан одговор на Н и Х удес неопходно је постојање опремљених и оспособљених снага, не само јединица ВС већ и осталих структура, почевши од нивоа предузећа која се баве производњом, преко општине, града, округа и ресорних министарстава. Да би се ове снаге активно укључиле у интегрисани одговор приликом Н и Х удеса неопходно је њихово заједничко увежбавање на реализацији отклањања последица у овим условима. Овај проблем може се решити учешћем у реализацији здружених вежби, али и кроз извођење радних састанака, семинара и научних скупова из ове области, уз активно учешће свих наведених субјеката Републике Србије. Ту, свакако, значајну улогу могу имати и јединице и установе ВС и Министарства одбране, али само ако буду потпуно оспособљене и опремљене за реализацију наведених задатака.

### *Литература / References*

- Generalštab VS, 2008, Uputstvo za obezbeđenje Vojske Srbije od nuklearnih i hemijskih udesa u miru, privremeno, Beograd,  
 Generalštab VS, 2010, *Doktrina Vojske Srbije*, Beograd,  
 Indić, D., 2012, *Possibility of the development of a Serbian protection system against chemical accidents*, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(4), pp.133–146,

Indić, D., 2012, *Mesto jedinica ABH službe u obezbeđenju od hemijskog udesa*, Vojno delo, proleće/2012, pp.288–307,

Indić, D., 2014, *Model angažovanja jedinica ABH službe na otklanjanju posledica hemijskog udesa – doktorska disertacija*, Vojna akademija, Beograd,

Indić, D., Mučibabić, S., 2014, *Model angažovanja jedinica ABH službe prilikom hemijskog udesa*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, 62(1), pp.23–41,

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

Trifunović, D. i dr., 2011, *Terorizam i vehabizam*, Izdavačko preduzeće „Filip Višnjić”, Beograd,

Žigić, S., 2014, *Angažovanje Vojske Srbije na pružanju pomoći civilnom stanovništvu u slučaju nuklearnih i hemijskih udesa – stručni rad na KŠU*, Vojna akademija, Beograd.

#### УЧАСТИЕ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ В ОПЕРАЦИЯХ ПО ОКАЗАНИЮ ПОМОЩИ ГРАЖДАНСКОМУ НАСЕЛЕНИЮ ПРИ ЯДЕРНОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ АВАРИЯХ

ОБЛАСТЬ: охрана окружающей среды  
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья  
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

##### Резюме:

*В современном мире ядерные и химические аварии часто приводят к неизгладимым последствиям для населения и окружающей среды, а также наносят огромный экономический и материальный ущерб.*

*В связи с этим, для ликвидации последствий такого рода аварий должны быть разработаны специальные мероприятия и действия, с учетом радиоактивных свойств и высокой токсичности веществ, используемых в атомной и химической промышленности.*

*Части и подразделения Вооруженных Сил (ВС) Республики Сербия могут внести значительный вклад при выполнении задач по смягчению и ликвидации последствий ядерных и химических аварий.*

*В статье описаны положение, роль и задачи ВС РС, а также способы оказания помощи гражданскому населению, пострадавшему от ядерной и химической аварий.*

Ключевые слова: подразделения, ликвидация, ядерная, химическая, аварии.

## ENGAGEMENT OF THE SERBIAN ARMY IN HELPING CIVILIANS IN THE EVENT OF NUCLEAR AND CHEMICAL ACCIDENTS

Dejan R. Inđić<sup>a</sup>, Miroslav R. Terzić<sup>a</sup>, Stevan V. Žigic<sup>b</sup>, Srđan Z. Rutić<sup>c</sup>

<sup>a</sup> University of Defence in Belgrade, Military Academy

<sup>b</sup> Serbian Army, Guard, Belgrade

<sup>c</sup> Serbian Army, Training Command, Centre for NBC Staff training, Kruševac

FIELD: Environment Protection

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: Serbian

### Summary:

*Nuclear and chemical accidents in modern society often cause devastating consequences to people, material resources and the environment. This kind of accident requires special procedures and activities during the elimination of the consequences, because of the specific characteristics of highly toxic substances used in nuclear and chemical plants. The Serbian Army with its units and organizations can contribute significantly to the implementation of tasks of eliminating the consequences of such accidents. The paper describes the role and the tasks of the Serbian Army as well as one of the methods to utilize its units to provide assistance to the population in case of nuclear and chemical accidents.*

### Introduction

*Today, for peacetime applications, many different sources of radiation are used, among which nuclear reactors are certainly the most dangerous. Due to accidents that occurred in the previous period, the risk of nuclear accidents is not negligible, and potential consequences are usually disastrous. Accidents at chemical complexes and uncontrolled releases of hazardous substances into the environment are much more likely to happen. Accidents at such plants throughout the world are very common, and the resulting effects on people, property and the environment are often significant.*

*The elimination of consequences occurring at nuclear sites or by chemical accidents engages all structures of the society, in accordance with the duties and assigned tasks, including a significant role of the units and institutions of the Serbian Army.*

Tasks, resources and forces of the Serbian Army to assist the population in nuclear and chemical accidents

*The tasks of the Army of Serbia arise from doctrinal documents on its use within assigned missions. Assisting the population in NC accidents is defined in the 3rd mission of the Army: "Support to civilian*

authorities in countering threats to security," and the central task within it is to assist civilian authorities in responding to natural, technological and other disasters. The Army of Serbia has no special forces intended for the implementation of these tasks, but it engages the existing ones depending on the extent of accident consequences. Also, when providing assistance to civilian authorities, the NC accident units of the Serbian Army use their equipment and, if necessary, supplement it with local and handy tools that can be used for this purpose.

Display of the engagement of the Serbian Army to provide assistance to the population in case of nuclear or chemical accidents

To assess the modeling power of the Army of Serbia to participate in the elimination of accident consequences, we first perform the modeling of accidental situations and budget resulting consequences. The probability of nuclear accidents in the territory of the Republic of Serbia is low, so chemical accidents have been modelled with their possible consequences as well as the forces of Serbia which can be used effectively with other entities of the society to solve the resulting problems.

Engaging the SA units in eliminating the consequences of NC accidents would consist of several main tasks, namely:

- Providing emergency care for injured and intoxicated – authorities realize the medical service by forming temporary clinics;
- Removing obstacles and debris – mostly by engaging engineering units with their machinery, but for more considerable damage, armored and mechanised units, or infantry units may be included.
- Fire fighting – firefighting units trained for these tasks assist police;
- Radiological and chemical reconnaissance – RBC survey service units are primarily engaged, but at higher concentrations of radioactivity and hazardous substances, armored mechanised units and aviation can also provide assistance;
- Radiological and chemical decontamination – RBC service decontamination units are primarily engaged, and, if necessary, engineering units, river flotilla and logistics services can be included;
- Evacuation of civilians – in accordance with the situation, all SA transport capacity can be engaged: transportation service units, aviation transport units, river flotilla, etc.

Conclusion

For an optimum response to the occurrence of nuclear or chemical accidents and in accordance with prescribed procedures, there is a need for trained and equipped forces of the State, which would be engaged in eliminating NC accident consequences. Successful and coordinated work on eliminating the consequences

*involves continuous training of units to operate in these conditions. This problem can be solved by the implementation of joint exercises of all forces involved in the integrated response to accidents ( businesses, local authorities, medical teams, the forces of the Ministry of Interior and the Ministry of Defence, etc.). Units and institutions of the Serbian Armed Forces can take an active part in the elimination of the consequences of NC accidents only if they are fully trained and equipped for the implementation of assigned tasks.*

*Keywords: units; eliminate; nuclear; chemical; accidents.*

---

Датум пријема чланка / Paper received on / Дата получения работы: 10. 10. 2014.  
Датум достављања исправки рукописа / Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы: 27. 10. 2014.  
Датум коначног прихватања чланка за објављивање / Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы: 29. 10. 2014.



САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА  
 MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT  
 СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### Severnokorejski brod lansira novu raketu zemlja-zemlja<sup>1</sup>

Severnokorejski državni list *Rodong Simmum* objavio je slike novog tipa rakete zemlja-zemlja lansirane sa broda koji pripada ratnoj mornarici Severne Koreje.

Na slikama se nalazi i lider Severne Koreje Kim Džong Un koji je prisustvovao testu. U novinskom članku je navedeno da je probno gađanje „naučno” potvrdilo da su novi brod i raketa dokazali projektne i inženjerske specifikacije.



U članku se kaže da će raketa biti uvrštena u naoružanje drugih brodova, a da će doći i do promene taktičkih postavki upotrebe mornarice.

Nova raketa vrlo liči na rusku raketu Kh-35 3M24 *Uran* (Nato oznaka SS-N-25 „*Switch-blade*” iako se vidi manja izmena – cevni dodatak delu rakete na kojoj se nalazi buster na čvrsto gorivo. Postojanje severnokorejske varijante rakete Kh-35 prvi put je zapaženo u junu 2014. godine, kada se na kraju jednog video-snimka korejske vojske moglo videti ispaljivanje rakete sa manje pomorske platforme.

Što se tiče samog broda sa kojeg je lansirana raketa, on je dužine oko 37 metara i širine nekih 14 metara. Na jedinom jarbolu nalaze se dva radara – navigacioni i osmatrački. Pretpostavlja se da jedan od ovih radara verovatno radi i u režimu zahvatanja cilja.

<sup>1</sup> Jane's Defence Weekly 18 February 2015.

Nova raketa označava veliki napredak severnokorejske mornarice u tehnološkom smislu i imaće veliki značaj u pogledu unapređivanja obalne odbrane, kao i u okviru mornaričkih patrola.

Prema nekim izvorima, severnokorejske fregate klase *Najin* biće opremljene novom raketom. Inače samo plovilo sa koga je lansirana raketa je verovatno istog tipa kao i plovila koja su prvobitno označena kao hoverkrafti da bi se naknadnom analizom utvrdilo da se radi katamaranima odnosno trimaranima.

Ostaje da se vidi da li će novi raketni brod ući u serijsku proizvodnju kao moguća zamena za severnokorejske raketne čamce klase *Osa* koji su opremljeni potpuno zastarelim raketama P-15 i P-20.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

### *Indija lansira raketu Agni 5<sup>2</sup>*

Indija je 31. januara ove godine uspešno testirala raketu *Agni 5* srednjeg dometa, domaće proizvodnje, sa mobilnog lansera.



Balistička raketa srednjeg dometa duga je 17 metara, ima tri stepena a lansira se iz hermetički zatvorenog modula-kanistera koji je montiran na kamion *Tata*.

*Agni 5* nosi nuklearnu glavu do 1,5 tone i spada u nuklearni arsenal koji se može lansirati iz vazduha, sa mora i sa mobilnih platformi. Kanister omogućava lansiranje u kratkom vremenu potrebnom za pripremu koji je mnogo vremenski kraći u odnosu na način otvorenog lansiranja. U prednosti spadaju i veća pouzdanost, smanjena potreba za održavanjem i poboljšana pokretljivost.

<sup>2</sup> Jane's Defence Weekly 11 February 2015.

Raketa od 50 tona popela se na visinu od 600 km pre nego što je isporučila svoj tovar na cilj u južnom delu Indijskog okeana, oko 20 minuta kasnije.

To je bila treća uspešna proba, a indijski zvaničnici procenjuju da je potrebno još nekoliko lansiranja da bi raketa postala operativna.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

### Pakistan testira raketu *Ra'ad*

Pakistan je uspešno testirao krstareću raketu *Ra'ad* domaće proizvodnje. Raketa duga 4,85 metara lansirana je sa vazdušne platforme, što je predstavljalo peti uspešni test. Sva dosadašnja lansiranja izvedena su sa modernizovanog aviona *Mirage III ROSE*.



Raketa sa dometom do 350 km omogućava Pakistanu da ostvari „stratešku ravnotežu” na kopnu i na moru. Testiranje je obavljeno dva dana nakon što je Indija testirala svoju novu raketu *Agni 5* dometa do 5.000 km.

Krstareća raketa *Ra'ad* (takođe poznata i kao *Hatf 8* ili *Hatf VII*) spada u program strateških raketa koje uključuju balističke rakete kratkog i srednjeg dometa kao i krstareće rakete lansirane sa kopna.

Raketa *Ra'ad* liči na neke projekte Južne Afrike kao što su *MUPSOW* i *Torgos* na kojima su Pakistan i Južna Afrika zajedno radili.

Kompanija „Kentron”, sada „Denel”, već je isporučila ratnom vazduhoplovstvu Pakistana svoju planirajuću avio bombu *Raptor* tako da je ovakva saradnja mogla rezultirati i razvojem krstareće rakete.

Prvi test rakete *Ra'ad* obavljen je tokom 2007. godine. Prikazan je let rakete koja se odvojila od aviona *Mirage III ROSE 1*, zatim otpuštanje rakete i pokretanje motora kao i sam let. Drugo lansiranje rakete obavljeno je tokom maja 2008. godine, treće u aprilu 2011. godine, četvrto tokom maja 2012. godine, dok je peto lansiranje izvršeno samo dva dana nakon što je Indija lansirala *Agni 5*.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

Nova iranska krstareća raketa *Soumar* pokreće pitanja u vezi dometa<sup>3</sup>

U martu ove godine prikazana je iranska krstareća raketa *Soumar*, ali je tada izostavljen podatak o njenom dometu.



Ubrzo se pojavila informacija o dometu od 2.500 km s obzirom na to da raketa u potpunosti liči na sovjetsku krstareću raketu Kh-55. U prilog tome, ukrajinski zvaničnici su tokom 2005. godine priznali da je 2001. godine 12 raketa Kh-55 ilegalno prodato Iranu.

Iran je morao posedovati motor sličnih performansi kao što je turbo-ventilatorski R95-300 koji se nalazi na originalnoj raketi Kh-55 da bi postigao radijus dejstva od 2.500 km. Međutim, nerealno je očekivati da je ova zemlja sposobna za proizvodnju takvog motora.

Iran se dosada maksimalno trudio da održi operativnom svoju flotu aviona i helikoptera s obzirom na postojeće sankcije kojima je zabranjena prodaja delova za avione i u tom smislu je pokušavao da uveri ostatak sveta da proizvodi nove, lokalne verzije američkih letelica.

<sup>3</sup> Jane's Defence Weekly 25 March 2015.

Međutim, mnogo je teže proizvesti mali turbo-ventilatorski motor za krstareću raketu nego mlazni motor standardne veličine sa obzirom na manje komponente, veći pritisak i mnogo više radne temperature. Danas postoji samo pet poznatih proizvođača koji prave male turbo-ventilatorske motore koji se mogu upotrebljavati na krstarećim raketama a to su: Williams International u SAD (F107 i F112), Pratt&Whitney u Kanadi (PW600), AMNTK Soyuz (R95-300) i NPO Saturn (36MT) u Rusiji kao i Motor Sich u Ukrajini sa motorom (MS 400). Što se tiče Kine, nije jasno da li njihove krstareće rakete koriste domaće motore ili su oni uvezeni iz Rusije ili Ukrajine.

Može se desiti da je Iran dobio određen broj malih turbo-ventilatorskih motora ilegalnim kanalima ili je jednostavno prikazao kupljene ukrajinske rakete kao svoj novi proizvod.

Postoji i alternativno objašnjenje a to je da su iranci opremili *Soumar* daleko jednostavnijim i jeftinijim turbodžet motorom.

Iran je tvrdio da je proizvodio turbodžet motore *Tolou-4* još od 1999. godine. Ti motori su u stvari kopije motora TRI 60-2 francuske kompanije Microturbo, a pretpostavlja se da će oni pokretati nove iranske protivbrodske rakete velikog dometa uključujući *Noor* i *Ghadir* što su samo verzije kineske rakete C-802. Iako kinesko učešće u iranskom programu protivbrodskih raketa podiže sumnju da se *Tolou-4* u stvari pravi u Kini, iranska televizija je prikazala video materijal na kome je prikazan proces sklapanja motora u Iranu.

Tokom sajma naoružanja u iranskom gradu Kišu, tokom 2005. godine, Iran je objavio da su u toku radovi na razvoju motora *Tolou-5* koji će proizvoditi 4,4 kN potiska i biti dugovečniji od svog prethodnika. Od tada više nije bilo informacija o pomenutom motoru.

Iako bi motor sa 4 kN potiska mogao biti adekvatan za krstareću raketu veličine *Soumar*-a, turbodžet motori su generalno manje efikasni od turbo-ventilatorskih. U tom smislu *Soumar* bi morao nositi mnogo više goriva a zatim morao imati mnogo manju bojevu glavu ili upotrebljavati veće aerodinamičke površine od sovjetskog Kh-55 da bi postigao istu daljnu od 2.500 km.

Kako je raspon krila iranske rakete sličan onome sa Kh-55 (3,1 m) i sa pretpostavkom da Iranci nisu znatnije umanjili bojevu glavu može se pretpostaviti da je domet rakete *Soumar* znatno manji od 2.500 km. Čak i da je tako, to ne predstavlja problem Irancima s obzirom na to da i tako mogu gađati Izrael i većinu američkih baza u regionu.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

#### Kina započinje rad na prvom domaćem nosaču aviona<sup>4</sup>

Mornarica narodnooslobodilačke armije započela je izgradnju prvog domaćeg nosača aviona. Kineski zvaničnici najavljuju da će drugi kineski nosač aviona biti znatno moderniji od nekašnjeg sovjetskog nosača *Varyag*.

Maketa prvog kineskog domaćeg nosača aviona pojavila se krajem 2014. godine.

Kineski zvaničnici su takođe najavili da će Kina graditi šest nosača ukoliko za to budu postojale mogućnosti.

<sup>4</sup> Jane's Defence Weekly 18 March 2015.



Zvaničnici kineske ratne mornarice takođe su izvestili o uspešnom razvoju elektro-magnetnog katapulta koji će po svemu biti jednak američkom.

Do sada je Kina bila veoma uzdržana po pitanju obelodanjivanja svojih planova razvoja nosača aviona. Čak je informacija, koja se pojavila na sajtu kompanije koja je dobila ugovor za izgradnju nosača, bila odmah povučena nakon što je kratko vreme bila u opticaju.

Dva radnika koji su imali pristup bazama u Dalijanu dobila su zatvorske kazne od šest i osam godina jer su prosledili fotografije kineskog prvog nosača aviona *Liaoning* „stranim špijunima”. Takođe je rečeno da je izgrađen zid visine 20 m oko brodogradilišta u gradu Dalian kako bi se sprečilo neovlašćeno fotografisanje.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

#### Domaći ponuđač nudi borbena vozila pešadije Enigma Ujedinjenim Arapskim Emiratima<sup>5</sup>

Novo borbena vozila pešadije *Enigma* postaje učesnik u nadmetanju programa BVP 8X8 za potrebe UAE.

Novo vozilo prikazano je na sajmu naoružanja IDEX 2015 u Abu Dabiju. Proizvođač je kompanija Emirates Defense Technology (EDT) koja je projektovala vozilo isključivo za potrebe vojske UAE.

Prikazano vozilo opremljeno je kupolom sa ruskog BMP-3 vozila koje je u sastavu vojske UAE.

Sledećeg leta počinju intenzivni testovi koji će biti fokusirani na funkcionisanje vozila na velikim vrućinama i na pokretljivost u pustinji.

Vozilo pokreće dizel motor *Caterpillar* C13 koji razvija 711 KS. *Enigma* će težiti 28 tona. Upotrebljavaće amortizacioni sistem Timoney Technology koji omogućava visok stepen terenske pokretljivosti, a projektovan je tako da omogućiti laku zamenu u slučaju oštećenja prouzrokovanim minama ili improvizovanim eksplozivnim napravama.

<sup>5</sup> Jane's Defence Weekly 4 March 2015.



Trup je formiran u obliku slova V, od zavarenog oklopa i može biti opremljen oklopom applique radi višeg nivoa zaštite.

Iako je vozilo opremljeno kupolom od BMP-3, kompanija kaže da modularni dizajn vozila omogućava montiranje raznih oružanih sistema. Jedno od prikazanih vozila *Enigma* na sajmu naoružanja IDEX 2015 bilo je opremljeno lakom haubicom 155 mm M 777.

Druge opcije podrazumevaju opremanje kupolom za protivvazдушnu borbu Rheinmetall sa topom *Skymaster* 35 mm ili daljinski upravljanim topom 37 mm AU220M kompanije UralVagonZavod.

Kao BVP *Enigma* će prevoziti osam vojnika, kao i posadu od tri člana, a poseduje sve sposobnosti amfibije.

Pojava *Enigme* na sajmu naoružanja IDEX 2015 potpuno je demoralizirala konkurente, kao što su kompanija „Patria” koja je prikazala svoje vozilo AMV 8X8 opremljeno kupolom sa BVP BMP-3 i kompaniju „Nexter” sa svojim vozilom VBCI. Činjenica da je *Enigmu* otkrio lično šejk Mohamed Bin Zajed al Nahjan, krunisani princ Abu Dabija i zamenik vrhovnog komandanta vojske UAE potvrdila je visok nivo političke podrške ovom vozilu.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

### *Kompanija „Norinco” otkriva artiljerijsko-raketni sistem VBR AR-3<sup>6</sup>*

Kineski artiljerijsko-raketni sistem VBR AR-3 dominirao je na kineskom štandu na sajmu naoružanja IDEX 2015. održanom u Abu Dabiju.

Sistem je zamišljen kao potencijalna alternativa američkom artiljerijsko-raketnom sistemu (ARS) HIMARS (High Mobility Artillery Rocket System – artilje-

<sup>6</sup> Jane's Defence Weekly 4 March 2015.

rijsko-raketni sistem visoke pokretljivosti), a kompanija „Norinco“ je vrlo optimistična u pogledu prodaje tog oruđa zemljama Srednjeg istoka.



Osnovna razlika između novog sistema i AR-2 koji je već u operativnoj upotrebi kineske vojske je u tome što može ispaljivati veće rakete od 370 mm, ali i one od 300 mm koje su u upotrebi starijeg sistema.

Lanser AR-3 nosi dva kontejnera sa raketama od kojih svaki sadrži četiri rakete 370 mm ili pet od 300 mm. Za razliku od njega, stariji sistem AR-2 lansira 12 raketa 300 mm od kojih se svaka pojedinačno puni.

Kompanija „Norinco“ takođe je prikazala i svoju novu seriju navođene municije *Fire Dragon* namenjenu svojim VBR od kojih je *Fire Dragon 140* vođena verzija rakete 300 mm, *Fire Dragon 280* za verziju rakete 370 mm. Obe rakete koriste INS i GPS vođenje, a dometi su im od 140 km do 280 km, što je nešto više od dometa obične navođene rakete na istom lanseru.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

### *Mentalitet tvrđave – raketna obalna odbrana<sup>7</sup>*

Kada je američki razarač klase *Arleigh Burke* USS *Truxtun* (DDG 103) uplovio u Crno more tokom marta 2014, nešto više od nedelju dana pošto su ruske snage počele sa pokretima na Krimu, stigli su izveštaji da su Rusi pomerili raketni sistem obalne odbrane K-300P Bastion –P (SSC-5 „*Stooge*“) iz grada Anapa u Krasnodaru na novu lokaciju blizu Sevastopolju.

<sup>7</sup> Jane's International Defence Review April 2015.





Lansirno vozilo sistema K-300P Bastion-P sa raketama spremnim za lansiranje

Ovaj jednostavan potez pokazao je kako je sama prisutnost opasnog sistema dovoljna da neprijatelja vrati na bezbednu daljinu. Za vreme ruske vojne parade, održane 9. maja 2014. godine u Sevastopolju, prikazana su dva raketna sistema obalne odbrane K-300 -P sa pripadajućim radarima *Monolit-B*.

Iako su ovi sistemi zanemareni na Zapadu, raketna obalna odbrana postala je element koji se može zanemariti za vreme bilo koje vojne krize, kao što se nesumnjivo može videti iz prethodnih vojnih sukoba.

Kao i slučaju Krima, samo postojanje sirijskog sistema *Bastion* bilo je dovoljno da se brodovi drže podalje od njihovog dometa.

Jedan od skorijih primera upotrebe raketne obalne odbrane bilo je i pogađanje izraelske korvete INS *Hanit*, klase *Sa,ar* raketom, ispaljenom sa obale Bejruta tokom jula 2006. godine.

Specijalizovane varijante protivbrodskih varijanti balističkih raketa pojavljuju se kao vid pretnji na mnogo većim daljinama u odnosu na obične protivbrodske rakete. Za vreme iranskih manevara „Veliki prorok 9” održanih tokom februara 2015. godine, korpus iranske islamske revolucionarne garde lansirao je dve krstareće rakete i dve balističke rakete na veliku maketu koja je predstavljala američki nosač aviona na moru.

Postoji nekoliko sistema raketne obalske odbrane koji upotrebljavaju posebne protivbrodske rakete sa novim lanserima i kontrolnim sistemima.



*Dve varijante rakete CSS-5/DF-21 na lansirnim oruđima. Raketa na desnoj strani trebalo bi da je DF-21C, dok je raketa na levoj strani verovatno „nova” verzija pod nazivom DF-21D*

Ovaj trend prikazan je tokom sajma naoružanja 2014. u Kataru, gde je prikazan novi sistem obalne odbrane *Marte*. On se sastoji od zaštićenog komandnog i kontrolnog modula koji može biti povezan putem data linka nadređenim sistemom za nadzor, lansera sa četiri rakete na kamionu, logističkog vozila kao i sa nekoliko vozila za dopunu raketa.

Ponuđene su dve rakete: postojeća *Marte* Mk2/N za kontrolu voda i nova raketa sa usisnicima vazduha za kontrolu veće površine. *Marte* ER pokreće mali turbo džet motor i upotrebljava radar ili IC tragač za navođenje u završnoj fazi sa data linkom koji omogućuje navođenje na velikim daljinama i ponovno određivanje cilja u letu. Pretpostavlja se da raketa ima domet do 120 km.



*BrahMos krstareća raketa na lansirnom vozilu TATA*

Nedavno je na sajmu naoružanja IDEX 2015, kompanija MBDA objavila da će u saradnji sa kompanijama GEM Elettronica iz Italije i Siham Al Khaleej Technology predstaviti novi sistem zasnovan na raketi *Marte* koji će obuhvatiti sistem CBRS 100-MD daljinski upravljane obalne baterije.

#### Izazov

Rakete obalske odbrane predstavljaju stratešku pretnju, naročito ako se upotrebljavaju u oblastima koje predstavljaju „zagušene tačke” za pomorski saobraćaj, kao što je Golf i različiti tesnaci u jugoistočnoj Aziji.

Iranske obalne granice protežu se 2.400 km duž Golfa i 740 km oko Kaspijskog mora. Iranski sistemi obalske odbrane obično se sastoje od određenog broja raketnih baza, od kojih je svakoj dodeljen određen region obalskih voda. Ove baze opremljene su različitim raketnim sistemima opremljenim kineskim raketama CSS-N-2 *Silkworm*, dometa do 60 milja i raketama CS-802 *Saccade*.

Dok Iran tvrdi da ove raketne jedinice u potpunosti kontrolišu obalne vode i mogu zatvoriti Hormuški tesnac, u praksi to baš i nije tako. Godine 2010. članak objavljen u listu *Journal of American science*, procenjuje da je potrebno više od 10 raketnih baza za kontrolu celokupnog iranskog obalnog pojasa, ali izražava sumnju u efikasnost iranske obalne raketne odbrane.

U članku se navodi da je nakon iransko/iračkog rata vođenog osamdesetih godina, kada je sledila posleratna rekonstrukcija, došlo do drastičnog umanjavanja vojnih troškova i do potpune degradacije upotrebljenih sistema s obzirom na dostupnost i kvalitet upotrebljenih rezervnih delova.

Kineska vojna doktrina vidi upotrebu raketne obalske odbrane kao sredstvo za prinuđavanje neprijateljskih brodova da plove na većoj udaljenosti od kineskih obala i onemogućavanje neprijateljskih patrolnih operacija.

Svi kineski krstareći raketni sistemi obalne odbrane, bilo da se upotrebljavaju sa fiksnih lansiranih položaja ili sa mobilnih platformi, spadaju u nadležnost mornarice Kineske narodne armije. Najpoznatiji tipovi su YJ-62/C-602 i HY-4/C-201-CSS-7 „*Sadsack*” koji su zamenili starije rakete HY-1 i HY-2 u raketnoj obalnoj odbrani.

Kineski izvori prikazali su slike protivbrodske rakete sa ramdžet motorom koja je vrlo slična ruskoj KH-3 (AS-17 „*Krypton*”). Raketa je dugačka oko 7 m i teži 2.000 – 2.500 kg. Kineska oznaka je Ying Ji-12 (*Eagle Strike 12*). Pretpostavlja se da je raketa prvenstveno namenjena kao brodsko naoružanje, ali je moguće razviti verziju i za obalnu odbranu.

U toku je razvoj još jedne kineske rakete, a reč je o YF-18 za koju se pretpostavlja da će biti vertikalno lansirana sa pogonom u obliku ramdžet motora, a u ovom slučaju verovatno je da se radi o tehnologiji preuzetoj sa ruske rakete *Raduga Kh-41 Moskit* (SS-N-22 „*Sunburn*”). Očekuje se da će ova raketa biti deo brodskih ofanzivnih sistema, ali je moguće razviti i verziju lansiranu sa kopna.

Postoje mnoge indicije, koje još nisu potvrđene, da je razvijena verzija kineske krstareće rakete DH-10 koja će biti lansirana sa kopna kao deo obalne odbrane. Pretpostavlja se da će ovoj raketi glavna meta biti nosači aviona. U kopnenoj verziji, raketa DH-10 prvi put je upotrebljena tokom 2008. godine, dok je verzija CJ-10 sa lansiranjem iz vazduha, prvi put isprobana tokom 2010. godine.

Tokom decembra 2008. godine, Poljska je postala prvi izvozni klijent za raketu *Kongsberg Naval Strike Missile* – (NSM) sa narudžbinom od 127 miliona

dolara za kompletni bataljon obalske odbrane opremljen sa šest lansiranih vozila od kojih svako nosi po četiri rakete. Prvi ugovor uključivao je samo 12 ovih podzvučnih raketa, ali je kasniji aneks ugovora pokrio kupovinu dodatnih 38 raketa.

Očekuje se da će ove godine prvi bataljon ući u operativnu upotrebu. S obzirom na krizu u Ukrajini, Poljska je u aprilu 2014. godine objavila svoje planove za kupovinu opreme neophodne za formiranje drugog bataljona obalne raketne odbrane.

Poljska nije jedina zemlja koja je otkrila čari podzvučne rakete. Azerbejdžan je takođe iskazao interesovanje za kupovinu obalnog raketnog sistema 3K60 BAL-E (SSC-6 „*Sennight*”) koji je zasnovan na raketi Kh-35 Uran (SS-N-25 „*Switchblade*”).

Jedna baterija sistema BAL-E sastoji se od četiri lansirna vozila od kojih je svako opremljeno sa osam raketa Kh-35 u zatvorenim kontejnerima, dva kontrolna i komandna vozila i vozila za testiranje i održavanje. Sistem se može prebaciti na novu poziciju za 10 minuta, a od momenta kada je ispaljena salva, ponovno punjenje lansera vrši se u roku od 30 do 40 minuta.

Tokom 2012. godine Venecuela je iskazala nameru da formira jednu raketnu obalnu bateriju koja bi se sastojala od sistema BAL-E, ali se ne zna da li je to ostvareno.

#### *Rakete velikih brzina*

Sistem K-300P prvi put je viđen tokom 2007. godine. Zasnovan je na pret-hodnom sistemu Bastion (SSC-5) koji je upotrebljavao supersoničnu raketu 3M55 *Oniks*. Raketa *Oniks* je prvobitno razvijena kao brodska raketa. Eksportna verzija te rakete poznata je pod nazivom *Yakhont*.

U ulozi obalne odbrane, raketu *Oniks* prevozi lanser, modifikovani MAZ 543 opremljen sa tri rakete u kontejnerima. Nova verzija *Bastion-P* nalazi se na lanseru, vozilu K340 opremljenom sa dve rakete u kontejnerima, dok je *Bastion-S* varijanta s fiksnim, zaštićenim kontejnerima.

*Bastion-S* i *Bastion-P* nalaze se u naoružanju ruske mornarice od 2010. godine, dok je Vijetnam postao prvi izvozni klijent 2009. godine (tri godine nakon započinjanja pregovora). Pretpostavlja se da Vijetnam poseduje osam sistema *Bastion-P*, a tokom 2011. godine započeti su pregovori u kupovini dodatnih sistema. Sirija je kupila *Bastion-P* tokom 2007. godine, a prvi od naručenih 38 lansiranih vozila isporučen je 2011. godine.

Raketa *Oniks* poslužila je kao oslonac programu koje su Rusija i Indija započele 1998. godine radi razvoja rakete kraćeg dometa od rakete *BrahMos*. Rakete iz tog programa mogu biti lansirane sa brodova ili sa kopna, ali i sa podmornica.

Nema zvaničnih saopštenja o tome da li je moguće koristiti kopnenu verziju rakete zemlja-zemlja u sistemima obalske zaštite, ali je na osnovu podataka indijske vojske, raketa *BrahMos* uspešno testirana tokom 2012. godine kao raketa namenjena uništenju nosača aviona. Raketa ima maksimalni domet do 290 km i pred kraj leta ulazi u vertikalni dubinski manevar supersoničnom brzinom.

Tokom 2013. godine indijska mornarica je objavila da ima potrebe za 15 mobilnih obalnih baterija koje će biti razmeštene na različitim lokacijama duž obale radi zamene postojećih raketa iz sovjetske ere, 4K51 „*Rubezh*” (SS- C-3), kao i raketa sa tečnim raketnim gorivom P-15 „*Termit*”.

Potrebe podrazumevaju sistem sa mobilnim lanserima, mobilno komandno mesto i vozilo za popunjavanje raketa.

Slične potrebe postoje i za novim protivbrodskim sistemom srednjeg dometa a indijska mornarica ima nameru da koristi istu raketu u obe svrhe. Parametri kao što su daljina od 150 km i dalje kao i bojeva glava preko 150 kg su određeni, ali još nije jasno da li se zahtevi u odnosu na raketu odnose na supersonične ili podzvučne brzine.

#### *Balističke rakete*

Balističke rakete koje se lansiraju sa kopna obično se tretiraju kao strateško oružje, ali se sada postavlja pitanje njihove upotrebe i kao protivbrodske rakete u ulozi obalne odbrane.

S obzirom na to da se domet mnogih sistema obalne odbrane proteže van granica horizonta, njihova efikasna upotreba zahteva da operator ima dobar pregled situacije u vezi s pokretom neprijatelja u relativno udaljenim vodama. Uzimajući u obzir senzore velikog dometa, kao što su avioni, bespilotne letelice, površinski brodovi ili podmornice, komandno-kontrolni sistem baziran na kopnu može napraviti integralnu taktičku sliku i odrediti koji se brod, koji se nalazi na granici operativnog radijusa sistema, može smatrati neprijateljskim a koji neutralnim. Zatim se određivanje ciljeva prenosi na individualne baterije.

Kineski DF-21D (CSS-5 Mod 4 ) prva je raketa tog tipa. Prva zvanična potvrda njenog postojanja je došla u junu 2011. godine, kada je general Chen Bingde, načelnik Generalštaba Narodne armije Kine rekao da je oružje „u fazi eksperimentalnog testiranja”.

Snabdevena podacima iz različitih senzora u svemiru, vazduhu, kopnu i na moru, DF-21D ima maksimalni radijus od 1.550 do 2.000 km. Broj od 2.700 km koja se pominje u Kini nije moguće proveriti.

Za vreme silazne faze bojeva glava DF-21D izvodi manevre radi usporavanja sa pretpostavljene brzine od sedam do deset maha, zatim upotrebljava neki oblik senzora u cilju lociranja i napada na velike brodove. Neki izveštaji sugerišu da se finalno vođenje radi kombinacijom radara i optičkih senzora dok drugi navode da se radi o pasivnom infracrvenom tragaču.

Pretpostavlja se da bojeva glava može nositi i nuklearno, visokoeksplozivno, elektromagnetno pulsno kao i podmuniciono oružje ali se uzima da bi u nenuklearnom sukobu najefikasnija bila upotreba kasetne municije koja bi mogla ozbiljno oštetiti površinsko plovilo.

Prema podacima američkog ministarstva odbrane tokom godišnjeg izveštaja kongresu, 2014 godine, izneti su podaci da je iranska protivbrodska balistička raketa *Khalij Fars*, raketa izvedena od taktičke rakete zemlja-zemlja *Fateh-110* isporučena operativnim jedinicama iranske vojske.

Ova raketa prvi put je snimljena tokom 2011. godine i pretpostavlja se da ima isti radijus dejstva od 300 km i istu bojevu glavu od 650 kg eksploziva kao i *Fateh-110* ali za razliku od nje ima elektro-optički senzor u nosu rakete koji navodi raketu na cilj u završnoj fazi leta. Osam raketa *Khalij Fars* prikazano je tokom ceremonije isporuke koja je održana tokom marta 2014. godine, ali još nije potpuno izvesno da li je raketa operativna.

Sa druge strane, bez adekvatne informacije dobijene od sistema obalne odbrane takav projektil je potpuno neupotrebljiv, što se videlo kada su, tokom 2006. godine, nakon napada na izraelsku korvetu INS *Hanit*, izraelska avijacija i

mornarica sistematski uništili sve radarske stanice na obali Libana. Iako je Hizbolah tvrdio da je napao i potopio još dve izraelske korvete, nije prijavljeno nijedno naknadno lansiranje raketa. Ili je Hizbolah istrošio svoje ograničene količine protivbrodskih raketa, ili je uništavanje lanca radarskih stanica onemogućilo slanje informacija neophodnih za sledeća lansiranja raketa.

Balistička raketa koja bi bila lansirana na metu visoke vrednosti bila bi naci-ljana na pretpostavljenu poziciju broda, ali bi brod mogao da se pomeri daleko od te pozicije dok se raketa još nalazi u balističkoj fazi leta. Balističkom projektilu dometa od 1.500 do 2.000 km trebalo bi 10–13 minuta leta, dok bi običnoj raketi dometa do 300 km trebalo najviše pet minuta. Ukoliko bi cilj bio upozoren na lansiranje rakete, brzo površinsko plovilo, kao što je na primer nosač aviona, mogao bi promeniti kurs i skrenuti za 6 do 8 km od pretpostavljene tačke udara, odnosno do 3 km ako bi bio gađan oružjem manjeg dometa.

Za vreme silazne faze raketa bi morala identifikovati i zahvatiti cilj, zatim napraviti korekciju finalnog kursa u zadnjih 20–30 sekundi leta. Raketa bi zatim bila suočena sa protivmerama kao što su aktivni ometači, mamci ili radarski dipolni materijal koji bi bili upotrebljeni za zbunjivanje radarski ili IC vođene rakete.

Bilo koja raketna pretnja protiv brodova NATO-a ili međunarodnih teretnih brodova najverovatnije bi bila kontrirana upotrebom ratnih brodova naoružanih presretačima balističkih raketa Standard Missile -3 (SM-3) i novim SM-6, tako da takva vrsta pretnje ne bi prošla nekažnjeno.

U slučaju napada raketama dometa do 300 km bilo bi moguće preopteretiti odbranu broda tako što bi se, osim protivbrodskih raketa, upotrebila i salva balističkih projektila klase „Scud” koji ne bi imali finalno vođenje. U praksi, takva skupa taktika isplatila bi se samo ukoliko bi napadač bio potpuno siguran da napada metu visoke vrednosti kao što je nosač aviona ali čak i tada bi bilo pod znakom pitanja da li bi takav napad bio uspešan s obzirom na postojeće sisteme i pojaseve zaštite koji bi bili dodeljeni meti kao što je nosač aviona.

*Dragan M. Vučković, e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs*

### *Nova generacija bestrzajnih ručnih raketnih sistema i pešadijskih vođenih raketa<sup>8</sup>*

Različite pretnje modernog bojišta u kojem se kopnene snage bore u kompleksnom ili urbanom borbenom okruženju zahteva od modernih pešadijskih jedinica sposobnost za dodatne manevre, ali i samodovoljnost što se tiče vatrene podrške.

U ovakvom okruženju, gde je vatrena podrška u vidu teške artiljerije nemoguća iz logističkih ili nekih drugih razloga, upotrebna vrednost prenosnih raketnih jurišnih oruđa, koji mogu uticati na taktičku prednost, dolazi i te kako do izražaja.

Dok su oružni bestrzajni sistemi koji se lansiraju sa ramena prvenstveno namenjeni u protivoklopnoj borbi, nova kompleksna borbeno okruženja zahtevaju nove sisteme koji su manje kabasti, pogodni za pešadiju i poseduju široku lepezu upotrebe. To se nameće kao logičan odgovor s obzirom na analizu dosadašnje operativne prakse upotrebe teških oruđa u borbi protiv lako naoružanih ciljeva.

<sup>8</sup> Jane's International Defence Review March 2015.

Iako protivoklopna borba ostaje na prvom mestu, sadašnji trend transformiše prenosne sisteme ka uvođenju novih modularnih solucija koje bi bile pogodnije za upotrebu, vodi ka smanjenju težine, kraćem dometu i povećanju broja punjenja po operatoru. Zahtevi modernog bojišta sada vode proizvođače ka razvoju višenamenskih bojnih glave pomoću kojih je moguće odgovoriti na različite pretnje, ka povećanoj vatrenoj moći ali i većoj preciznosti radi izbegavanja kolateralne štete u kompleksnim borbenim situacijama. Moderno bojište takođe zahteva mogućnost ispaljivanja raketa iz zatvorenog prostora, borbu sa ciljevima na kratkim razdaljinama, ali i sa bezbedne udaljenosti, mogućnost umrežavanja sistema, što bi omogućilo upotrebu rakete od strane nadređenih komandno-kontrolnih struktura, međuoperativnost i, na kraju ali ne i manje važno, nižu cenu upotrebe. Ovo pitanje može biti rešavano na dva načina. Sa jedne strane, teži se ka omogućavanju dejstvovanja sa većih razdaljina, što povećava stepen preživljavanja poslužilaca, a sa druge strane ka mogućnošću preciznog napada na neprijatelja u kompleksnom okruženju na vrlo kratkim razdaljinama gde se ciljevi nalaze na otvorenom, u bunkerima, kada se pojavljuju u kratkim vremenskim intervalima pa je u tom slučaju potrebna brza reakcija. U tom smislu potrebno je razviti tehnologiju sistema koji bi bio u mogućnosti da pokrije obe potrebe.

Proizvođači sistema i raketa odgovorili su ovim zahtevima tako što su ponudili modernizacije postojećih sistema, uveli novu ili pametniju municiju, usredsredili se na pojednostavljenje podsistema i modularnu arhitekturu i modernizovali, odnosno poboljšali prenosne raketne sisteme i to u oba smera, od nevođenih sistema malog dometa do sistema vođenih protivtenkovskih raketa velikog dometa.

#### *Dinamika razvoja bestrajnih ručnih raketnih sistema*

Tokom septembra 2014. godine, kompanija „Saab” Dynamics Ground Combat Systems (DGCS) predstavila je novu laku, „inteligentnu” verziju ručnog raketnog bacača 84 mm serije *Carl Gustaf* – M 4 koji se trenutno nalazi u zadnjoj fazi razvoja. Raketni bacač M 4 biće znatno lakši od svojih prethodnika. Sa 6,7 kg, M4 je 30% lakši od modela M 3 i upola lakši od ranijeg modela M2 čija je masa 14,2 kg. Umanjenje težine od skoro 2,8 kg postignuto je upotrebom ugljeničkih vlakana i titanijuma u izradi kućišta.

Smanjenje ukupne dužine bacača M 4 sa 106,5 cm (M3) na manje od 100 cm uticalo je na dodatno umanjenje težine, na bolju ergonomiju samog oruđa i na samu taktičku upotrebljivost. Kompanija „Saab” je takođe omogućila punjenje RRB-a u toku transporta, što je umanjilo vreme potrebno za reakciju i podržalo taktičku relokaciju. Takođe, M 4 poseduje novi integrisani brojač raketa radi lakšeg održavanja.

Raketni bacač M4 zadržao je istu vrstu nišana koji se nalazio na M3, ali je kompanija „Saab” takođe ponudila i nišan sa crvenom tačkom *MIL-Std 1913* koji se montira na Pikatini šini kao alternativu glavnom nišanu. Prednost ovoga je da vojnici mogu nišanići bacačem u mraku sa naočarima za noćno osmatranje bez postavljanja odvojenog kabastog nišana.

Dok je standardni nišan RRB-a isti teleskopski nišan sa ručnim balističkim podešavanjima kao što je na M3, dizajn bacača M4 omogućava korišćenje opcije „inteligentnog” nišana. Ovaj sistem omogućava trenutnu analizu balističkih podataka upotrebljavajući integrisani laserski daljinomer i balistički računar sa mogućno-

šću dodavanja kompenzatornih faktora kao što su temperatura raketnog punjenja i temperatura vazduha. Ovo omogućava korisniku bacača *Carl Gustaf* da programira ili „komunicira” sa budućom pametnom municijom 84 mm preko nišana radi preciznijeg gađanja. Kompanija „Saab” će, za upotrebu u bacaču M4, verovatno odabrati najnoviju nišansku spravu *Aimpoint FCS12*, koju inače koristi švedska vojska u svom bacaču M3. Bacač M4 je do sada, prilikom testiranja, ispalio između 2,000 i 3,000 projektila i očekuje se da ispitivanja budu završena do kraja 2015. godine, što bi omogućilo isporuku klijentima tokom 2016. godine.

Kompanija Saab takođe je dodala dva nova programabilna projektila za bacač M4. Radi se o lakom naprednom protivoklopnom projektilu koji omogućava napad na ciljeve koji se nalaze na većim daljinama i u okviru kompleksnijeg okruženja. Projektil AT4CS ER (Confined Space Extended Range Anti tank- protivtenkovska raketa povećanog dometa sa lansiranjem iz zatvorenog prostora) povećava efektivni domet na 600 m, dok drugi projektil AT4CS HE (Confined Space, High Explosive – raketa sa visoko eksplozivnim punjenjem sa lansiranjem iz zatvorenog prostora) ima mogućnost napada na ciljeve u režimu vazdušnog rasprskavanja ili kontakta/udara na daljinama do 1,000 m. Brzina raketa AT4CS HE i ER je 250 m/s, a modela AST (antistrukturalnog) iznosi 200 m/s.

Kao i u slučaju bacača M4, kompanija „Saab” eksperimentisala je sa razvojem delova od ugljeničnih vlakana radi smanjenja težine sistema. Dijametar lansirne cevi je ostao isti, ali je težina smanjena upotrebom novih kompozita. Kompanija „Saab” otkrila je da smanjenje težine dovodi do veće eksplozivnosti bojeve glave uz povećavanje kontramase što dovodi do povećanja brzine rakete i ostvarivanja većeg efektivnog dometa. Nova varijanta AT4CS teži manje od 9,5 kg, dok inteligentni nišan na to dodaje između 1,5 i 2 kg ukupne težine. Kompanija je, takođe, smanjila dužinu svojih modela AT4CS AST, ER i HE na 98 cm (od prvobitnih 104 cm na modelu AT4CS) radi boljeg dejstvovanja u urbanim uslovima.



AT4CS HE ispaljivanje iz zatvorenog prostora



Varijante RRB-a, ER i HE dolaze opremljene integrisanim nišanom sa crvenom tačkom, zajedno sa modernizovanim bojovim glavama i upaljačima, što povećava cenu komada za 10 do 20%. Obe varijante imaju mehanički i logički interfejs sličan bacaču *Carl Gustaf M4*, sa ponuđenim inteligentnim nišanom koji služi za povećanje performansi i preciznosti programiranih bojovih glava. Kompanije će u početku koristiti nišan *Aimpoint FCS12* kao i na bacaču M4.

Tokom 2015 godine AT4CS biće spreman za isporuku. Klijent za obe verzije biće francuska vojska: bacač AT4CS ER/HE/AST odabran je kao pobjednik programa *NG Roquette* francuske vojske (Nouvelle Generation – nova generacija).

Paralelno s tim, kompanija „Saab” odabrala je novu municiju kao dodatak postojećim raketama kalibra 84 mm, a to je: HEAT 655 CS koja predstavlja prvu pravu raketu koja se može koristiti iz zatvorenog prostora. Iako 655 CS nije programirana municija, ona omogućava taktičku mogućnost za napad na ciljeve do 300 m. Municija je u stanju da probije 500 mm čeličnog oklopa, dok se bojeva glava aktivira na daljinama od 9 do 20 m.

Kompanija „Saab” sada se okreće ka „modularnoj arhitekturi” u budućem razvoju nove generacije programiranih nevođenih raketa 84 mm za M4, od kojih će prva biti razvijena sa varijanti AT4CS HW/ER.

Takođe, kompanija planira upotrebu modularnog sistema 84 mm za proizvodnju novih naprednih vođenih raketa kao što je *Carl Gustaf Ultra Light Missile* – ultralaka raketa (CG ULM). Ovaj koncept predviđa raketu koja će zahvatiti cilj pre lansiranja, a nalazi se u istom lanseru 84 mm, ukupne mase od oko 5 kg. Ova raketa može biti lansirana iz bacača M3 ili M4 upotrebljavajući inteligentni nišanski sistem, verovatno sa opcijom odvojenog displeja za praćenje rakete. Model sa raketom CG ULM imaće domet od 1.500 do 2.000 m, što je praktično dva puta domet sistema *Carl Gustaf* sa postojećom municijom. Tragač na raketi ULM biće razvijen od postojećih proizvoda kompanije „Saab”, uključujući i raketu *IRIS-T* vazduh-vazduh.

Kompanija Dynamit Nobel Defence (DND) iz Nemačke je na sličan način započela razvoj svog bacača 90 mm iz serije bacača *RGW 90* i 60 mm *Panzerfaust*, trudeći se da poveća domet, ubojnost i preciznost. Kompanija se trudi da popuni prazninu koja postoji između ručnih raketnih bacača i vođenih raketa, fokusirajući se na domete između 500 i 1.000 m. U okviru ovih daljina nije ekonomično upotrebljavati vrlo skupe vođene rakete.

Tokom decembra 2014. godine kompanija je započela sa proizvodnjom novog modela *RGW 90* za potrebe nemačke vojske odnosno za potrebe sistema *Future Soldier System* - budućeg vojničkog sistema.

*RGW 90* spada u jednokratne bacače sa programiranom bojevom glavom, uključujući i funkciju vazdušnog rasprskavanja, efikasnu protiv lakooklopljenih vozila pešadije na kopnenim položajima i zaštićenih ciljeva sa preciznošću koja odstupa +/- 3 m na daljinama do 1.200 m. Kompanija DND učestvovala je u konkursu za potrebe francuske vojske. U urbanim operacijama bojeva glava *RGW* može se aktivirati na daljinama od 10 m.



RRB RGW 90 AD

Radi se o novoj municiji sa vazdušnim rasprskavanjem koja se upotrebljava na daljinama do 1.200 m i raketom sa balističkom putanjom koja je u stanju da kompenzira uticaj vetra. U tu svrhu upotrebljava se *DynaHawk*, novi inteligentni nišan koji je razvijen u saradnji sa kompanijom „Airbus Optronics”, a koji je u upotrebi u nemačkoj vojsci. Masa bacača RGW 90 je znato manja od 10 kg, što je težina standardnog bacača RGW 90. Pretpostavlja se da je reč o 8,9 kg, odnosno 11 kg sa nišanskim uređajem, što je slično bacaču *Matador* (protivtenkovskom i protivfortifikacijskom RRB-u) koji je razvila kompanija DND za potrebe singapurske vojske. Dužina novog bacača smanjena je na 99 cm. Radi se na tome da se izradi datalink između uređaja za upravljanje vatrom *Airbus Optronics DynaHawk* i rakete, tako da nišandžija može odabrati odgovarajuću mogućnost za navođenje rakete.

U tom smislu postoje i ograničenja koje nije moguće prevazići, krajnji doomet bacača RGW 90 AD/*Effector* 90 jeste 1.200 m, ali je na toj daljini disperzija +/- 3 m, tako da je neophodno vršiti korekcije tokom leta same rakete.

Radi se na korekciji kursa u smislu poboljšanja balističkog kursa rakete radi omogućavanja preciznog pogotka na daljinama od 1.000 m. Radi se na razvijanju municije koja će biti usmeravana tokom leta a čije će mete biti tenkovi i oklopna vozila. Cilj je omogućavanje korisnika, nemačke vojske, da upotrebi jeftiniji način gađanja ciljeva na daljinama do 1.000 m bez upotrebljavanja skupih vođenih raketa što bi predstavljalo i krajnji cilj upotrebe pešadije.

Nemačka vojska se i dalje trudi da zadrži ubojnost svog standardnog bacača 60 mm *Panzerfaust* 3 tako što traži povećanje njegovog dometa i preciznosti.

Kompanija DND duplirala je domet uvođenjem novog modela poznatog kao *Panzerfaust NG* (new generation – nova generacija). Povećana preciznost ostvarena je upotrebom višekratnog uređaja za upravljanje vatrom *Dynarange*. Bacač NG zadržava modernizovanu tandem bojevu glavu DN 72, ali će sada moći da gađa pokretne ciljeve na daljinama od 600 do 800 m, što je više nego duplo u odnosu na prethodni model.

U međuvremenu, američka kompanija „Nammo Talley” dodala je nove mogućnosti svom RRB-u 66 mm M72 (LAW Light Assault Weapon – lako jurišno oružje). Model M 72 Fire-From-Enclosure (gađanje iz zatvorenog prostora – FFE) omogućava nišandžiji da ispaljuje raketu velikog kalibra sa visoko- eksplozivnom bojevom glavom iz manjih objekata, bez modifikacije u smislu gabarita ili težine oružja dok su zvučni efekti smanjeni za 50% u odnosu na postojeće sisteme. Propulzioni sistem bacača FFE zamenjuje postojeći raketni motor na M72 i upotrebljavajući kontramasu znatno umanjuje povratni udarni talas.

Noću je vidljivost bacača FFE smanjena na nivo manji od vidljivosti puške NATO kalibra 5.56 mm, dok je danju vidljivost po pitanju dima jednaka pušci NATO kalibra 7.62 mm.

RRB M72 FFE uključuje sve osobine novog bacača: lansirna cev od ugljeničnih vlakana smanjene težine sa zatvaračima na obe strane lansirne cevi što omogućava brži zahvat cilja. Dodatna poboljšanja uključuju moderni dvofazni upaljač sa tragačem ciljeva. Kompanija „Nammo Talley” takođe nudi i povoljni IC ili laserski nišan radi omogućavanja pogotka prvom raketom, upotrebu tokom dana i noći.

Očekuje se da će municija RRB-a M72 FEE poboljšati krajnji efekat na cilju, a biće omogućena i upotreba kumulativnih projektila M72A7 i M72E8 IM sa visokoeksplozivnom bojevom glavom.



*Raketni bacač M 72 FEE*

Pored toga, kompanija „Nammo Talley” razvija i model M72 sa programiranim vazдушnim rasprskavanjem sa odstupanjima od plus minus 1 m od cilja na daljinama preko 700 m.

Kompanija MBDA ima nekoliko programa koji su u toku. Jedan je francuski, Missile Moyenne Portee – raketa srednjeg dometa koji je pokrenut kao zamena za raketu MILAN. Kompanija je, tokom 2015. godine, izvršila uspešno testiranje na daljinama van vizuelnog opažanja. Testovi koji su trebali da potvrde ispaljivanje rakete iz zatvorenog prostora sprovedeni su tokom maja 2014. godine, dok su drugi zakazani za 2015. godinu, tako da oružje bude spremno za isporuku francuskoj vojsci tokom 2017. godine. Domet bacača od 4.000 m dvostruko je veći od dometa sistema MILAN.



*Missile de moyenne portee dometa do 6 km*

Kompanija MBDA je, u manjem obimu, radila na razvoju i proizvodnji RRB-a Enforcer (KFK): jednokratni višenamenski bacač od 86 mm. RRB ima kutijastu lansirnu cev, ukupna težina koja podrazumeva lansirnu cev i municiju manja je od 9 kg. Municija podrazumeva višenamensku bojevu glavu (penetracija/eksplozija/rasprskavanje) i nju proizvodi kompanija TDW, a pokreće je dvostepeni motor (izbacivanje iz cevi i marševska faza) koji proizvodi kompanija „Bayern Chemie“ (deo kompanije MBDA).

Očekuje se da lansirna cev bude kvalifikovana za upotrebu municije tokom 2016. godine. RRB Enforcer poseduje elektro-optičku nišansku spravu koja elektronski stabilizuje sliku. To znači da je optika tragača smeštena u raketi, a omogućava da raketa autonomno prati cilj nakon što je lansirana iz cevi.

Optički senzor rakete osposobljen je za otkrivanje talasnih dužina blizu IC spektra i na taj način može otkrivati laserske zrake radi upotrebe tokom noćne borbe. RRB nije trenutno projektovan da koristi data-link, ali će kasnije verzije Enforcer-a imati mogućnost zahvata cilja odmah nakon lansiranja (procesuiranje slike cilja i odgovarajuće osvežavanje podataka).

Maksimalni borbeni domet RRB-a Enforcer sa odvojitivim nišanskim uređajem Airbus Optronics DynaHawk odabranog od strane nemačke vojske je 1.800 m. Međutim ispitivanja na poligonu su ustanovila da je Enforcer postigao domet od 2,9 km a da, prema navodima proizvođača „lako dostiže domete preko 2 km). Minimalni domet je 100 m, iako kompanija MBDA radi na tome da minimalni domet bude smanjen na 50 m. Programirani upaljač može se podesiti na nekoliko načina (rasprskavajuće/udarno/odložno dejstvo), a takođe se navodi da je moguće ispaliti raketu iz prostorije koja ima do 20 kvadratnih metara.

Kompanija MBDA je pozicionirala svoj RRB kao jeftino oružje u klasi oruđa dometa do 2 km koje treba da popuni „prazninu” između RRB-a i vođenih raketa.

Modularna konstrukcija oružja omogućava dalje promene, naročito u oblasti ubojitije bojeve glave, ali se takođe planira i razvoj nove familije oružja zasnovane na bacaču *Enforcer*.

Kada su u pitanju oružja jače ubojne moći, projekat Javelin Joint Venture inicirao je razvojni program u tri faze na osnovu kog će biti razvijene lakše varijante vođenih protivtenkovskih raketa FGM-148 *Javelin* 127 mm, a to je *Javelin G-model* (FGM-148 G).

Prva faza programa biće završena do kraja 2015. godine i ona će se baviti smanjenjem mase oružja i modernizacijom određenih sistema, odnosno prelaskom sa analognog na digitalni sistem koji će omogućiti razvoj ove familije oružja do 2050. godine.

Druga faza programa takođe je planirana za ovu godinu i omogućiće upotrebu višenamenske bojeve glave koja će se koristiti protiv različitih ciljeva, dok će zadržati svoju osnovnu, protivoklopnu namenu.

Treća faza, na osnovu koje će nastati *G-Model*, izvršiće izmene na sistemu vođenja od tehnologije dugotalasnog IC tragača ka nehlađenom tragaču. Samo na tom podsistemu doći će do znatne uštede na težini s obzirom na to da će biti izbačena jedinica za hlađenje baterije i sa njom povezani vodovi.

Došlo je do znatnog poboljšanja veka baterije i na taj način je produženo vreme potrebno za opažanje i zahvatanje cilja. Nije planirana instalacija automatskog zaključavanja tragača i nišanje na cilj van vizuelnog osmatranja, ali je razvijena tehnologija koja će modelu G omogućiti bežični komunikacioni link sa raketom, što će omogućiti izmene kursa rakete ili promenu cilja u toku leta rakete.

Novi dizajn tragača omogućiće sistemu *Javelin* povećan domet od oko 40%, što bi u prevodu značilo da će domet biti povećan sa 2.500 na 3.500 m na modelu G. Očekuje se da će *G-Model* ući u naoružanje oko 2020. godine.

Program unapređenja sistema *Javelin* predviđa nezatno smanjenje mase za oko 0,45 kg, ali se od programa pod nazivom *JJV LightWeightCommand Launch* očekuje da će smanjenje biti do 40%.

Takođe se radi i na unapređenju hardvera, softvera i algoritama, kao i na dodavanju mogućnosti satelitske navigacije, ali i navođenju rakete od strane isturenih osmatrača.

Iako u ovom trenutku ne postoji zahtev američke vojske za kvalifikaciju sistema *Javelin* na daljinama preko 2.500 m, sistem već sada ima domet od skoro 4 km u svim operativnim uslovima.

Izraelska kompanija Rafael Advance Defence Systems dodaje još dva modela svojoj porodici vođenih protivtenkovskih raketa *Spike*, što znači da će cela klasa *Spike* raketa biti u mogućnosti da gađa oklopne ciljeve na daljinama od 100 m do 25 km.

Kompanija je trenutno u poslednjoj fazi razvoja rakete *Spike SR* (short range – kratak dolet), dometa do 1.000 m jednokratnog RRB-a na nivou voda, sa masom nešto manjom od 9 kg (lanser i municija). RRB će koristiti novi način vođenja, nehlađeni elektrooptički IC tragač, što će omogućiti smanjenje cene sistema.

RRB će biti projektovan za uništavanje nepokretnih i pokretnih oklopnih ciljeva na daljinama „manjim od 100 m” koje su u delokrugu voda.

Kompanija je takođe u „ranoj fazi razvoja sistema *Mini-Spike*, lakog prenosnog sistema koji će biti u mogućnosti napada na mete na daljinama od 300 – 1.500 m sa vođenjem tipa „ispali i zaboravi” ili „posmatraj i navodi” upotrebljavajući minijaturnu kontrolno lansirnu jedinicu. Raketa *Mini-Spike* biće lansirana i sa standardnih lansera raketa *Spike*, upotrebljavajući elektromehanički adapter, što će znatno olakšati logističke probleme.



*Raketa kompanije Rafael Mini-Spike*

To će omogućiti odeljenju ili vodu da napada neprijatelja zaklonjenog iza zida ili kuće na vrlo kratkim razdaljinama, od 300 do 400 m. Rakete *Mini-Spike* imaće manju bojevu glavu, a nišandžija će moći da odabere eksplozivne efekte, ali neće biti u mogućnosti da napada tenkove ili oklopna vozila. Ukupna težina sistema, lansera i rakete ne bi trebalo da prelazi 10 kg.

*Dragan M. Vučković*, e-mail: [draganvuckovic@kbcnet.rs](mailto:draganvuckovic@kbcnet.rs)

## Русија поново покреће производњу стратегијских бомбардера Ту-160<sup>9</sup>



Министарство одбране Руске Федерације потврдило је крајем априла да ће поново покренути производну линију стратегијских бомбардера-ракетносаца Тупољев Ту-160 (у НАТО класификацији: *Blackjack*). У медијима се спекулише да ће произвести најмање 50 нових авиона.

Према изјавама из Министарства одбране, поновно покретање производње Ту-160 који датира из совјетских времена представља неопходност за руске оружане снаге, а истиче се и да је то најбољи авион у класи. Компанија „Тупољев“ већ ради на модернизацији постојеће флоте, а први авион модернизован на стандард Ту-160М испоручен је средином новембра прошле године. Истовремено теку и радови на модернизацији времешних али виталних бомбардера Ту-95МС. Пакет модернизације Ту-160М обухвата нову авионику и нови систем наоружања. У следећој фази модернизације, која би требало да почне следеће године, авиони ће добити модернизоване моторе Кузњецов НК-32.

Руско ратно ваздухопловство (*Военно-воздушные силы России* – ВВС) треба до краја године да прими два модернизована Ту-160М и 12 бомбардера Ту-22М3. Флота „лабудова“, како су авиони Ту-160 познати у јавности, тренутно броји 13 апарата, а ВВС је наручио још 14 летелица.

Модернизовани и новопроизведени авиони Ту-160 треба да обезбеде руској авијацији даљњег дејства (*Дальняя Авиация*) одржавање потребног нивоа оперативних способности до увођења у наоружање бомбардера нове генерације ПАК-ДА, чија би производња требало да почне после 2020. године.

*Младен Тишма (Mladen Tišma)*, email: Mladen.Tischma@t-online.de

<sup>9</sup> <http://www.flightglobal.com/news/articles/russia-to-reestablish-tu-160-supersonic-bomber-production-411778/> [посећено: 15. мај 2015]

Италијанско РВ представило нови авион  
за селективну и почетну обуку<sup>10</sup>



Италијанско ратно ваздухопловство (*Aeronautica militare italiana*) представило је почетком маја нови ваздухоплов за почетну селекцију под ознаком T-344 V.E.S.P.A. (*Very Efficient Smart Power Aircraft*). Италијанско РВ само развија нови школски авион на бази пројекта лаког двомоторног млазног авиона „капрони“ Ц-22Ј (*Caproni C-22J*), који датира из осамдесетих година прошлог века, док ће у каснијој фази развоја бити одабран партнер који ће производити авионе.

Пилотска седишта постављена су једно поред другог у непресуризованог кабини, опремљеној кисеоничким уређајима за пилоте, дигиталном инструмент-таблом на којој се истичу три вишенаменска приказивача. Авион је опремљен увлачећим стајним трапом типа трицикл. Постиже брзину од 0,48 Маха, врхунац лета је на висини од 7.642 метра. Два млазна мотора обезбеђују потисак од 3,53 килоњутна, а максимална тежина<sup>11</sup> у полетању износи 1.300 килограма. Авион може да поднесе г-оптерећење од +7 до -3,5 јединица.

Авион Т-344 треба да замени СФ-260ЕА (*SF.260EA*), који се у 70. вингу италијанског РВ, базираног у ваздухопловној бази Латина, тренутно користи за селекцију будућих војних пилота.

Младен Тишма (*Mladen Tišma*), email: [Mladen.Tischma@t-online.de](mailto:Mladen.Tischma@t-online.de)

<sup>10</sup> *AirForces Monthly*, June 2015, p. 10.

<sup>11</sup> У извору је дат податак за тежину, и изражен је у килограмима и у либрама (фунтама).



### Кина развија STOVL борбени авион пете генерације<sup>12</sup>



Према званичним извештајима који долазе из Пекинга, Кина креће у развој новог борбеног авиона са могућношћу кратког полетања и вертикалног слетања (STOVL). Авио-индустријска групација „Ченгду“ (*Chengdu Aircraft Industry Group*), која послује у саставу Корпорације кинеске ваздухопловне индустрије (*Aviation Industry Corporation of China*), потписала је уговор којим је предвиђен развој погонске групе за авион.

У кинеским медијима вест је праћена рачунарском илустрацијом будућег STOVL борбеног авиона који, уз извесну сличност са америчким јуришником Ф-35, карактерише канар конфигурација са вентрал финовима уместо репних хоризонталних стабилизатора. Према приказаном цртежу, авион би требало да има склопива крила и векторисани млазник мотора, какав је примењен на руском мотору Р-79 развијеним за погон надзвучног VTOL ловца Јак-11 и Ф135 на поменутом америчком авиону, који је такође развијен на бази руског решења.

Према саопштењу фирме која ради на пројекту, циљ развоја новог авиона јесте унапређивање оперативних способности Ратне морнарице Народноослободилачке војске (*People's Liberation Army Navy*) која тренутно у свом арсеналу не располаже оваквом врстом ратне технике.

Младен Тушма (*Mladen Tišma*), email: [Mladen.Tischma@t-online.de](mailto:Mladen.Tischma@t-online.de)

<sup>12</sup> *Combat Aircraft Monthly*, June 2015, p. 7.

Јужноафрички „Денелс“ разматра поновно покретање производње унапређеног борбеног хеликоптера<sup>13</sup>



Јужноафричка компанија „Денел“ (*Denel*) разматра могућност да поново покрене производњу јуришног хеликоптера „роивак“ (*Rooivalk*) у унапређеној верзији.

Према изјавама водећих људи фирме, размишљања „Денела“ иду у два правца. У првом случају, пажња је усмерена на постојеће хеликоптере „роивак“ партије 1Ф (*Rooivalk Block 1F*), с циљем продужења века употребе, модернизације, и то заменом застарелих система, укључујући и рачунаре, и увођењем нових способности. Модернизација, која још није чврсто договорена са јужноафричким ратним ваздухопловством, вероватно ће обухватати и интеграцију ракете „мокопа“ (*Мокора*) са полуактивним ласерским вођењем.

Истовремено, компанија ће разматрати унапређену верзију хеликоптера која, за сада, носи радну ознаку „роивак 2“ (*Rooivalk 2*). У сарадњи са представницима РВ, ради се на студији која полази од претпоставке да ће потреба набавке новог борбеног хеликоптера бити присутна од 2025. године и касније. Међутим, развој „роивака 2“ неће бити везан само за тактичко-техничке захтеве домаћег ваздухопловства, већ „флексибилан и отворен приступ“ треба да омогући да потенцијални страни партнери учествују и утичу како би коначан производ задовољио и њихове посебне захтеве.

<sup>13</sup> *IHS Janes's Defence Weekly*, Vol. 52(19), p. 21.

Иако нема званичних изјава у погледу опреме нове верзије, из незваничних извора долазе подаци да ће „Ербас Оптроникс“ (*Airbus Optronics*) опремити „роивак 2“ новом извиђачко-осматрачком турелом, која укључује и ласерски обележивач и генератор ласерског зрака за вођење пројектила.

Две стране земље су, наводно, већ изразиле интересовање за „роивак 2“, од којих је једна раније већ разматрала набавку изворне верзије.

Младен Тушма (*Mladen Tišma*), email: Mladen.Tischma@t-online.de

### Успешан први лет хеликоптера С-97 „рејдер“<sup>14</sup>



Први прототип брзог хеликоптера са крутим коаксијалним роторима С-97 „рејдер“ (*Sikorsky S-97 Raider*), којим су управљали главни опитни пилот програма Бил Фел (*Bill Fell*) и Кевин Бреденберг (*Kevin Bredenbeck*) као копилот, извео је свој први лет 22. маја ове године из развојног летачког центра компаније „Сикорски“ у Вест Палм Бичу, на Флориди (*West Palm Beach, Florida*).

Први лет трајао је читавих шездесет минута, односно дупло дуже од планираног. Током тог једног часа изведена су три полетања и три слетања, прогресивни лет, бочни лет и лет уназад. Прототип је опремљен системом троструких електричних (*triplex fly-by-wire*) команди лета, које су током првог лета радиле у деградираном бек-ап (*backup degraded mode*) режиму како би се испитала основна пловидбеност при малим брзинама.

<sup>14</sup> <http://aviationweek.com/defense/sikorsky-conducts-first-flight-s-97-helo> [поцеђено: 26. мај 2015]

Након налета од 100 часова, први прототип прошириће „рејдеру” анvelopу лета како би се средином 2016. године постигли кључни параметри перформанси (*key performance parameters – KPP*), односно постављени тактичко-технички захтеви (ТТЗ) програма. Неки од ТТЗ су и лебдење без утицаја земље при оперативној тежини на висини од 6.000 стопа (1.828,8 m) и температуре ваздуха од 35 степени Целзијуса, крстарећа брзина од 220 чворова (407,52 km/h) при подвешаним ВУБС на спољним линијама наоружања и способност маневрисања при пуној брзини под оптерећењем од 3 g. Летна испитивања биће подељена у три фазе. Током прве фазе, хеликоптер ће бити опремљен блок 1 софтвером (*Block 1 software*) и летеће попут „традиционалног” хеликоптера, без примене пропулзора. Током ове фазе, летелица би требало да постигне брзину од 140 до 150 чворова (259–277,85 km/h) у „чистој” конфигурацији. Уградњом блок 2 софтвера (*Block 2 software*) биће омогућено коришћење пропулзора и управљивост репне секције, чиме ће у другој фази опитовања хеликоптер постићи веће брзине и остварити лет по анvelopи лета. Представници компаније сматрају да ће максимална брзина наоружаног хеликоптера бити 407,52 km/h, а у „чистој” конфигурацији, односно без спољашњих терета преко 463 km/h. Током ових стадијума опитовања, ваздухоплов би требало да демонстрира способност лебдења са два члана посаде и шест војника и потврди очекивања у погледу времена остајања у ваздуху. У трећој фази опитовања, провераваће се маневарски потенцијал крутог коаксијалног ротора и пропулзора, као и способност елисе са променљивим кораком да обезбеди обратни потисак. Летна испитивања биће завршена по постизању постављених ТТЗ.

Други прототип „рејдера” ће након првих 50 часова налета бити коришћен за потребе демонстрације потенцијалним купцима и партнерима, као и уградњу сензора и наоружања према специфичним потребама купаца, како би се приказале оперативне способности хеликоптера у конкретним сценаријима употребе.

„Рејдер” је замишљен као лаки тактички хеликоптер способан да развије велике брзине лета. Програм вредан 200 милиона америчких долара финансира сама компанија. „Рејдер” је развијен из технолошког демонстратора „икс2” (X2), вредног 50 милиона америчких долара и такође финансираног из средстава компаније, који је у периоду између 2008. и 2011. године обавио двадесет три опитна лета. Компанија „Сикорски” кренула је у развој овог хеликоптера имајући у виду потребу ваздухопловства Копнене војске Сједињених Држава (*U.S. Army*) за новим наоружаним извиђачким ваздухопловом (*Armed Aerial Scout – AAS*) који би заменио хеликоптере ОХ-58Д „кајова вориор” (*Bell OH-58D Kiowa Warrior*). У међувремену, америчка копнена војска заменила је хеликоптере ОХ-58Д јуришним хеликоптерима АХ-64 „апач” (*Boeing AH-64 Apache*), оспособљеним за извршавање извиђачких задатака. Тренутни планови КоВ Сједињених Држава предвиђају потребу за новим лаким наоружаним извиђачким хеликоптером (*Future Vertical Lift (FVL) Light armed scout*) након 2030. године. У „Сикорском” се ипак надају да ће оперативно употребљив „рејдер” убедити КоВ да убрза програм нове наоружане извиђачке ваздухопловне платформе.

Младен Тушма (*Mladen Tišma*), email: Mladen.Tischma@t-online.de

Индија модернизује и наоружава школске авионе „хоук марк 132”<sup>15</sup>

Британски произвођач авиона „БАЕ Системс УК” (*BAE Systems UK*) потписао је меморандум о разумевању са индијском компанијом „ХАЛ” (*Hindustan Aeronautics Limited – HAL*) за модернизацију млазних школских авиона за напредну обуку „хоук марк 132” (*Hawk Mk. 132*) и развој његове борбене верзије. Поред тога, потписани акт укључује и ваздухопловнотехничко одржавање и осталу логистичку подршку флоте јуришника „јагуар” и школских авиона „хоук” Индијског ратног ваздухопловства (*Indian Air Force*).

„Хоук марк 132” је млазни школски авион за напредну летачку обуку (*Advanced Jet Trainer – AJT*). Унапређени и наоружани авион користио би се за основну и напредну летачку обуку, обуку у ГРБ и ГЦВ,<sup>16</sup> а с обзиром на недостатак нових борбених авиона у Индијском ратном ваздухопловству због кашњења домаћег лаког ловца „тејаса” и одустајање од набавке 126 вишенаменских борбених авиона „рафал” преко програма ММРЦА (*MMRCA*), „хоук марк 132” имао би улогу и лаког ловца-бомбардера. Авион је опремљен инерцијалним навигацијским и глобалним системом за позиционирање (*Inertial Navigation/Global Positioning System*), електронским нишанским приказивачем (*Head-Up Display – HUD*) и контролама на палици и ручици гаса (*Hands-On Throttle and Stick – HOTAS*). За ношење ВУБС, авион ће имати седам подвесних тачака – један подтрупни носач и по три линије наоружања на сваком крилу. Наоружање ће бити унифицирано са модерни-

<sup>15</sup> <http://www.defense-aerospace.com/articles-view/release/3/163971/india-to-develop-combat-hawk%2C-upgrade-hawk-mk-132.html> [посећено: 27. мај 2015]

<sup>16</sup> ГРБ – гађање, ракетирање и бомбардовање; ГЦВ – гађање циљева у ваздуху.

зованим „јагуаром” и, поред осталог, укључиваће *Рафаелов* нишански подвесник „лајтенинг” (*Rafael Litening*), ласерски вођене авио-бомбе, ласерски вођене ракете ваздух–земља калибра 70 mm, ракете ваздух–ваздух кратког домета „асраам” (*MBDA Advanced Short Range Air-to-Air Missiles – ASRAAM*), те будући напредни систем наоружања за прецизно уништење (*Advanced Precision Kill Weapon System – APKWS*).

Авион по британској лиценци производи „ХАП” почев од 2008. године и до сада је Индијском ратном ваздухопловству испоручено 78 апарата. Од 2010. године у производњи је и 17 авиона за потребе Индијске ратне морнарице.

*Младен Тишма (Mladen Tišma), email: Mladen.Tischma@t-online.de*

### *Јавно представљање и први лет транспортног авиона Ан-178<sup>17</sup>*



Након што је средином априла украјински произвођач авиона „Антонов” представио свој нови средњи транспортни авион Ан-178, први прототип полетео је 7. маја ове године.

Авион Ан-178 је двомоторни млазни тактички транспортни авион развијен из путничког авиона Ан-158, који пак представља широкотрупну верзију лајнера Ан-148. У улози платформе за тактичко превозење авион може понети 18 метричких тона терета, 99 војника под пуном опремом, 80 палубранаца, 70 рањеника у односу 40 на носилима и 30 у седећем положају, два транспортна контејнера М2 и до три тешке палете за избацавање П7.

Авион је висококрилац са полумонокотрупом. Змај авиона већим делом направљен је од лаких алуминијумских легура и композита. Крила умерене стреле опремљена су винглетима, а репна секција је у облику слова Т и у њој је смештен турбински покретач ТА18-100-178 руске производње, а са доње стране је уграђена утоварно-истоварна рампа. Авион је погођен са два

<sup>17</sup> *AirForces Monthly*, June 2015, p. 27.

турбовентилаторска мотора Д-436-148ФМ, који обезбеђују потисак при полетању од по 77,27 килоњутна, односно максимални потисак од по 84,14 килоњутна. Мотор је пројектовао конструкторски биро „Ивченко Прогрес” (*Ивченко Прогрес*) а произвођач је фирма „Мотор Сич” (*АО Мотор Сич*), обе из Запорожја. Криза у односима са Руском Федерацијом и забрана војноиндустријске сарадње коју је наметнуо украјински председник представљају проблем за Ан-178 будући да су стартер мотора, стајни трап, приказивачи, електрични систем команди и још неки сегменти авионике руског порекла.

Поред потенцијалних војних корисника, „Антонов” рачуна и на цивилне карго компаније, а купац првих 10 апарата је једна кинеска авио-компанија. Требало би да Ан-178 замени турбоелисне транспортне авионе Ан-12, Ан-24, Ан-26 и Ан-32, а произвођач процењује да су потребе глобалног тржишта у овом сегменту Тра двеста апарата до 2032. године. Процењена цена креће се између 40 и 70 милиона америчких долара по авиону, зависно од поруџбине и опреме.

*Младен Тишма (Mladen Tišma), email: Mladen.Tischma@t-online.de*

*Индијском ратном ваздухопловству предати први модернизовани „миражи 2000”<sup>18</sup>*



Француски произвођач авиона „Дасо” (*Dasault Aviation*) предао је, на церемонији у свом центру за летна испитивања у Истру, Француска, Индијском ратном ваздухопловству прва два модернизована ловачка авиона

<sup>18</sup> *AirForces Monthly*, May 2015, p. 28; *AirForces Monthly*, June 2015, p. 30.

„мираж 2000” (*Mirage 2000*) – један једносед „мираж 2000И” (*Mirage 2000I*), евиденцијског броја КТ107, и један двосед „мираж 2000ТИ” (*Mirage 2000TI*) ев. бр. КТ201. Према уговору потписаном 2011. године индијска компанија ХАЛ модернизоваће преосталих 47 „миража 2000Х/ТХ” из састава Индијског ратног ваздухопловства. Авиони су прелетели од Француске до матичне базе у Индији за седам дана са слетањима у Грчкој, Египту и Катару.

Пакет модернизације укључује кабину компатибилну са наочарима за ноћно гледање, напредни навигацијски систем, нови идентификатор „свој-туђ”, нови радар, потпуно интегрисан систем за електронско ратовање, те способност ношења унапређених ракета ваздух–ваздух за дејство изван визуелног домета. Поред „Дасоа”, у програму су учествовали „Талес” (*Thales*) и низ коопераната са индијске стране, што је предуслов имајући у виду стратешко опредељење ове земље за ослонац на сопствене снаге преко програма „Направи у Индији” (*Make in India*).

Младен Тишма (*Mladen Tišma*), email: Mladen.Tischma@t-online.de

Представљена нова верзија израелске ваздухопловне ракете „дерби”<sup>19</sup>



Израелски произвођач наоружања и војне опреме „Рафаел” (*Rafael Advanced Defense Systems Ltd.*) представио је унапређену верзију ракете ваздух–ваздух и земља–ваздух за дејство по циљевима у ВаП-у унутар и изван визуелног домета под ознаком „и-дерби” (*i-Derby*).

Нова ракета задржала је од претходника конструкцију, мотор, бојну главу и анvelopу кинематичких перформанси. Нова ракета има нову активну радарску главу самовођења, а све делове и склопове производи „Рафаел”. Иако је нова ракета лакша од претходника, маса (тежина), дужина и баланс су идентични. Глава самовођења (ГСВ) садржи и софтвер који одређује параметре перформанси саме главе, а у будућности постоји могућност његовог прилагођавања новим врстама циљева. ГСВ је способна за „поглед и дејство на доле”, „закључавање” циља пре лансирања и поседује напредне мере за заштиту од електронских противмера циља.

Ракета је намењена за уништавање борбених авиона, хеликоптера, крстарећих ракета, навођених ВУБС и беспилотних летелица у свим метеоролошким условима и може се користити у режимима ваздух–ваздух и земља–ваздух.

Младен Тишма (*Mladen Tišma*), email: Mladen.Tischma@t-online.de

<sup>19</sup> *IHS Jane's International Defence Review*, Vol. 48, April 2015, p. 12.



Разговори о могућности опремања лаких ловаца ФА-50  
вођеним авио-бомбама „ал-тарик”<sup>20</sup>



„Денел Дајнамикс” (*Denel Dynamics*), подружница за ваздухопловна убојна средства (ВУБС) и беспилотне летелице јужноафричке компаније „Денел” (*Denel*), у преговорима је са Јужном Корејом и „Корејском авио-индустријом” (*Korea Aerospace Industries – KAI*) о наоружавању лаких ловачких авиона ФА-50 „голден игл” (*KAI T-50 Golden Eagle*) прецизно навођеним ВУБС ваздух–земља опремљеним комплетима „ал-тарик” (*Al-Tariq*).

Разговара се о комплетима за сателитско-инерцијално (*GPS/INS-guided*) навођење са склопивим крилима и бустер-моторима, чиме се повећава дomet убојног средства. Поред ГПС/ИНС верзије, у понуди је и комплет под ознаком „умбани” (*Umbani*) са ИЦ вођењем уз сликовно поређење (*imaging infrared*) или полуактивним ласерским вођењем. Сви ови комплети примењују се за модификацију класичних невођених авио-бомби какве су Мк 81, Мк 82 и Мк 83.

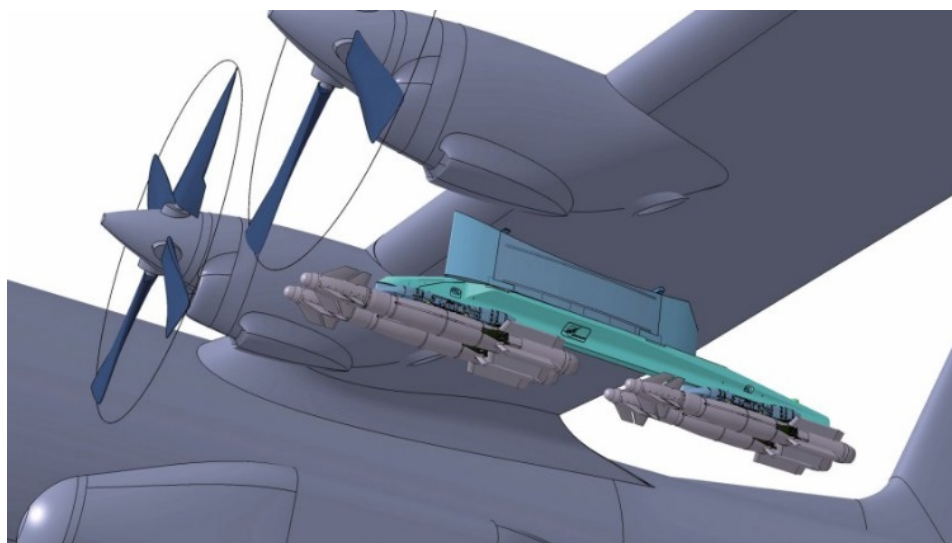
Комплети су развијени у сарадњи јужноафричке фирме са предузећем „Тавазун Дајнамикс” (*Tawazun Dynamics*) из Уједињених Арапских Емирата, који су купили неколико стотина ових комплета за опремање ловачких авиона „мираж 2000-9” (*Mirage 2000-9*) и школско-борбених авиона „хоук Мк 102” (*Hawk 102*). Током 2016. године, УАЕ планирају да отворе производну линију, а у плану је и верзија са радарским вођењем као и повећање дomete

<sup>20</sup> <http://www.janes.com/article/50940/denel-south-korea-in-talks-to-integrate-al-tariq-bomb-kit-on-fa-50s> [посећено: 31. мај 2015]

та таквих ВУБС на 200 километара. Јужноафричко ратно ваздухопловство планира 2018. године да изврши интеграцију на своје вишенаменске борбене авионе ЈАС 39Ц/Д „грипен“ (*JAS 39C/D Gripen*) и школско-борбене авионе „хоук Mk 120“ (*Hawk Mk 120*).

Младен Тишма (*Mladen Tišma*), email: Mladen.Tischma@t-online.de

„Сажем“ нуди наоружавање француских транспортних авиона Ц-130 прецизним авио-бомбама<sup>21</sup>



Компанија „Сажем“ (*Sagem*) припрема се да Француском ратном ваздухопловству (*Armée de l’Air*) понуди пакет модернизације флоте транспортних авиона Ц-130 „херкулес“ (*Lockheed Martin C-130 Hercules*).

У оквиру пакета модернизације, „Сажем“ нуди и наоружавање „херкулеса“ системом ССА-1101 „жерфау“ (*SSA-1101 Gerfaut*), што би му омогућило да понесе до осам прецизно вођених модуларних авио-бомби „сажем AACM“ (*Sagem AACM – Armement Air-Sol Modulaire*). Авио-бомбе AACM, према тврдњама произвођача, имају домет од 30 километара када се одбаце са висине од 7.620 m, при брзини од 351,88 km/h. Систем се састоји из два двострука лансирна уређаја АУФ-2 (*Rafaut AUF-2*), који би се, помоћу скупног носача, постављали уместо поткрилних резервоара. Овај лансирни уређај већ се користи на ловцима-бомбардерима „мираж 2000Д“ (*Mirage 2000D*) за ношење авио-бомби „AACM“, а у току је развој скупног носача, односно носеће греде дужине 5,8 m. Систем управљања наоружањем биће

<sup>21</sup> <http://www.janes.com/article/50876/sagem-looks-to-arm-french-c-130s-with-aasm> [посећено: 31. мај 2015]

независан од авионике самог авиона, а као основа послужиће пакет модернизације мароканских ловаца „мираж Ф1” (*Mirage F1*), коју укључује и ААСМ. На тај начин у потпуности ће бити сачуване и транспортне способности „херкулеса”.

Систем ССА-1101 у развоју је од 2012. године, а у програму поред „Са-жема” учествују и предузећа „Рафау” (*Rafaut*) и „АА/РОК” (*AA/ROK*). Током 2014. године обављене су рачунарске аеродинамичке симулације, у којима су са транспортног авиона одбациване авио-бомбе калибра 250 килограма.

Младен Тишма (*Mladen Tišma*), email: Mladen.Tischma@t-online.de

### Индија одабрала А330 за развој новог авакса<sup>22</sup>



Индијска Одбрамбена истраживачко-развојна организација (*Defence Research and Development Organisation*) одабрала је „ербас” А330 (*Airbus A330*) као платформу за развој новог авиона за рано упозоравање и командовање – авакса (*Airborne Warning and Control System – AWACS*). Одлука је очекивана с обзиром на то да је Индија одабрала А330 и за потребе платформе за допуну горивом у ваздуху – А330МРТТ (*A330MRTT*). Амбициозни програм новог домаћег авакса одобрио је и Савет одбране за набавке (*Defence Acquisition Council*), на основу чега је Министарство одбране одобрило суму од 750 милиона евра за набавку, модификацију и опремање два авиона.

Прва два авиона требало би да буду опремљена тањирастом радарском антеном са активним електронским скенирањем (*AESA*) изнад трупа која покрива опсег од 360°. Развој радара и опреме, вредан 817,85 милиона америчких долара, поверен је Центру за ваздухопловне системе Одбрамбене истраживачко-развојне организације. Компанија „Ербас” биће задуже-

<sup>22</sup> *AirForces Monthly*, May 2015, p. 28; *Combat Aircraft Monthly*, June 2015, p. 21; <http://www.flightglobal.com/news/articles/a330-selected-for-awacs-india-project-410708/> [посећено: 31. мај 2015]

на за уградњу опреме у авионе, летна испитивања и добијање потребних сертификата. Прва два авиона требало би да буду предата Индијском ратном ваздухопловству за пет до седам година, а садашњи планови набавке обухватају укупно шест апарата, са опцијом за још четири.

Тренутно се у наоружању Индијског ратног ваздухопловства налазе три ЕМБ-145И (*Embraer EMB-145I*) бразилске производње и три А-50 руске производње опремљена израелским радаром „фалкон” (*IAI-Elta Phalcon*), а постоје планови набавке још два таква авиона. Нови авакс биће понуђен и за извоз.

*Младен Тишма (Mladen Tišma), email: Mladen.Tischma@t-online.de*

*Бразилска ратна морнарица преузела први модернизовани  
ловац-бомбардер АФ-1<sup>23</sup>*



Морнаричка авијација Бразилске ратне морнарице (*Aviação Naval de Marinha do Brasil*) преузела је први модернизовани ловац-бомбардер АФ-1Б „фалкао” (*AF-1B Falcão*).

Програм модернизације обухвата девет једноседа А-4КУ „скајхоук II” (*McDonnell Douglas A-4KU Skyhawk II*) и три двоседа ТА-4КУ „скајхоук II”.

<sup>23</sup> <http://www.defesaaereanaval.com.br/marinha-do-brasil-recebe-hoje-primeiro-a-4-modernizado/> [посећено: 31. мај 2015]

Радови чине уградњу новог радара „елта 2032” (*Elta 2032*) израелске производње, горњег приказивача и два вишенаменска приказивача у боји 12,7 × 17,78 cm, навигацијске, радио и електроопреме, инструмената, кисеоничког уређаја ваздухоплова, те ремонт авиона, радове на змају и ремонт дванаест мотора J-52-П408 (*Pratt & Whitney J-52-P-408*) у Израелу. Стајни трап и хидраулички системи неће бити модернизовани, већ подвргнути редовном одржавању.

Модернизовани авион предат је 1. ескадрили пресретачких и јуришних авиона (*1<sup>o</sup> Esquadrão de aviões de interceptação e Ataque – VF-1*). Примопредаја следећег примерка биће у децембру ове године. Поред модернизације, програм је укључио и радове на продужењу века употребе, чиме је омогућено да авиони АФ-1Б остану у наоружању до 2028. године.

*Младен Тишма (Mladen Tišma), email: Mladen.Tischma@t-online.de*

#### *Русија планира изградњу новог носача авиона<sup>24</sup>*



Државни научноистраживачки институт „Крилов” из Санкт Петербурга ради на развоју новог носача авиона за потребе Ратне морнарице Руске Федерације (Военно-Морској Флот Российской Федерации – ВМФ РФ) под радним називом „Шторм”, односно радном ознаком „Пројекат 23000Е”.

<sup>24</sup> [http://rs.sputniknews.com/serbian.ruvr.ru/2013\\_06\\_13/Rusiji-potreban-novi-nosach-aviona/](http://rs.sputniknews.com/serbian.ruvr.ru/2013_06_13/Rusiji-potreban-novi-nosach-aviona/);  
<http://www.janes.com/article/51452/russia-developing-shtorm-supercarrier>  
[посећено: 31. мај 2015]

Према тврдњама руских медија, поменути институт, који иначе важи за водећи бродарски пројектни биро у Руској Федерацији, представио је три варијанте новог носача. Идејни пројекат на фотографији подразумева брод депласмана 90.000 до 100.000 тона, дужине 330 m, ширине 40 m и газ 11 m. Максимална брзина брода била би 30 чворова, а крстарећа 20 чворова. Носач авиона имао би аутономију од 120 дана, а посада би бројала између четири и пет хиљада душа. Брод би требало да издржи шест до седам степени стања мора према скали Светске метеоролошке организације (у основи Дагласова скала). Брод се развија са конвенционалним погоном са могућношћу уградње нуклеарног, на захтев потенцијалног наручиоца. Ваздухопловну компоненту чинило би 90 различитих ваздухоплова, укључујући палубне ловце-бомбардере МиГ-29КР/КУБР, хеликоптере из фамилије Ка-27, палубну верзију „Сухојевог“ вишенаменског борбеног авиона Т-50 ПАК-ФА и нови млазни авион за рано упозоравање. Летна палуба обухватала би, уз две надградње – моста, „скакаоницу“ која би омогућавала полетање два авиона и електромагнетне катапулте за полетање још два авиона, уз једну сајлу за заустављање помоћу арестера. За непосредну противваздушну одбрану<sup>25</sup> била би намењена четири ракетна система противваздушне одбране, а брод би био наоружан и противторпедним средствима. Електронску опрему брода чинили би вишенаменски радар, систем за електронско ратовање, интегрисани сензори и савремена средства везе.

У медијима су се појавиле тврдње да је ВМФ РФ заинтересована за два до чак осам оваквих носача авиона, а њихова изградња могла би да буде укључена у државни програм развоја наоружања и војне опреме за период до 2025. године. И поред изјава руских званичника да је Руска Федерација већ у овом тренутку спремна за изградњу оваквих бродова, оне су примљене са извесном дозом скепсе, будући да су совјетски носачи авиона грађени у црноморском бродоградилушту у Николајеву које је остало у Украјини. Нови носачи градили би се у бродоградилушту „Севмаш“ у Северодвинску. Бродови ове класе били би коришћени у саставу Северне и Тихоокеанске флоте, са могућношћу мирнодопског ангажмана у другим деловима света. Ратни сценарио подразумевао би да тежиште њихове употребе буде у зони Баренцовог мора и обала Камчатке са циљем одбијања удара непријатеља. Тренутно ВМФ РФ располаже само са једним носачем авиона „Адмирал Кузњецов“, а посао куповине два десантна носача хеликоптера типа „Мистрал“ од Француске је и коначно пропао због одбијања Француске да Русији испоручи купљене бродове. Изградња нових носача авиона зависиће од одлуке државе да ли ће да издвоји огромна финансијска средства за ту сврху.

*Младен Тишма (Mladen Tišma), email: Mladen.Tischma@t-online.de*

<sup>25</sup> Иако је у нашој војностручној терминологији замењен појмом „противваздухопловна одбрана“, појам „противваздушна одбрана“ је најбоље одговарајући јер обухвата одбрану брода и од авиона и од противбродских ракета.

### *Оптималне карактеристике оружја за прикривено ношење*

Део задатака и послова које службена лица обављају у оквиру свог службеног позива, а који су засновани на позитивноправним прописима Републике Србије, захтева и неупадљиво, прикривено ношење оружја. Најчешће су то послови и задаци из домена блиске заштите одређених лица, предмета и објеката од посебног значаја, када је важно да службеници буду што мање уочљиви, те најчешће облаче цивилну одећу, уз изостављање службених ознака, или истицање мањих, дискретнијих, попут малих значки на оковратницима кошуља, мајица, на реверима одела итд. Треба споменути и то да у пракси сличне послове могу обављати и посебно обучена лица из цивилства (на пример, запослени у оквиру приватних компанија за обезбеђење).

Специфичност задатака и послова ове врсте изискује другачији приступ при одабиру личног наоружања и опреме. Уопштено гледано, у овој области избор је сужен критеријумом да оружје, по својим димензијама, мора бити прикладно за смештање испод делова одеће. Сходно томе, оружја дугих цеви, попут јуришних пушака, нису баш рационалан избор у овој области. Ипак, треба бити прецизан и истаћи да су јуришне пушке, па и лаки митраљеви, чест избор „кет“ тимова (енгл. *Contra Assault Team – CAT*) за обезбеђење одређених лица или значајних предмета, али се ту, иако је у питању блиска заштита (енгл. *Close Protection*), не ради о прикривеном ношењу оружја. Слична је ситуација и са борбеним сачмарицама, а балистичке карактеристике сачме још један су од разлога зашто оружје из ове категорије не би требало да се употребљава при обављању задатака и послова који захтевају прикривено ношење оружја, јер су претње у овим ситуацијама често у непосредној близини нежељених мета, па употреба сачме непосредно угрожава и њих.

Може се закључити да се избор личног наоружања најчешће своди на оружја из категорије аутомата (енгл. *Submachine Gun*), оружја за личну заштиту (енгл. *Personal Defence Weapon*), као и пиштоља, како полуаутоматских, тако и аутоматских. Оружја из ових категорија (посебно пиштољи) по правилу се одликују компактним димензијама, те су прикладна за смештање испод одевних предмета, односно у посебно рађене футроле или џепове.

#### *Аутомати и оружја за личну заштиту*

Када су у питању аутомати и оружја за личну заштиту, предност оружја ове врсте је у већој ватреној моћи коју омогућавају стрелцу двоструко: по правилу, дозвољавају и аутоматску паљбу<sup>26</sup>, а имају и већи капацитет оквира<sup>27</sup>, првенствено у односу на пиштоље. Такође, у односу на ове последње, оружја из ове категорије имају и већи ефикасни дomet, односно омогућавају бољу прецизност поготка<sup>28</sup>. Модели новијих генерација се, по правилу, одликују добрим ергоном-

<sup>26</sup> Код модела који су намењени за службену употребу ово је стандард, а модели намењени купцима из цивилства најчешће дозвољавају само полуаутоматску паљбу.

<sup>27</sup> Примера ради, белгијско оружје за личну заштиту „FN P-90“ има оквир капацитета 50 метака.

<sup>28</sup> Услед дуже нишанске линије, која је омогућена већом укупном дужином оружја и дужином цеви.

ским решењима, што је врло важан критеријум за одабир. Основне команде су логично распоређене, при чему се може приметити сличност у распореду команди „западњачких“ произвођача са једне, и руских, са друге стране. Шира употреба композитних материјала у изради конструкције ових оружја знатно умањује њихову укупну масу, што олакшава ношење у дужем периоду. Оружја за личну заштиту, по правилу, имају израженију компактност од класичних аутомата, а ту су и специфични калибри муниције ових првих. Што се тиче балистичких карактеристика муниције, међу најважнијим критеријумима јесу пробојност и зауставна моћ, које треба упоређивати на малим и средњим дистанцама, с обзиром на то да у задацима и пословима ове врсте претње најчешће долазе управо из непосредне близине. У пракси, већина ових модела подразумева употребу ангажовањем обе руке стрелца, што може представљати отежавајућу околност приликом извођења одређених радњи у оквиру задатака и послова ове врсте, на пример када је потребно извући одређено лице са места напада или спречити га да почне да бежи услед страха од нападача. Наравно, ефикасност употребе оружја зависи у највећој мери од обучености стрелца, али не би се могло основано приговорити тврдњи да је употреба „SMG“ или „PDW“ оружја помоћу обе шаке знатно боља опција и правило, а да се унилатералној употреби прибегава само у екстремним ситуацијама, а на основу околности конкретног случаја. Управо у овој ситуацији предност остварује краће, лакше и једноставније за употребу оружје: полуаутоматски и аутоматски пиштољи.

#### *Полуаутоматски и аутоматски пиштољи*

Није погрешно рећи да оружје из ове категорије представља најчешћи избор, када је у питању прикривено ношење оружја. Најчешћи калибри у којима се израђује највећи број серија пиштоља јесу 9x19 mm Parabellum<sup>29</sup>/ Luger, затим .40 S&W (Smith and Wesson), као и .45 ACP (енгл. Automatic Colt Pistol).



*Визуелно поређење пиштољских калибара (с лева на десно):  
9x19 mm Parabellum/ Luger, .40 S&W i .45 ACP. Фото: Милош Јевтић*

<sup>29</sup> Назив калибра долази од латинске пословице „*Si vis pacem, para bellum*“, што у преводу значи „Ако желиш мир, спремај се за рат“.



Ефикасан домет ове врсте оружја ограничава се до 50 метара, што у великој мери покрива ситуације у којима би се пратиоци и „кет” тимови могли суочити са претњама по одређено лице/ одређена лица, предмете, као и објекте од посебног значаја.

Када је у питању конструкција пиштоља, њихове укупне димензије су знатно мање у односу на претходно наведене категорије наоружања, те су идеални за прикривено ношење. С тим у вези је и велики број футрола разних модела које се могу наћи на тржишту, а које су намењене управо прикривеном ношењу, а које се најчешће монтирају на опасач/каиш са предње стране или се каче са унутрашње стране панталона, затим футроле које се монтирају око рамена, а у скорије време примећује се све већа заступљеност футрола које се монтирају преко груди стрелца, тако да се пиштољ смешта са леве или десне стране груди. Футроле ове намене морају задовољити неколико критеријума: морају обезбедити релативно неупадљиво ношење, затим безбедно ношење, чак и ако је метак у цеви, као и сигурно и брзо потезање<sup>30</sup> оружја када је то потребно. Наравно, мање димензије значе и мању укупну масу оружја, што је свакако позитивна одлика, којој иде у прилог и тенденција конструктора да радове пиштоља израђују од разних врста полимера, чиме се увећава и отпорност оружја на климатске услове и слично.



*Полуаутоматски пиштољ „Glock-19 Gen 4” у калибру 9x19, опремљен облогом рукохвата „Crimson Trace”. Фото: RattleHeadd, USA*

<sup>30</sup> Техника и брзина потезања оружја из футроле или џепа првенствено зависи од увежбаности стрелца, али произвођачи треба максимално да поједноставе конструкцију производа, односно механизам брављења оружја приликом смештања.

Критеријум који највише усложњава избор оружја јесте капацитет оквира. Већи капацитет оквира изискује дворедно смештање метака у шупљину оквира, што наравно увећава његову ширину, а самим тим и ширину целог пиштоља. Што је оружје шире, то ће бити уочљивије приликом прикривеног ношења, на пример испод мајице или кошуље. Ипак, већи капацитет оквира даје пратиоцу више сигурности<sup>31</sup>, што би могао бити основни критеријум већине специјалиста који се одлучују за моделе за већим капацитетом оквира.

На крају, све техничко-тактичке карактеристике треба ставити у страну, а индивидуализацију оружја треба извршити првенствено према критеријуму ергономије. Осећај који стрелац добија када узме оружје и рукује њиме требало би да буде основни критеријум одабира оружја, не само за потребе прикривеног ношења, него и уопште. Оружје треба да се бира према величини шака<sup>32</sup> стрелца, са посебном пажњом на ергономију рукохвата оружја, односно распоред основних команди. Уколико оружје ергономски не одговара шакама стрелца, то ће се негативно одразити на употребу и обрнуто. Искуства колега су свакако добродошла, али искључиво као савет, јер нико није исти: оно што одговара једном стрелцу, не мора одговарати другом. Зато је најрационалније поступање да пратилац пре коначне одлуке одвоји одређено време за тестирање оружја и упознавање са његовим карактеристикама.

У пракси, за потребе задатака и послова из домена блиске заштите, могло би се истаћи да су аустријски „Glock-17”, треће и четврте генерације, у калибру 9x19 mm Parabellum/Luger веома заступљени као прикривено наоружање пратилаца, као и компактнија серија „Glock-19” у истом калибру. Такође, ту су и модели „Glock-22” који се израђују у јачем пиштољском калибру .40 S&W. Управо ови модели најчешћи су избор и специјалиста – пратилаца у оквиру Војске Републике Србије, као и српске полиције. Примера ради, специјалисти Противтерористичке јединице – ПТЈ Министарства унутрашњих послова за потребе обављања задатака и послова из ове области имају на располагању и познате италијанске моделе „Beretta Px4 Storm” у калибру 9x19 mm Parabellum/Luger.

*Милош Јевтић (Miloš Jevtić),  
уредник сајта specijalne-jedinice.com,  
e-mail: info@specijalne-jedinice.com*

<sup>31</sup> Поред тога, пратиоци по правилу носе и неколико (најчешће 2-3) резервна оквира.

<sup>32</sup> У вези са тим, многи произвођачи у оквиру стандардне опреме испоручују и замењиве улошке/ облоге у неколико величина којима се рукохват оружја, тачније његова ширина, додатно може прилагодити потребама конкретног корисника.

### *Слава и моћ руског наоружања на паради поводом 70. годишњице Дана победе*

Војна парада поводом Дана победе над фашизмом у Москви, одржана 9. маја 2015. године, догађај је који је са разлогом изазвао светску пажњу.



Овогодишњом парадом на Црвеном тргу обележено је победничко напредовање и допринос совјетских армија поразу фашизма 1945. године, у оквиру свих антифашистичких снага. Због тога је ова парада садржала мноштво историјских, хуманих и антиратних порука. У њима су саткана и упозорења свим ретроградним снагама, које би ревизијом историје настојале деловати на светској војној и политичкој сцени.

Светски медији су параду у Москви представили као изузетан догађај, наглашавајући да је припремана да „засени све претходне”. Нажалост, свечаност су бојкотовали поједини лидери западних земаља, наводно због кризе у Украјини. Међутим, познат је основни мотив Запада у актуелном конфронтирању са Русијом и, у том светлу, процес стратешког опкољавања ове огромне славенске земље. Ипак, парада је, поред политичке и економске, показала и војну снагу Русије, јер је на њој, без сумње, приказано најмоћније светско наоружање данашњице. Порука је могла је да се схвати и као опомена сваком ко сумња да Русија није способна да се одупре евентуалном савременом војном и политичком изазову. Иако су многи аналитичари покушали да као основну поруку параде издвоје тврдњу да је „Русија довољна сама себи да се одбрани”, присуство војних снага Кине, Индије,

Заједнице независних држава (земаља бившег СССР-а), Србије и других, говори да је парада истакла и важности мултиполарног и уравнотеженог света и расподеле моћи.



Најзначајнији утисци у медијима о паради:

- Парада за Дан победе највећа је у савременој историји Русије
- Русија је приказала нови тенк пред парадом 9. маја
- Црвени тргом, који је био украшен заставама и траком Светог Ђорђа, заштитника Русије, дефиловало је 16.000 војника, 194 борбених и оклопних система, 134 авиона и хеликоптера и око 1.300 војника из Србије, Индије, Кине и Заједнице независних држава (земаља бившег СССР-а).

Ван контекста политичког значаја овогодишње параде у Москви, ваља имати у виду да се целина руске војне моћи могла сагледати након прегледа садржаја свих 28 парада одржаних широм Русије, поред оне највеће у Москви.

Парада је имала и свој историјски контекст који је представљен ешалоном са заставама 10 фронтова (јединица) које су учествовале у завршној етапи Великог отаџбинског рата. Поред трибина пролазиле су групе заставе јединица које су извојевале највећу победу у рату, затим државне заставе Руске Федерације и заставе оружаних снага Русије. У историјском делу, на почетку параде, учествовали су и легендарни тенкови Т-34 и самоходни топови СУ-100, као и историјске чете пешадије, pilota, морнара и козака с оружјем из рата 1941–1945. године.

#### Историјски контекст

Дан победе над фашизмом обележава се 9. маја, на дан када је 1945. нацистичка Немачка потписала капитулацију у Другом светском рату.

Совјетски маршал Георгиј Жуков је 9. маја 1945. године ратификовао споразум о немачкој капитулацији, који је дан раније у име Трећег рајха потписао немачки фелдмаршал Вилхелм Кајтел.

Други светски рат коначно је завршен неколико месеци касније без условног капитулацијом царског Јапана после трагичне употребе атомских бомби у Хирошими и Нагасакију.

Прва парада победе одржана је 24. јуна 1945, одмах после предаје последњих немачких војника. На првој паради учествовало је око 40 хиљада људи. Преко Црвеног трга прошло је 1.850 јединица војне технике. Ваздушни део параде није одржан због лошег времена. Као финале победе, на калдрми Црвеног трга положено је око 200 застава поражених немачких јединица. Међу њима је била и лична Хитлерова застава.

До следећег празновања Дана победе дошло је тек 1965. године. Тада је указом Президијума врховног совјета СССР-а 9. мај проглашен општим празником. Затим је, након 20 година, парада победе поново одржана 1985. године. На Црвеном тргу тада су били и ветерани, као и стара војна техника: тенкови Т-34 и прослављене „каћуше”. За ту прилику војницима су сашивене униформе из времена Другог светског рата.

Наредна парада одржана је 1990. дефилеом јединица и војне технике из Другог светског рата. Пет година касније опет су на Црвеном тргу били ветерани и стара техника. Донесен је и закон 19. маја 1995. по којем се парада победе одржава сваке године.

Парада одржана 2005, у част 60. годишњице победе над фашизмом, имала је јубиларни значај, а 2010. први пут су учествовали војници из 13 земаља. Поред осталих, били су ту Британци, Американци и Французи, као и Пољаци и представници земаља Заједнице независних држава. Тада је марширало 11.300 војника и официра, представљена је 161 врста наоружања и војне технике, а над Црвеним тргом пролетело је 127 авиона и хеликоптера.

Годину дана касније учествовао је рекордни број војника и официра у новијој руској историји – скоро 20.000! На парадама које су следиле било је мање учесника.

Ешалоне који су следили сачињавале су колоне припадника почасне страже три вида оружаних снага, пук копнених снага, батаљон Ратног ваздухопловста, пук Ратне морнарице, батаљон Ракетних стратешких снага, пук Ваздушнодесантних снага, кадети војних академија, почасна коњичка пратња председничког пука Федералне службе за обезбеђење, као и припадници војних јединица других министарстава и служби.

Црвеним тргом прошли су затим ешалони савременог наоружања. Приказана су нова оклопна возила „тигар”, у основној верзији, са шасијом „армата”, опремљени најсавременијом опремом за противтенковску борбу, као и оклопни транспортери БТР-82А, тенкови Т-90А и самоходне хаубице „МСТА-С”. У ешалону су се налазила и борбена средства за противваздушну заштиту јединица у захвату фронта, међу којима и зенитни ракетни системи „бук-М22”, зенитни ракетно-топовски системи „панцир-С1”, „С-400” и интерконтинентални ракетни системи „јарс”.



*Противракетни систем новије генерације С-400 „тријумф”*

Посебну пажњу изазвала су средства наоружања и војне технике која су представљена по први пут, међу којима обалски ракетни системи „бал” и „бастион”, самоходне хаубице „коалиција-СВ”, нове варијанте возила са повећаном заштитом „тајфун” и други новитети. Ипак, како се и очекивало, највеће интересовање изазвали су нови модели оклопних борбених возила, као што су тенк „армата”, борбено возило пешадије и оклопни транспортер „кургањец-25” и борбено возило пешадије „бумеранг”.

Ешалон јединица снага војно-космичке одбране предвођен је колоном противавионских ракетних комплекса „панцир-С”. Током проласка поред посматрача наглашено је да је приликом војних вежби „панцир” доказао да свој главни задатак — заштита цивилних и војних објеката, испуњава у потпуности. Ефикасно дејствује по циљевима на различитим висинама и, наглашено је, на недавним вежбама, уништене су ваздушне мете са првим пројектилима. Следио је противавионски ракетни комплекс „ТОР-М2У”. Овај систем противваздушне одбране намењен је за одбијање напада из ваздушног простора, заштиту војне технике и личног састава на борбеним положајима. И ракетни комплекс „искандер-М” заузимао је почасно место у овом ешалону.



*Ракетни систем „искандер”*

#### Параде у другим градовима

На Дан победе параде су одржане у 26 градова широм Русије, укључујући 9 градова-хероја: Москву, Санкт Петербург, Смоленск, Мурманск, Тулу, Новоросијск, Волгоград, Севастопољ и Керч. Више од 78,5 хиљада људи учествовало је на парадама. Представљено је више од 1.800 средстава војне технике, око 230 авиона и хеликоптера, као и 51 ратни брод.

У парадном строју дефиловала је и колона самоходних хаубица 152-мм „МСТА-С”. Истакнуто је да тај артиљеријски систем омогућава ефектно дејство по снагама противника, те да су у његов развој уткана најновија сазнања и искуства стечена током неколико година истраживања и испитивања.

Тенк „армата”, представник будућег покољења руских борбених оклопних возила, представљен је након проласка тенка претходне генерације Т-90 испред бине са званичницима на Црвеном тргу. Поред објашњења о тактичко-техничким и борбеним својствима тог тенка, предочено је и да ће, у најскорије време, овај тенк постати главно борбено оклопно возило снага земље. Понос руских борбених оклопних возила, тенк „армата” следила су и нова оклопљена транспортна возила „курганец” и модернизовани десантни вишенаменски оклопни транспортер „ракушка”. На његову платформу може да се постави више од десет разноврсних возила за ваздушнодесантне снаге, од командно-штабних до оних за позадинско обезбеђење.

Парада победе, за коју су руски медији наглашавали да је празник руског националног достојанства, израз бескрајне захвалности и спремности да се понови подвиг предака који су одбранили слободу и суверенитет земље, искористена је и као прилика да се домаћој и иностраној јавности представи нови обалски ракетни систем „бал”, којим се бране пограничне воде и обала. Његове ракете гађају бродове на раздаљини од 120 до 260 километара. Два поготка „бала” мо-

гу да потопе крстарицу. Обалски ракетни систем „бастион” већ је виђен на Криму. Он може да гађа и потапа не само бродове, него и носаче авиона. Ракете које испали „бастион” могу да мењају путању, а домет им је 600 километара. Поморскодесантне јединице дефиловале су у новим оклопним возилима „ракушка”. Ова возила испред возача имају три перископа, што обезбеђује одличну видљивост. Друго возило БМД-4М добило је надимак „садовница” (баштованка). Оно може и да „плива” по свим воденим површинама. Налази се у саставу ваздушнодесантне дивизије. У колони десантних борбених возила нове генерације велику пажњу изазвала су и возила типа БМД-4М, која увећавају мобилност и ватрену моћ ваздушнодесантних јединица. Целину су употпунила савремена оклопна возила БТР-82а из 810. бригаде поморске пешадије Црноморске флоте. Руска пешадија превозила се новим оклопним возилом „бумеранг” које је наоружано противтенковским системом „корнет”. Приказан је и оклопни аутомобил „тајфун-У” који служи за безбедан транспорт војника у ратној зони. Наглашено је да је реч о универзалном оклопном аутомобилу повећане заштите.

У свечаном маршу Црвеним тргом дефиловали су и припадници Војне академије за материјално-техничко осигурање, која носи име генерала Армије Хруљова. Ове године академија је обележила 115. годишњицу. У годинама рата питомци Академије решавали су изузетно важне задатке снабдевања фронта материјалним и техничким средствима и резервним деловима. Од истакнутих јединица представљен је и мешовити пук копнених јединица Оружаних снага Русије, на чијем челу су били припадници Академије опште намене. Већина прослављених маршала Великог отаџбинског рата учила је војне вештине управо у тој академији.

Изнад Црвеног трга је, 9. маја, на висини од 200 метара, прелетело 140 типова авиона и других борбених и неборбених летелица. Из безбедносних разлога није представљен руски невидљиви војни авион, ловац пете генерације Т-50, пошто још нису завршена сва испитивања и није предат на коришћење оружаним снагама.



*Руски невидљиви борбени авион, ловац пете генерације Т-50*

© Fotohost-agentstvo



С обзиром на то да су на паради авиони летели на малим висинама, одлучено је да се не ризикује са наступом те летелице. Први пут су представљени авиони СУ-35, који се и не разликује од СУ-27. Радари „ирбис” омогућавају да СУ-35 открије циљеве на 350 до 400 километара. На таквом растојању он препознаје носач авиона, а на 150 до 200 километара железнички мост, на сто километара види брод, а на 60 до 70 километара препознаје противничке лансирне ракетне рампе или групу тенкова.

Максимално борбено оптерећење СУ-35 је осам тона. Наоружан је ракетама „ваздух-ваздух” и „ваздух-земља”, као и наводећим бомбама. Његова цена износи од 30 до 38 милиона долара, по чему је знатно јефтинији од западних конкурената. Ова летелица припада генерацији „4++”. У саставу ваздухопловног ешалона летели су најсавременији авиони и хеликоптери дугог домета. Ешалон је предводио стратешки бомбардер ТУ-160, познат као „Бели лабуд”. Поред борбених авиона четврте „4++” генерације, Су-30 и Су-35, као и модернизованих јуришних хеликоптера Ми-35М и школских „Ансат-У”, учествовале су и акробатске групе „Руски витезови” и „Стрижи”, које су приказале тзв. „кубински дијамант”, формацију од девет борбених авиона Су-27 и Миг-29. Током дефилеа ваздухопловних снага наглашено је да руска авијација представља неизоставног учесника свих борбених дејстава у рату и војних вежби у миру, укључујући пребацавање технике и људства, борбено дежурство јуришне и авијације дугог домета, као и осигурање ваздушног простора у арктичкој зони. Летели су и стратешки бомбардери Ту-95, три суперсонична бомбардера са променљивом геометријом крила Ту-22М3, три стратешка бомбардера Ту-95 МС, као и највећи авион АН-124-100 „руслан”, који носи назив „Владимир Гладилин”.

Посебну пажњу изазвао је ударни хеликоптер Ми-28Н „ноћни ловац”, који је у наоружању и опреми руске армије још од децембра 2013. године. За њега се каже да открива и уништава све противничке циљеве – од јединица и тенкова до бродова, укључујући и циљеве у ваздушном простору. Наравно, оваква тврдња заснована је на резултатима тестирања у различитим условима. Од прошле године Ми-28Н основни је ударни хеликоптер Ратног ваздухопловства Русије. Намењен је за откривање и уништавање тенкова, оклопне механизације, живе силе противника, али може и ефикасно да се употреби за уништавање заштићених објеката и циљева на земљи (одбрамбених фортификацијских и других утврђених објеката). Такође, може да се користи и за постављање минских препрека. У јединицама морнарице и снагама које се налазе у приобаљу употребљава се као извиђачка летелица која може да открива и уништава бродове и друге пловне објекте. У трећој димензији – ваздуху, ефикасан је у борби са брзим и нисколетелим летелицама противника, а посебно када дејствује по крстарећим ракетама, беспилотним летелицама и другим спорим ваздушним циљевима. Наиме, познато је да брзи борбени авиони не могу ефикасно да дејствују по спорим и летелицама које ниско лете. Употребљив је дању и ноћу, као и у свим метеоролошким условима.



*Хеликоптер Ми-28Н „ноћни ловац” у парадној формацији*

© Fotohost-agents

Бројни модели хеликоптера летели су московским небом, а међу њима и ударни хеликоптер Ка-52 „алигатор“, који се у својој класи сматра најбољим на свету. По први пут над Црвеним тргом летела је и формација ударно-транспортних хеликоптера Ми-35М.

Аналитичари у својим утисцима и коментарима о паради закључују да се руска војска осавремењава убрзано, са тежиштем на копненим оружаним снагама. Поред пројекта руског војника будућности „Ратник“, тежиште је на промени концепта употребе и развоја оклопно-механизованих борбених средстава. Јединствена оцена јесте да је наоружавање и опремање руске војске усклађено са најновијим техничко-технолошким сазнањима, дOMETИМА светске науке у бројним областима, убрзаним развојем информатичко-комуникационих технологија, роботике и других сродних дисциплина. Многи коментатори су истакли да нова серија руских оклопних возила представља највећу промену у породици оклопних возила у земљи још од 70-их година прошлог века. Неки чак указују и на револуцију у примени нових технологија, која се заснива на модуларном принципу да се једна шасија може унифицирано користити за производњу више од двадесет борбених возила.



*Ваздухопловни ешалон над куполама цркве Св. Василија на Црвеном тргу*

Такође, истиче се примена нових концепата активне и реактивне противоклопне и противминске заштите. Тежиште је и на, како то у западној терминологији знају да кажу, изменама „дизајна“, који подразумева нову филозофију примене борбене технике у ратном окружењу, чије су основе боља заштита људи, већа покретљивост, квалитетнији оклоп и заштита, односно увећано преживљавање људи и технике у сложеним оружаним сукобима. Поред тога, нову филозофију карактерише и увећана аутоматизација и роботизација борбених система и њихово умрежавање у дигитализовану мрежу управљања, руковођења и командовања. У том контексту војни аналитичари и стручњаци за оружје и војну технику истакли су детаље за свако ново борбено средство и возило, представљено на паради, од даљински управљане борбене станице, преко новог распореда подсистема на борбеним возилима, до аутономних заштитних и активних система, који пружају увећану и хоризонталну и вертикалну заштиту. Осврти указују и на нов концепт сензора на борбеним и другим возилима, који се из авијације постепено претаче и у копнену војску. Та чињеница указује на то да се одвија и боља комуникација међу инжењерима и осталим конструкторима руских борбених система, односно наоружања и опреме. Сензори су тако постављени да покривају простор од 180 до 360 степени око возила.

И сама конструкција подвоза, као и погонских агрегата за нову генерацију борбених возила, представља значајан напредак у усавршавању борбене технике, што обезбеђује и већу покретљивост и борбену издржљивост у борбеном простору.

Наглашено је, такође, да је снажан замах унапређивању и осавремењавању руских оружаних снага дала и нова војна доктрина из децембра 2014. године.

Несумњиво је да овогодишња парада у Москви открива тежиште усавршавања и унапређивања копнених снага, где је борбена техника почела да застарева. У том контексту остала борбена техника, од морнарице и авијације до ракетно-космичке, већ је значајно осавремењена. Ако у том светлу покушавамо сагледати шта је заједничко за целокупни војни потенцијал Русије, који је у великом делу представљен на свих 28 парада, онда је то, најпре, закључак да је та борбена снага оспособљена да ратује у свих пет димензија. С друге стране, усавршавање и убрзани развој копнених снага, односно борбене технике и пратеће опреме, указује на њихову квалификованију и квалитетнију способност употребе у ваздушно-копненој бици. То је нов квалитет који су неки аналитичари уочили, анализирајући шта све може да се закључи из арсенала представљеног на овогодишњој паради.

Наравно, аналитичари повезују тренд осавремењавања руског борбеног потенцијала са повећањима буџетских средстава за трошкове одбране. Наглашава се да је од 2012. године Русија планирала, само за одбрамбени научноистраживачки и произвођачки сектор, 20 милијарди рубаља (приближно 310 милијарди евра), до 2025. године. Од тога ће 3 милијарде рубаља бити уложено само у модернизацију одбрамбене индустрије. Од тога, у 2015. години, Русија планира да уложи 1,74 милијарди рубаља (30 милијарди евра) на ново наоружање, технику, аутоматизацију и роботизацију, а то

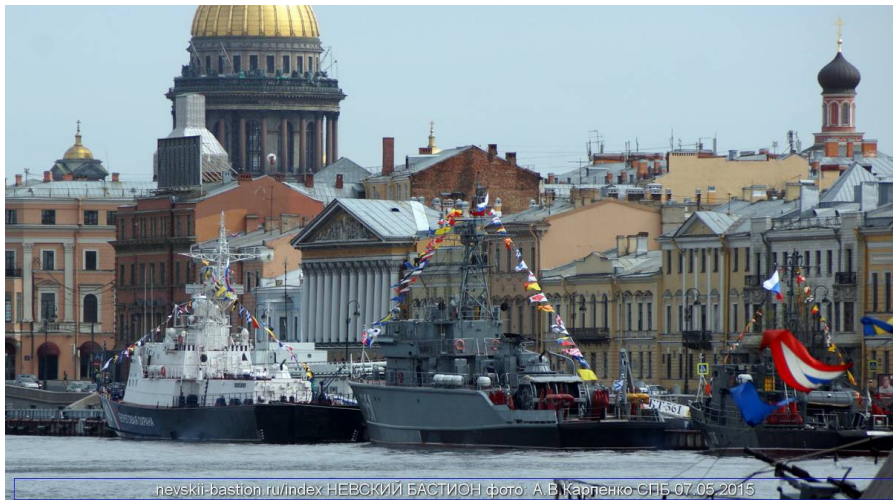
је више од половине њеног буџета за народну одбрану, који износи 3,3 трилиона рубаља (50,7 милијарди евра)<sup>33</sup>.

У студији „Одбора за науку и технологију Парламентарне скупштине НАТО”, која сагледава могућности и домете руске војне модернизације (од 24. марта 2015), сагледано је колико ће та земља моћи да уложи у све компоненте свог одбрамбеног система: модернизацију нуклеарних капацитета, копнених снага, ратне морнарице, ваздухопловних и противваздушних система, као и у своје способности за сајбер одбрану.

Ако имамо у виду модернизацију у копненим снагама, која обухвата организационе промене, професионализацију, и увођење у наоружање 233 нова оклопна борбена возила и надоградњу 143 тенка Т-72Б3, заједно са 36 самоходних хаубица и више од 700 нових возила, онда је то податак који указује на димензије иновативних промена. Већи контингент приказан на Паради победе 9. маја 2015. у Москви указује на то да је темпо осаврењавања војске знатно убрзан.

И, како наглашавају НАТО аналитичари у поменутој студији, то већ обликују будуће способности руских копнених снага у наредним деценијама.

Иако на паради није било већег тежишта на новој генерацији личног наоружања и опреме за војника, познатог као пројект „Ратник”, сваком посматрачу запало је за око да се и тај програм убрзано реализује, како би се побољшала лична опрема војника, постигао виши степен заштите, издржљивост у борбеном простору, па чак и систем снабдевања енергијом. Поред нове заштитне опреме, наоружања, муниције и других компоненти, савремени руски војник ће у периоду 2025–2030. године постати потпуно равноправан сваком западном војнику опремљеном усавршеним наоружањем и војном опремом.



*Парадна поворка руских ратних бродова у Санкт Петербургу*

<sup>33</sup> NATO Parliamentary Assembly, SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE: RUSSIAN MILITARY MODERNIZATION - 064 STC 15 E, Stephen GILBERT (United Kingdom) General Rapporteur [www.nato-pa.int](http://www.nato-pa.int), 24 March 2015

Иако на паради у Москви нису приказана пловна борбена средства, она су била веома видљива на неколико парада у поморским градовима. Руска морнарица унапређује и развија пловна борбена средства у неколико фаза, у наредних 20 година. Прва фаза је концентрисана на подморнице и траје. Следећа фаза обухватиће мање површинске бродове и повећање амфибијских могућности за поморску пешадију. Модернизација крстарица и разарача неће почети пре 2020. године. И даље ће њена сврха бити стратешко одвраћање, одбрана приморја, заштита поморских комуникација и простора расподељивања поморских капацитета. Подморнице остају и даље важан део нуклеарних снага. Треба имати у виду и то да је Русија повећала средства за морнарицу, развој и изградњу нових подморница, тако да су 2014. године Руској морнарици предате три нове подморнице, од којих једна носи интерконтиненталне балистичке ракете са нуклеарним пуњењем. Изградња нових подморница почиње и 2016, а трајаће до 2035. године.

Не улазећи у даље пројекте Ратне морнарице, јасно је да тај сегмент одбране такође следи тренд усавршавања и увођења нових борбених средстава у употребу.

Несумњиво је да анализа Параде победе 2015. године у Москви даје довољно основа да се процени борбена способност и квалитет наоружања и опреме у Руској војсци за наредних двадесетак и више година. Упоредивање онога што је виђено на паради 2015. године, са изјавама најодговорнијих личности у војсци, укључујући и изјаве самог председника Путина, показују да нема много раскорака између онога што је постигнуто и онога што је речено. По аналогији, може се закључити и да су планови развоја засновани на добрим темељима и да су избалансиран према стварним могућностима.

#### Учешће Војске Србије

Ешалон Војске Србије који је 9. маја учествовао на војној паради у Москви сачињавало је 75 наших официра и војника. У њему су била 72 припадника Гарде и по један представник авијације и ПВО, Копнене војске и Команде за обуку. Наш ешелон марширао је Црвеним тргом у свечаним плавим униформама, а војници су током дефилеа носили полуаутоматске пушке М-55/66. Нашу јединицу предводио је командант Гардијског батаљона потпуковник Владимир Вукајловић. Наш ешалон прошао је поред бине после руске војске, у групи гостујућих оружаних снага.

Учествовати на паради у Москви, поводом дана победе, по први пут, за нашу земљу је била велика част. Иако је Југославија годинама била позната као чланица антихитлеровске коалиције, ове године српска војска учествовала је као једини представник војних снага из бивше СФРЈ. Логика тог учествовања указује да није најбитнија чињеница то што је Србија у Другом светском рату била опредељена за борбу против фашизма, што је за слободу погинуло више од милион и седамсто хиљада људи са простора претходне Југославије (највише припадника српског народа), већ и то да је наша земља и данас доследна својим опредељењима да се не сме дозволити да се повампирени фашизам појави поново на светској сцени и запрети већом и трагичнијом опасношћу. Југославија је била једина земља у поробљеној Европи у којој је од почетка до краја рата постојала

слободна територија. Антифашистичке јединице НОВЈ и јединице Југословенске војске у отаџбини, под командом генерала Драже Михаиловића, бориле су се против окупатора и квислинга без директног ослонаца на војне снаге и фронтове које су држали СССР, Велика Британија и САД. Рат на нашим просторима започет је са потпуно неравноправним односом снага у живој сили и у техници. За слом фашизма и нацизма српски народ поднео је огромне жртве, дајући са своја два антифашистичка покрета (комунистичким и монархистичким), пуни допринос савезничкој победи над фашизмом у Другом светском рату. У том смислу, председник Руске Федерације Владимир Путин је у свом говору на паради, захваливши свим земљама које су се против Сила осовине херојски бориле у Другом светском рату, посебно истакао „храбар и херојски отпор Срба“, најавивши како ће Црвеним тргом, поред других страних ешелона, промарширати и Војска Србије.



*Гардисти Војске Србије на паради у Москви (Фото Бета)*

Ове речи председника Путина и позив српској војсци да учествује на паради треба схватити и у контексту актуелног споразума о стратешком партнерству Руске Федерације и Републике Србије.

На свечаној трибини били су државни представници из 27 земаља, међу којима и председник Србије Томислав Николић, председник Републике Српске Милорад Додик, председник Кине Си Ђинпинг, председник Кубе Раул Кастро, председник Венецуеле Николас Мадуро и други.

### Нови тенк „армата”

Велико интересовање свеукупне јавности за нови руски тенк изазвало је његово представљање на сајту Руског министарство одбране месец дана пре параде. На генералној проби његова купола била је прекривена а видљива је била само основна платформа са гусеницама. Представљен је као јединствена (вишенаменска) платформа тешког тенка (Унифицированная тяжелая платформа шифра „Армата” - индекс ГБТУ – објект 198).

Тенк „армата” прво је оклопно борбено возило које има унутрашњу „капсулу” у којој је смештена трочлана посада и куполу на даљинско управљање са аутоматским системом пуњења оружја. Наоружан је топом који има цев калибра 125 мм, а може да испали гранате и ракете са навођењем. Заштита посаде много је боља него код постојећих тенкова, која је смештена у ојачаној кабини, даље од главне цеви. Наглашено је да тај тенк може да буде унапређен у „потпуно функционално роботско борбено возило”. Његова компјутерска технологија, брзина и способност маневрисања, супериорнији су од тенка Т-90. Штампана је нагласила да је тенк „армата” испред западне конкуренције, те да Министарство одбране планира да уведе 2.300 тенкова тог модела у наоружање оклопних јединица од 2020. године, који би заменили тенкове из совјетске ере.



*Русија је приказала први пут у јавности тенк нове генерације „армата Т-14”*



Joш пре него што је светска јавност сазнала за нови руски тенк, нагађало се о његовим особинама, концепцији и борбеним могућностима. „Армата” је, као изазов за аналитичаре окупирао многе водеће часописе о наоружању и војној опреми. Коришћени су бројни извори да се дође до конкретних података, при чему су и обавештајци били ангажовани да прикупе чињенице како би се сагледале његове борбене и маневарске могућности и проценило колико се тај тенк разликује од нових западних модела. Тако је часопис „Defence Update” објавио прелиминарну анализу новог руског тенка „армата”, као и борбеног возила „курганец” са истом возном платформом, сачињеном на основу прикупљених фотографија пре 9. маја 2015. године<sup>34</sup>.



Борбено возило пешадије „курганец“ на шасији тенка Т-14 „армата“

Борбени тенк Т-14 „армата” (Армата – основной боевой танк Т-14) и оклопно пешадијско борбено возило Т-15 (боевая машина пехоты Т-15) два су представника породице тешких оклопних возила на возној платформи „армата” развијених у Русији у протеклој деценији. Њима се предвиђа замена оклопних возила Т-72, БМП-2 и МТ-ЛБ у руској војсци. Платформа са гусеницама ова два борбена возила представљаће основу за унапређење других верзија, као што су инжењерска и противминска возила (бронированная инженерно-саперная машина – БРЕМ) и возила за пренос мостова (мостоукладчиков – МТУ). Разматра се и могућност да се на њих постави серија аутоматских топова и ракета (на модел „терминатор” – Терминатор), термобарична ракета (термобарическая ракета – ТОС), односно самоходни

<sup>34</sup> [http://defense-update.com/20150424\\_armata\\_2015.html?utm\\_source=Subscribers&utm\\_campaign=688451089b-Daily\\_News10\\_5\\_2014&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_3e00b99948-688451089b-165224497#.VVDoexeVn0w](http://defense-update.com/20150424_armata_2015.html?utm_source=Subscribers&utm_campaign=688451089b-Daily_News10_5_2014&utm_medium=email&utm_term=0_3e00b99948-688451089b-165224497#.VVDoexeVn0w)

топ (возило са називом „коалиција”- Коалиция) и да буду израђена у варијанти оклопног возила са покретном радионицом (бронированная ремонтно-эвакуационная машина – АРВ)<sup>35</sup>.

Аналитичари овог часописа су запазили да је чак 24 возила припремљених за параду 9. маја у Москви, засновано на платформи „армата”, узевши у обзир податак да је Руско министарство одбране расписало тендер у новембру 2014. године за њихову производњу. Иако тенк и оклопни транспортер имају различите конфигурације, такође поседују више заједничких подсистема. Ови заједнички елементи обједињују систем амортизације, погонску групу, гусенице, као и делове оклопа и активних система заштите. Оба возила користе седам торзионих вешања са амортизерима за точкове на којима се налазе гусенице.

Оно што се разликује јесу нишански електрооптички системи, који су специјално прилагођени за сваки систем наоружања. Распоред седишта посаде је, такође, различит.

Тенк Т-14 има три члана посаде, који седе у посебном одељку (купола – капсула за посаду); са десне стране топа је командир тенка, нешто мало позади је нишанџија, а са леве стране возач. Командир тенка има на поклопцу (капку) куполе два перископска система за осматрање. Возач на левој страни има капак са три перископска системима за осматрање и вожњу које користи кад је купола затворена.



*Пресек тенка „армата” са распоредом посаде*

У оклопном транспортеру Т-15 посада је у другачијем распореду. Командир тенка је у десној куполи, возач у левој и нишанџија иза возача. Купола мора бити окренута бочно, како би нишанџија могао да отвори поклопац. У хитним случајевима нишанџија може да изађе на возачева отвор. У путнички простор Т-15 може да стане један пешадијски вод. Ово возило разликује се од БМП-2 пошто војници немају перископ, отворе за дејство из пешадијског

<sup>35</sup> Ознаке писане великим словима су из западне штампе.

наоружања ни индивидуалне отворе за осматрање. То ће, највероватније, бити решено дигиталним монитором у простору за превоз, на што указује постављање камера на бокове и предњу страну возила. Са камера на предњем делу и боковима возила командир има целовит преглед окружења.

Још од руских тенкова Т-64/Т-80/Т-72/Т-90 муниција се налази испод куполе у обртном транспортеру аутопуњача. Посада је одвојена од наоружања и муниције. Нишанција и командир практично седе на обртном транспортеру. Остатак борбеног комплета који се не налази у аутопуњачу смештен је у неколико одељака борбеног одељења у телу (шасији) тенка. Оба возила поседују даљинску контролу система за пуњење оружја у куполи (тзв. аутопуњач).

#### Оклоп и сензорски системи

Оклоп на Т-14 и Т-15 заснива се на јединственом концепту и састоји се од челика, хибридног и реактивног оклопа, предњег система за противминску заштиту и за гусенице. Назива се двоструки активни заштитни систем (*двойная система активной защиты*)<sup>36</sup>. Он је, у ствари, конфигуриран као активни противмински комплет за откривање и активирање мина испред тенка. Монтира се на доњој страни предње ивице возила<sup>37</sup>.

Купола топа има карактеристичан облик испресецаних панела постављених под различитим угловима ради одбијања пројектила противтенковских оруђа и калибара.



*Сензори на тенку „армата“ пружају „хемисферичну“ покривеност, откривајући пројектиле пре него што уђу у зону где могу изазвати разарајуће последице*

PA Photos

<sup>36</sup> Ványa László: IX. Évfolyam 2. szám 2014. június, Российские средства и способы радиоэлектронной борьбы в интересах защиты бронетанковых машин, [http://hadmemok.hu/142\\_32\\_vanya1.pdf](http://hadmemok.hu/142_32_vanya1.pdf)

<sup>37</sup> <http://mixednews.ru/archives/79422>



*Оклопни борбени транспортер Т-15*

На предњој страни налази се топ 125 мм глатког канала, без спрегнутог оружја (иако је у претходној варијанти из 2013. године био уграђен спрегнут топ 30 мм и митраљез 7,62 мм). Топ је другачији од претходних модела који се користе на Т-90 и Т-72. Главна разлика је одсуство евакуатора (одвојен је од простора за посаду тако да није потребно извлачење гасова сагоревања из топа и то не представља проблем за безбедност посаде). На куполу ће се вероватно моћи поставити неки аутоматизовани (роботизовани) оружни систем, као и уређаји за мерење елемената за израчунавање балистичких података. Ту су и системи за праћење метеоролошке ситуације, на задњем делу код Т-15 и на куполи Т-14, којима се прикупљају и други подаци за балистички рачунар.

Код борбеног возила пешадије Т-15 купола такође поседује два активна система заштите, са пет покретних лансирних цеви противракетног оружја „афганит“, уграђених на куполи, и четири противракетна оруђа на ротирајућем постољу, од којих су две лансирне цеви окренуте нагоре. То су и системи који стварају вишеспектралне паре које ометају ракете навођене ласерским снопом. Овај систем блокира инфрацрвено, видљиво светлосно и радарско милиметарско таласно зрачење. Штите возило од 3. и 4. генерације ракета, као што је директан напад ТОВ и Билл, или Бримстоне, ЈАГМ, „копље“ или Спике пројектила, испаљене високом путањом. Ефикасни су и против пројектила који долазе из готово вертикалног смера одозго. Противракетни системи спојени су са сензорима на оружју. На свакој страни куполе налази се по пет канистера „афганит“ система. Куполу спреда штити косина под углом 60 степени са сваке стране. Када сензори открију да претња долази са стране или позади, купола ће аутоматски усмерити противракетни систем ка претњи, активирајући пројектиле са вишеспектралном паром. На Т-15 може да се користи и пет цеви на обе стране возила, које покривају опасности које долазе с предње стране.

На телу шасије налазе се тзв. експлозивни екрани, односно активни оклоп нове генерације. „Афганит” систем дејствује на долазеће пројектиле на одређеној удаљености од возила, а активни оклоп спречава пробијање оклопа. Сваки противракетни уређај има своје сензоре, на обе стране куполе, покривајући задњи и предњи квадран, лево и десно. На сваком возилу Т-14 и Т-15 постоје четири таква сензора. Они пружају „хемисферичну” (вишесферну) покривеност, откривајући пројектиле пре него што уђу зону где могу изазвати разарајуће последице. Указује се на могућност да су ови сензори развијени из технологије АЕСА радара примењене на авиону стелт конфигурације сухој Т-50.

На куполи тенка Т-14 постоји и ротирајуће постоље, где се поставља бацач граната са 12 пуњења. Намењен је за непосредну одбрану тенка у случају приближавања пешадије на одстојање на којем се могу применити противтенковска средства за непосредно дејство.

Оба возила имају исто вешање и погонски систем. Међутим, распоред тих система је другачији. Шасија има по седам точкова, вешање на четири тачке и челичне гусенице. Тенк Т-14 има мотор монтиран у задњем одељку. Таква конфигурација омогућује да се систем наоружања налази у центру платформе, а посада напред, што обезбеђује најбољу видљивост. Борбено возило пешадије Т-15 има мотор напред, са ланчаник вучом, али се погонски точак налази у задњем делу. Концепт омогућава да се позади налази простор за превоз војника, а омогућава извесну заштиту предњег дела.

Мотор са доводом ваздуха за хлађење и издувни делови захтевају посебне адаптације оклопа.



*Борбено возило „курганец-25”*

Борбено возило „курганец-25” има куполу са топом 30 мм, са којим је спрегнут митраљез 7.62 мм. Борбени комплет тог топа је 500 пројектила. Са сваке стране куполе налазе се по два противавионска пројектила „корнет”, два система за контролу ватре, интегрисани електро-оптички нишани, ласерски даљиномер и систем ласерског навођења за пројектиле „корнет”. Два система су у балистичким заштићеним модулима.

Митраљез 7.62 мм постављен је као оружана станица са аутоматизованим (роботизованим) даљинским управљањем. У свету се овакве верзије роботизоване, односно аутоматизоване оружане борбене станице све више развијају и усавршавају. Показало се да смањују број посаде у тенку, а способне су да самостално откривају противничка борбена средства и пешадију ван тенка, процењују који је циљ опаснији и самостално делују. Руски аутоматизовани борбени систем је интегрисан са независним, панорамским уређајем за осматрање и нишањење испред командира возила. Компоненте за управљање топом су у заштићеном делу са десне стране топа, а омогућавају нишанџији и командиру возила да дејствују по различитим метама.

Постоје варијанте да се купола изради и у алтернативној верзији са додатним оружјем. Додатни оружани системи сада могу да се поставе изнад топа.

#### Погонски систем

Тенк, односно носећу платформу система „армата”, покреће клипни четворотактни 12-цилиндрични турбо-дизел мотор 85-3А (понекад се назива 2А12-3, 12ЦХН15 / 16 или 12Н360) од 1.200 КС (Дизельный четырехтактный, Х – образный, 12 –цилиндровый двигатель 12Н360). Маса мотора је 5 тона, а његов животни век је најмање 2000 часова. Постоје варијанте да се угради и мотор од 1500 КС, што би знатно повећало животни век тенка. Мотор је произведен још 2011. године, у погонима фабрике „Трансдизел” у Чельабинску, када је и тестиран. Хлади се ваздухом<sup>38</sup>.



*Клипни четворотактни 12-цилиндрични турбо-дизел мотор 85-3А тенка „армата”*

<sup>38</sup> Извор: <http://chtz-uraltrac.ru/>

ТЕХНИЧКЕ ОСОБИНЕ МОТОРА 12Н360	
Тип мотора	12-цилиндрична турбо-гасна турбина, ваздушно хлађење
Карбуратор систем	директно убризгавање
Снага мотора без икаквог отпора на улазу и излазу, кВ (КС)	1103 (1500)
Ротација фреквенција, С-1 (об/мин)	33.3 (2000)
Обртни момент маргина, %	25
Специфична потрошња горива, g/kV-h (G/KS-H)	217.9 (160)
Вес, кг	1550
Специфична снага, kV/kg (KS/kg)	0,74 (1,0)
Укупна производња у kV/kg (HP/kg)	1026 (1395)
Специфична тежина, kg/kV	1,32
Дужина, мм	813
Ширина, мм	1300
Висина, мм	820

Нова руска оклопна техника, приказана на Паради победе на Црвеном тргу, тенк „армата“, оклопни транспортер „кургањец“ и „бумеранг“, као и оклопни аутомобили „тајфун“ – поседују најсавременију опрему за „умрежено ратовање“<sup>39</sup>. Наглашава се да та опрема посадама омогућава да сагледавају ситуацију на војишту у реалном времену и да координирају своја дејства не само са командним местом, већ и са другим борбеним јединицама у захвату фронта и по дубини борбеног простора. У те сврхе, већ дуже време, у руским индустријским и истраживачко-развојним институтима развија се јединствен

<sup>39</sup> Председник Академије за геополитичке проблеме, пуковник Константин Сивков: Руски супертенкови за „умрежено ратовање“, Свијет, Вијести, <http://bigportal.ba/ruski-supertenkovi-za-umrezeno-ratovanje/>

систему аутоматизованог управљања бојевим дејствима. То омогућава визуализацију података, а висок ниво аутоматизације знатно поједностављује доношење одлука и издавања команди у реалних борбеним условима. Другим речима, умрежени тенк у онлајн режиму добија обавештајне и извиђачке податке из различитих извора. Сви ти подаци стижу посади на дисплеје и мониторе. Таква аутоматизована технологија обезбеђује да борбени системи верно представе целокупну ситуацију, откривене и потенцијалне противничке циљеве, класификују их и убрзавају доношење одлука, односно веома брзо преносе команде за отварање ватре по тим циљевима. То је пресудно у савременим дејствима оклопно-механизованих снага. Том технологијом уграђеном у савремене руске тенкове и оклопна борбена возила, време реакције посада и система на промене борбене ситуације, постало је приближно исто као и код немачких и америчких тенкова. То време износи 3-4 секунде, а код претходне генерације оклопних борбених возила износило је 5-6 секунди. Код тенкова „армата“ време реаговања може се поредити са стандардом за најбоље америчке тенкове. Међутим, руска оклопна борбена возила задржала су и сва својства ручног управљања уколико савремена дигитализована и аутоматизована технологија буде блокирана.

#### Корнет-Е

Оклопна борбена возила на овогодишњој паради била су опремљена противтенковским ракетним системом „корнет-Е“ (ПТРК „корнет“), намењеним за уништавање оклопних возила и утврђења. Међутим, овим системом може се спречити противнички ракетни напад и дејствовати на циљеве у ваздушном простору. Нови модели представљају трећу генерацију паметних ракета. Ефикасно делује на даљинама до 6 км. Постављено је као основно оружје на оклопном возилу „тигар“, а састоји се од тандема лансера са по две или четири ракетне цеви бацача са сваке стране нишанског комплета. У цевима лансера (контејнерима) налазе се четири пројектила. Користе се ракете: 9М133ФМ-3, и 9М133ФМ 9М133М-2. Ракета 3-9М133ФМ има експлозивну бојеву главу која може да се употреби на даљини до 10 км. Ракете 9М113ФМ 9М133М-2 имају термобаричну и топлотну бојеву главу. Њихов домет је 8 км. Ракете сва три типа контролишу се ласерским снопом. Нишански систем је аутоматизован и усмерава снап према циљу, а глава за навођење држи ракету у курсу.

На паради су представљени прототипови најновијих система овог оружја.

Међу подацима који прате нову генерацију руских оклопних борбених возила наглашава се и то да је дејство топом код америчких и немачких тенкова успешно на растојањима до 3,5 километара. „Армата“ ће бити успешна и на удаљеностима преко 3,5 километара.

*Никола М. Остојић (Nikola M. Ostojić), e-mail: nikolaos@sbb.rs*  
*Небојша Н. Гаћеша (Nebojša N. Gaćeša), e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs*



**ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА**  
**CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS**  
**ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ**

**ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА О НАЧИНУ ПРИПРЕМЕ ЧЛАНКА**

Упутство ауторима о начину припреме чланка за објављивање у *Војнотехничком гласнику* урађено је на основу Акта о уређивању научних часописа, Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, евиденциони број 110-00-17/2009-01, од 09. 07. 2009. године. Примена овог Акта првенствено служи унапређењу квалитета домаћих часописа и њиховог потпунијег укључивања у међународни систем размене научних информација. Засновано је на међународним стандардима ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 и ISO 5122, односно одговарајућим домаћим стандардима.

**Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier** (втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – штампано издање, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) јесте мултидисциплинарни научни часопис Министарства одбране Републике Србије, који објављује научне и стручне чланке, као и техничке информације о савременим системима наоружања и савременим војним технологијама. Часопис прати јединствену интервидовску техничку подршку Војске на принципу логистичке системске подршке, области основних, примењених и развојних истраживања, као и производњу и употребу средстава наоружања и војне опреме, и остала теоријска и практична достигнућа која доприносе усавршавању припадника Министарства одбране и Војске Србије.

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, сагласно одлуци из члана 27. став 1. тачка 4), а по прибављеном мишљењу из члана 25. став 1. тачка 5) Закона о научноистраживачкој делатности („Службени гласник РС“, бр. 110/05, 50/06-испр. и 18/10), утврдило је категоризацију Војнотехничког гласника, за 2013. годину:

за област технолошког развој:

– **на листи часописа за материјале и хемијске технологије:**

категирија водећи научни часопис националног значаја (**M51**),

– **на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:**

категирија научни часопис националног значаја (**M52**),

– **на листи часописа за машинство:**

категирија научни часопис националног значаја (**M52**),

за област основна истраживања:

– **на листи часописа за математику, рачунарске науке и механику:**

категирија научни часопис националног значаја (**M52**).

Усвојене листе домаћих часописа за 2013. годину могу се видети на сајту Војнотехничког гласника, страница Категоризација часописа.

Детаљније информације могу се пронаћи и на сајту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Подаци о категоризацији могу се пратити и на сајту КОБСОН-а (Конзорцијум библиотека Србије за обједињену набавку).

Категоризација часописа извршена је према Правилнику о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је прописао Национални савет за научни и технолошки развој (Службени гласник РС, број 38/2008).

У складу са овим правилником и табелом о врсти и квантификацији индивидуалних научноистраживачких резултата (у саставу Правилника), објављени рад у Војнотехничком гласнику вреднује се са 2 бода (категирија M51) и 1,5 бод (категирија M52).

Часопис се прати у контексту Српског цитатног индекса – СЦиндекс (база података домаћих научних часописа) и Руског индекса научног цитирања (РИНЦ). Подвргнут је сталном вредновању (мониторингу) у зависности од утицајности (импакта) у самим базама и, посредно, у међународним (Thompson Reuters) цитатним индексима. Детаљи о индексирању могу се видети на сајту Војнотехничког гласника, страница Индексирање часописа.

Радови се предају путем онлајн система за електронско уређивање ASEESTANT, који је развио Центар за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН).

Приступ и регистрација за сервис врше се на сајту [www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs), преко странице ASEESTANT или СЦИНДЕКС, односно директно на линку [aseestant.ceon.rs/index.php/vtg](http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

Детаљно упутство о регистрацији и пријави за сервис налази се на сајту [www.vtg.mod.gov.rs](http://www.vtg.mod.gov.rs), страница Упутство за е-Ур: Електронско уређивање – ASEESTANT.

Војнотехнички гласник објављује чланке на српском, енглеском, руском, немачком или француском језику (arial, српска ћирилица или српска латиница, величина слова 11 pt, проред Single).

Чланак треба да буде написан у складу са **Изјавом о етичком поступању** (<http://www.vtg.mod.gov.rs/izjava-o-etickom-postupanju.html>).

Чланак треба да садржи сажетак са кључним речима, увод, разраду, закључак, литературу и резиме са кључним речима на енглеском језику (без нумерације наслова и поднаслова). Обим чланка треба да буде око једног ауторског табака (16 страница формата А4 са проредом Single), а највише 24 странице.

Чланак треба да буде написан на обрасцу за писање чланка, који се у електронској форми може преузети са сајта на страници Образац за писање чланка.

#### **Наслов**

Наслов треба да одражава тему чланка. У интересу је часописа и аутора да се користе речи прикладне за индексирање и претраживање. Ако таквих речи нема у наслову, пожељно је да се придода и поднаслов. Наслов треба да буде преведен и на енглески језик.

Ови наслови исписују се испред сажетка на одговарајућем језику.

#### **Текући наслов**

Текући наслов се исписује са стране сваке странице чланка ради лакше идентификације, посебно копија чланака у електронском облику. Садржи презиме и иницијал имена аутора (ако аутора има више, преостали се означавају са „et al.“ или „и др.“), наслове рада и часописа и колацију (година, волумен, свеска, почетна и завршна страница). Наслови часописа и чланка могу се дати у скраћеном облику.

#### **Име аутора**

Наводи се пуно име и презиме (свих) аутора. Веома је пожељно да се наведу и средња слова аутора. Имена и презимена домаћих аутора увек се исписују у оригиналном облику (са српским дијакритичким знаковима), независно од језика на којем је написан рад.

#### **Назив установе аутора (афилијација)**

Наводи се пун (званични) назив и седиште установе у којој је аутор запослен, а евентуално и назив установе у којој је аутор обавио истраживање. У сложеним организацијама наводи се укупна хијерархија (нпр. Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра природно-математичких наука). Бар једна организација у хијерархији мора бити правно лице. Ако аутора има више, а неки потичу из исте установе, мора се, посебним ознакама или на други начин, назначити из које од наведених установа потиче сваки од наведених аутора. Афилијација се исписује непосредно након имена аутора. Функција и звање аутора се не наводе.

**Контакт подаци**

Адреса или е-адреса свих аутора даје се на првој страници чланка.

**Категорија (тип) чланка**

Категоризација чланака обавеза је уредништва и од посебне је важности. Категорију чланка могу предлагати рецензенти и чланови уредништва, односно уредници рубрика, али одговорност за категоризацију сноси искључиво главни уредник.

Чланци у часописима се разврставају у следеће категорије:

Научни чланци:

1. оригиналан научни рад (рад у којем се износе претходно необјављивани резултати сопствених истраживања научним методом);
2. прегледни рад (рад који садржи оригиналан, детаљан и критички приказ истраживачког проблема или подручја у којем је аутор остварио одређени допринос, видљив на основу аутоцитата);
3. кратко или претходно саопштење (оригинални научни рад пуног формата, али мањег обима или прелиминарног карактера);
4. научна критика, односно полемика (расправа на одређену научну тему, заснована искључиво на научној аргументацији) и осврти.

Изузетно, у неким областима, научни рад у часопису може имати облик монографске студије, као и критичког издања научне грађе (историјско-архивске, лексикографске, библиографске, прегледа података и сл.) – дотад непознате или недовољно приступачне за научна истраживања.

Радови класификовани као научни морају имати бар две позитивне рецензије. Списак рецензената Војнотехничког гласника може се видети на страници сајта Списак рецензената.

Ако се у часопису објављују и прилози ваннаучног карактера, научни чланци треба да буду груписани и јасно издвојени у првом делу свеске.

Стручни чланци:

1. стручни рад (прилог у којем се нуде искуства корисна за унапређење професионалне праксе, али која нису нужно заснована на научном методу);
2. информативни прилог (уводник, коментар и сл.);
3. приказ (књиге, рачунарског програма, случаја, научног догађаја, и сл.).

**Језик рада**

Језик рада може бити српски, енглески или други језик који се користи у међународној комуникацији у одређеној научној области (руски, немачки или француски).

Текст мора бити језички и стилски дотеран, систематизован, без скраћеница (осим стандардних). Све физичке величине морају бити изражене у Међународном систему мерних јединица – SI. Редослед образаца (формула) означава се редним бројевима, са десне стране у округлим заградама.

**Сажетак (апстракт) и резиме**

Сажетак (апстракт) јесте кратак информативан приказ садржаја чланка који читаоцу омогућава да брзо и тачно оцени његову релевантност. У интересу је уредништва и аутора да сажетак садржи термине који се често користе за индексирање и претрагу чланака. Саставни делови сажетка су циљ истраживања, методи, резултати и закључак. Сажетак треба да има од 100 до 250 речи и треба да се налази између заглавља (наслов, имена аутора и др.) и кључних речи, након којих следи текст чланка. Ако је рад написан на српском (руском, немачком или француском) језику пожељно је да се, поред сажетка на српском (руском, немачком или француском), даје и сажетак у проширеном облику на енглеском језику – као тзв. резиме (summary). Овакав резиме треба да буде на крају чланка, након одељка Литература. Важно је да резиме буде у структурираном облику, а његова дужина може бити до 1/10

дужине чланка (опширнији је од сажетка са почетка чланка). Почетак овог резимеа може бити преведени сажетак (са почетка чланка), а затим треба да следе преведени главни наслови, поднаслови и основе закључка чланка (литература се не преводи). Потребно је да се у структурираном резимеу преведе и део текста испод наслова и подналова, водећи рачуна да он буде пропорционалан њиховој величини, а да одражава суштину. Након резимеа на енглеском језику (проширеног сажетка) додаје се његов превод на српском, да би редакција извршила проверу и лектуру.

#### **Кључне речи**

Кључне речи су термини или фразе које адекватно представљају садржај чланка за потребе индексирања и претраживања. Треба их додељивати ослањајући се на неки међународни извор (попис, речник или тезаурус) који је најшире прихваћен или унутар дате научне области. За нпр. науку уопште, то је листа кључних речи Web of Science. Број кључних речи не може бити већи од 10, а у интересу је уредништва и аутора да учесталост њихове употребе буде што већа. Кључне речи дају се на језику на којем је написан чланак (сажетак) и на енглеском језику. У чланку се пишу непосредно након сажетка, односно након резимеа.

Систем ASEESTANT у ту сврху користи специјалну алатку KWASS: аутоматско екстраховање кључних речи из дисциплинарних тезауруса/речника по избору и рутине за њихов одабир, тј. прихватање односно одбацивање од стране аутора и/или уредника.

#### **Датум прихватања чланка**

Датум када је уредништво примило чланак, датум када је уредништво коначно прихватило чланак за објављивање, као и датуми када су у међувремену достављене евентуалне исправке рукописа наводе се хронолошким редоследом, на сталном месту, по правилу на крају чланка.

#### **Захвалница**

Назив и број пројекта, односно назив програма у оквиру којег је чланак настао, као и назив институције која је финансирала пројекат или програм, наводи се у посебној напомени на сталном месту, по правилу при дну прве стране чланка.

#### **Претходне верзије рада**

Ако је чланак у претходној верзији био изложен на скупу у виду усменог саопштења (под истим или сличним насловом), податак о томе треба да буде наведен у посебној напомени, по правилу при дну прве стране чланка. Рад који је већ објављен у неком часопису не може се објавити у Војнотехничком гласнику (прештампати), ни под сличним насловом и измењеном облику.

#### **Табеларни и графички прикази**

Пожељно је да наслови свих приказа, а по могућству и текстуални садржај, буду дати двојезично, на језику рада и на енглеском језику.

Табеле се пишу на исти начин као и текст, а означавају се редним бројевима са горње стране. Фотографије и цртежи треба да буду јасни, прегледни и погодни за репродукцију. Цртеже треба радити у програму word или corel. Фотографије и цртеже треба поставити на жељено место у тексту.

#### **Навођење (цитирање) у тексту**

Начин позивања на изворе у оквиру чланка мора бити једнообразан.

Војнотехнички гласник за референцирање (цитирање и навођење литературе) примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). У самом тексту, у обичним заградама, на месту на којем се врши позивање, односно цитирање литературе набројане на крају чланка, обавезно у обичној загради написати презиме цитираног аутора, годину издања публикације из које цитирате и, евентуално, број страница. Нпр. (Petrović, 2012, pp.10–12).

Детаљно упутство о начину цитирања, са примерима, дато је на страници сајта Упутство за Харвардски приручник за стил. Потребно је да се позивање на литературу у тексту уради у складу са поменутиим упутством.

Систем ASEESTANT у сврху контроле навођења (цитирања) у тексту користи специјалну алатку CiteMatcher: откривање изостављених цитата у тексту рада и у попису референци.

#### **Напомене (фусноте)**

Напомене се дају при дну стране на којој се налази текст на који се односе. Могу садржати мање важне детаље, допунска објашњења, назнаке о коришћеним изворима (на пример, научној грађи, приручницима), али не могу бити замена за цитирану литературу.

#### **Листа референци (литература)**

Цитирана литература обухвата, по правилу, библиографске изворе (чланке, монографије и сл.) и даје се искључиво у засебном одељку чланка, у виду листе референци. Референце се не преводе на језик рада и набрајају се у посебном одељку на крају чланка.

Војнотехнички гласник, као начин исписа литературе, примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual).

Литература се обавезно пише на латиничном писму и набраја по абецедном редоследу, наводећи најпре презимена аутора, без нумерације.

Детаљно упутство о начину пописа референци, са примерима, дато је на страници сајта Упутство за Харвардски приручник за стил. Потребно је да се попис литературе на крају чланка уради у складу са поменутиим упутством.

Нестандардно, непотпуно или недоследно навођење литературе у системима вредновања часописа сматра се довољним разлогом за оспоравање научног статуса часописа.

Систем ASEESTANT у сврху контроле правилног исписа листе референци користи специјалну алатку RefFormatter: контрола обликовања референци у складу са Харвардским приручником за стил.

#### **Пропратно писмо**

Поред чланка доставља се пропратно писмо у којем треба истаћи о којој врсти чланка се ради, који су графички прилози (фотографије и цртежи) оригинални, а који позајмљени.

У пропратном писму наводе се и подаци аутора: име, средње слово, презиме, чин, звање, е-маил, адреса послодавца (ВП), кућна адреса, телефон на радном месту и кућни (мобилни) телефон, рачун и назив банке, СО места становања, број личне карте и ЈМБ грађана.

Ако је више аутора чланка, у пропратном писму се наводи појединачни процентуални удео ради обрачуна хонорара.

**Сви радови подлежу стручној рецензији, а објављени радови и стручне рецензије хоноришу се према важећим прописима.**

Адреса редакције:  
Војнотехнички гласник,  
Браће Југовића 19, Дом Војске Србије,  
11000 Београд.  
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Уредник  
Небојша Гаћеша  
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs  
тел.: 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 / Vojnotehnički glasnik** ([www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html](http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html), ВТГ.мо.упр.срб, ISSN 0042-8469 – print issue, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) is a multidisciplinary scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia. It publishes scientific and professional papers as well as technical data about contemporary weapon systems and modern military technologies. Offering a logistic system support, the *Courier* is a part of a unique technical support to the Army services in the field of fundamental, applied and development research. It also deals with production and use of weapons and military equipment as well as with theoretical and practical achievements leading to professional development of the personnel of the Ministry of Defence and the Army of the Republic of Serbia.

Pursuant to the decision given in Article 27, paragraph 1, point 4, and in accordance with the acquired opinion given in Article 25, paragraph 1, point 5 of the Act on Scientific and Research Activities (Official Gazette of the Republic of Serbia, No 110/05, 50/06-cor and 18/10), the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia classified the Military Technical Courier for the year 2013

in the field technological development:

- **on the list of periodicals for materials and chemical technology**, category: leading scientific periodical of national interest (**M51**),
  - **on the list of periodicals for electronics, telecommunications and IT**, category: scientific periodical of national interest (**M52**),
  - **on the list of periodicals for mechanical engineering**, category: scientific periodical of national interest (**M52**),
- in the field fundamental research:
- **on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics**, category: scientific periodical of national interest (**M52**).

The approved lists of national periodicals for the year 2013 can be viewed on the website of the Military Technical Courier, page Journal categorization.

More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia.

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition).

The periodical is categorized in compliance with the Regulations on the procedure and method of evaluation and quantitative formulation of scientific and research results of researchers, stipulated by the National Council for Scientific and Technological Development (*Official Gazette of RS*, No 38/2008). More detailed information can be found on the website of the Ministry of Education, Science and Technological Development.

In accordance with the Regulations and the table about types and quantification of individual scientific and research results (as a part of the Regulations), a paper published in the *Military Technical Courier* scores 2 (two) points (category M51) and 1,5 (one and a half) point (category M52).

The journal is in the Serbian Citation Index – SC index (data base of national scientific journals), in the Russian Science Citation Index (RSCI) and is constantly

monitored depending on the impact within the bases themselves and indirectly in the international (e.g. Thompson Reuters) citation indexes. More detailed information can be viewed on the website of the Military Technical Courier, page Journal indexing.

Manuscripts are submitted online, through the electronic editing system ASEESTANT, developed by the Center for Evaluation in Education and Science – CEON.

The access and the registration are through the Military Technical Courier site <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page ASEESTANT or the page SCINDEKS or directly through the link ([aseestant.ceon.rs/index.php/vtg](http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg)).

The detailed instructions about the registration for the service are on the website <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page Instructions for e-Ur: Electronic Editing - ASEESTANT.

The Military Technical Courier publishes articles in Serbian, English, Russian, German or French, using Arial and a font size of 11pt with Single Spacing.

The article should be written in accordance with the **Publication ethics statement** (<http://www.vtg.mod.gov.rs/publication-ethics-statement.html>).

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 website page Article form.

#### **Title**

The title should be informative. It is in both Journal's and author's best interest to use terms suitable for indexing and word search. If there are no such terms in the title, the author is strongly advised to add a subtitle. The title should be given in English as well.

The titles precede the abstract and the summary in an appropriate language.

#### **Letterhead title**

The letterhead title is given at a top of each page for easier identification of article copies in an electronic form in particular. It contains the author's surname and first name initial (for multiple authors add "et al"), article title, journal title and collation (year, volume, issue, first and last page). The journal and article titles can be given in a shortened form.

#### **Author's name**

Full name(s) of author(s) should be used. It is advisable to give the middle initial. Names are given in their original form (with diacritic signs if in Serbian).

#### **Author's affiliation**

The full official name and seat of the author's affiliation is given, possibly with the name of the institution where the research was carried out. For organizations with complex structures, give the whole hierarchy (for example, University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department for Military Electronic Systems). 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 addresses or the e-mail addresses of the authors are given in the first page.

### **Type of articles**

Classification of articles is a duty of the editorial staff and is of special importance. Referees and the members of the editorial staff, or section editors, can propose a category, but the editor-in-chief has the sole responsibility for their classification.

Journal articles are classified as follows:

Scientific articles:

1. Original scientific paper (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);
2. Survey paper (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution visible through his self-citation);
3. Short or preliminary communication (original scientific paper of full format but of a smaller extent or of a preliminary character);
4. Scientific critique or forum (discussion on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and commentaries.

Exceptionally, in particular areas, a scientific paper in the Journal can be in a form of a monograph or a critical edition of scientific data (historical, archival, lexicographic, bibliographic, data survey, etc.) which were unknown or hardly accessible for scientific research.

Papers classified as scientific must have at least two positive reviews.

The list of referees of the Military Technical Courier can be viewed at List of referees.

If the journal contains non-scientific contributions as well, the section with scientific papers should be clearly denoted in the first part of the Journal.

Professional articles:

1. Professional paper (contribution offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);
2. Informative contribution (editorial, commentary, etc.);
3. Review (of a book, software, case study, scientific event, etc.)

### **Language**

The article can be in Serbian, English or other language used in international communication in a particular scientific field (Russian, German or French).

The grammar and style of the article should be of good quality. The systematized text should be without abbreviations (except standard ones). All measurements must be in SI units. The sequence of formulae is denoted in Arabic numerals in parentheses on the right-hand side.

### **Abstract and summary**

An abstract is a concise informative presentation of the article content for fast and accurate evaluation of its relevance. It is both in the Editorial Office's and the author's best interest for an abstract to contain terms often used for indexing and article search. The abstract describes the purpose of the study and the methods, outlines the findings and state the conclusions. A 100- to 250- word abstract should be placed between the



title and the keywords with the body text to follow. Besides an abstract in Serbian (Russian, German or French), articles in Serbian (Russian, German or French) are advised to have a summary in English, at the end of the article, after the Reference list. The summary should be structured and long up to 1/10 of the article length (it is more extensive than the abstract). It can start with the translated Serbian (Russian, German or French) abstract from the beginning of the article with translated main headings, subheadings and major conclusions to follow (Reference list is not translated). The structured summary should also contain the proportional informative parts of the text below the headings and subheadings.

### **Keywords**

Keywords are terms or phrases showing adequately the article content for indexing and search purposes. They should be allocated heaving in mind widely accepted international sources (index, dictionary or thesaurus), such as the Web of Science keyword list for science in general. The higher their usage frequency is, the better. Up to 10 keywords immediately follow the abstract and the summary, in respective languages.

For this purpose, the ASEESTANT system uses a special tool KWASS for the automatic extraction of key words from disciplinary thesauruses/dictionaries by choice and the routine for their selection, i.e. acceptance or rejection by author and/or editor.

### **Article acceptance date**

The date of the reception of the article, the dates of submitted corrections in the manuscript (optional) and the date when the Editorial Board accepted the article for publication are all given in a chronological order at the end of the article.

### **Acknowledgements**

The name and the number of the project or programme within which the article was realised is given in a separate note at the bottom of the first page together with the name of the institution which financially supported the project or programme.

### **Article preliminary version**

If an article preliminary version has appeared previously at a meeting in a form of an oral presentation (under the same or similar title), this should be stated in a separate note at the bottom of the first page. An article published previously cannot be published in the *Military Technical Courier* even under a similar title or in a changed form.

### **Tables and illustrations**

All the captions should be in the original language as well as in English, together with the texts in illustrations if possible. Tables are typed in the same style as the text and are denoted by Arabic numerals at the top. Photographs and drawings, placed appropriately in the text, should be clear, precise and suitable for reproduction. Drawings should be created in Word or Corel.

### **Citation in the text**

Citation in the text must be uniform. The Military Technical Courier applies the Harvard Referencing System given in the Harvard Style Manual. When citing sources within your paper, i.e. for in-text references of the works listed at the end of the paper, place the year of publication of the work in parentheses and optionally the number of the

page(s) after the author's name, e.g. (Petrovic, 2012, pp.10-12). A detailed guide on citing, with examples, can be found on Military Technical Courier website on the page Instructions for Harvard Style Manual. In-text citations should follow its guidelines.

For checking in-text citations, the ASESESTANT system uses a special tool CiteWatcher to find out quotes left out within papers and in reference lists.

### **Footnotes**

Footnotes are given at the bottom of the page with the text they refer to. They can contain less relevant details, additional explanations or used sources (e.g. scientific material, manuals). They cannot replace the cited literature.

### **Reference list (Literature)**

The cited literature encompasses bibliographic sources such as articles and monographs and is given in a separate section in a form of a reference list.

References are not translated to the language of the article.

In compiling the reference list and bibliography, the Military Technical Courier applies the Harvard System – Harvard Style Manual. All bibliography items should be listed alphabetically by author's name, without numeration. A detailed guide for listing references, with examples, can be found on Military Technical Courier website on the page Instructions for Harvard Style Manual. Reference lists at the end of papers should follow its guidelines.

In journal evaluation systems, non-standard, insufficient or inconsequent citation is considered to be a sufficient cause for denying the scientific status to a journal.

### **The covering letter**

The article should be accompanied with a cover letter with the information about the author(s): surname, middle initial, first name, citizen personal number, rank, title, e-mail address, affiliation address, home address including municipality, phone number in the office and at home (or a mobile phone number), bank account and the name of the bank.

If there are more authors, their share in the article should be given in percents for honorarium calculation purposes.

The cover letter should state the type of the article and tell which illustrations are original and which are not.

**All articles are peer reviewed. All authors and reviewers are paid an honorarium on publication of the article.**

Address of the Editorial Office:  
Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,  
Braće Jugovića 19, Dom Vojske Srbije,  
11000 Beograd,  
Republic of Serbia.  
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Editor  
Nebojša Gaćeša  
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs  
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

**ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ О ПОРЯДКЕ ПОДГОТОВКИ СТАТЬИ**

Инструкция для авторов о порядке подготовки статьи к опубликованию в журнале «Военно-технический вестник» разработана в соответствии с Актом о редактировании научных журналов Министерства науки и технологического развития Республики Сербия, № 110-00-17/2009-01 от 09.07.2009 г. Применением этого Акта, в первую очередь, обеспечивается совершенствование качества отечественных журналов и их более полного включения в международную систему обмена научной информацией. Инструкция соответствует международным стандартам ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999, ISO 5122 и соответствующим отечественным стандартам.

**Военно-технический вестник (Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier)**, втг.мо.упр.срб, [www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html](http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html), ISSN 0042-8469 – печатное издание, e-ISSN 2217-4753 – online, UDK 623+355/359, является мультидисциплинарным научным журналом Министерства обороны Республики Сербия, публикующий научные статьи и статьи специалистов, в том числе технические информации относительно современных систем вооружения и современных военных технологиях. Журнал отслеживает за единственной интервидовой технической поддержкой вооруженных сил на принципах логистической поддержки, в области основных применяемых научных исследований, а также в области производства вооружений и военного оборудования и остальных теоретических и практических достижений, содействующих повышению квалификаций персонала Министерства Обороны и Вооруженных сил Республики Сербия.

Министерство образования, науки и технологического развития Республики Сербия, согласно решению по ст. 27 абзац 1, пункт 4 и по полученному толкованию ст. 25 абзац 1 пункт 5 Закона о научно-исследовательской деятельности („Службени гласник РС”, № 110/05, утвердило категоризацию Военно-технического вестника за 2013 год:

Категории в области технологического развития:

– **Область материалов и химической технологии:**

ведущий научный журнал национального значения (**M51**),

– **Область электроники, телекоммуникаций и информационных технологий:** научный журнал национального значения (**M52**),

– **Область механики:**

научный журнал национального значения (**M52**).

Категории в области основных исследований:

– **Область математика, компьютерные науки, технические науки:**

научный журнал национального значения (**M52**).

Информацию относительно категоризации за 2013 год можно посмотреть на странице сайта Военно-технического вестника Категоризация вестника.

Более подробную информацию можно прочитать на сайте Министерства образования, науки и технологического развития Республики Сербия.

Информацию о категоризации можно посмотреть и на сайте КОБСОН-а (Консорциум библиотек Республики Сербия по вопросам объединения закупок).

Категоризация вестника проведена согласно Положению о порядке и способе категоризации научно-исследовательских результатов, утвержденному Национальным комитетом по науке и технологиям (Службени гласник РС, № 38/2008).

В соответствии с вышеуказанным Положением и табличкой с показателями классификации и категоризации индивидуальных научно-исследовательских результатов (являющейся неотъемлемой частью Положения), работа, опубликованная в Военно-техническом вестнике, оценивается следующим способом: 2 балла (категория M51) и 1,5 баллов (категория M52).

Журнал соответствует стандартам Сербского цитатного индекса – SCindeks (база данных отечественных научных журналов), а также Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Журнал постоянно оценивается (мониторинг) в зависимости от численного показателя важности научного журнала в самих базах, в т.ч. опосредованно в международных цитатных индексах (Thompson Reuters).

С информацией об индексировании можно ознакомиться на странице сайта журнала «Индексирование вестника».

Работы представляются путем online системой e-Ур: Электронное издательство ASEESTANT, запущенное Центром поддерживающим развитие образования и науки (ЦЕОН).

Права доступа и регистрация в системе оформляются по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, через страницу «ASEESTANT» или «СЦИНДЕКС» ([aseestant.ceon.rs/index.php/vtg](http://aseestant.ceon.rs/index.php/vtg)).

С инструкцией по регистрации и праву доступа можно ознакомиться по адресу <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>, на странице «Инструкция по e-Ур: Электронное издательство ASEESTANT».

Военно-технический вестник выпускает статьи на сербском, русском, английском, немецком или французском языках (Arial, шрифт 11 pt, пробел Single).

Статья должна быть написана согласно с **Этическим кодексом** (<http://www.vtg.mod.gov.rs/etichyeskiy-kodyeks.html>).

Статья должна содержать сюжет с ключевыми словами, введение, разработку, выводы, список использованной литературы и резюме с ключевыми словами на английском языке (без нумерации заголовков и подзаголовков). Объем статьи не должен превышать один авторский лист (16 страниц формата А4 с пробелом Single).

Статья должна быть написана на образце написания статьи, который можно скачать на странице сайта «Правила и образец составления статьи».

#### **Заголовок**

Заголовок должен отражать тему статьи. Интересы журнала и автора состоят в использовании слов, удобных для индексации и поиска. Если такие слова не содержатся в заголовке, то желательно добавить и подзаголовок. Заголовок должен быть переведен на английский язык. Эти заголовки пишутся перед сюжетами на соответствующем языке.

#### **Текущий заголовок**

Текущий заголовок пишется в титуле каждой страницы статьи с целью упрощения идентификации, в первой очереди копий статьей в электронном виде. Содержит в себе фамилию и инициал имени автора (в случае если авторов несколько, остальные обозначаются с «et al.» или «и др.»), заголовки работы и журнала (год, объем, тетрадь, начальная и заключительная страница). Заголовки журнала и статьи могут приводиться в сокращенном виде.

#### **ФИО автора**

Приводятся полная фамилия и полное имя (всех) авторов. Очень желательно, чтобы были приведены и средние буквы авторов. Фамилия и имя отечественных авторов всегда пишутся в оригинальном виде (с сербскими диакритическими знаками), независимо от языка, на котором работа написана.

#### **Наименование учреждения автора (аффилиация)**

Приводится полное (официальное) наименование и местонахождение учреждения, в котором работает автор, а также наименование учреждения, в котором автор провел исследование. В случае сложных организаций приводится общая иерархия (напр. Университет обороны в г. Белграде, Военная академия, Кафедра военных электронных систем). По крайней мере, одна из этих организаций в иерархии должна иметь статус юридического лица. В случае если авторов несколько, и если некоторые работают в одном учреждении, нужно отдельными обозначениями или каким-нибудь другим способом указать в каком из приведенных учреждений работает каждый из приведенных авторов. Аффилиация пишется непосредственно после ФИО автора. Должность и квалификация по образованию не указываются.

#### **Контактные данные**

Почтовый адрес и/или электронный адрес авторов указываются на первой странице статьи.

### Категория (тип) статьи

Категоризация статей является обязанностью редакции и имеет особое значение. Категорию статьи могут предлагать рецензенты и члены редакции, т.е. редакторы рубрик, но ответственность за категоризацию несет исключительно главный редактор. Статьи в журналах распределяются по следующим категориям:

Научные статьи:

1. оригинальная научная работа (работа, в которой приводятся раньше неопубликованные результаты собственных исследований научным методом);
2. наглядная работа (работа, содержащая оригинальный, детальный и критический обзор исследовательской проблемы или области, в который автор внес определенный вклад, видимый на основе автоцитат);
3. краткая или предварительная информация (оригинальная научная работа полного формата, но меньшего объема или имеющая предварительный характер);
4. научная критика, т.е. полемика (дискуссия на определенную научную тему, обоснованная исключительно на научной аргументации) и беглые обзоры.

Однако, в некоторых областях научная работа в журнале может иметь форму монографической студии, а также критического издания научного материала (историко-архивного, лексикографического, библиографического, обзора данных и т.п.) – до тех пор неизвестного или недостаточно доступного для научных исследований. Работы, классифицированные в качестве научных, должны иметь, по меньшей мере, две положительные рецензии.

Список рецензентов Военно-технического вестника можно посмотреть на странице сайта «Список рецензентов».

В случае если в журнале объявляются и приложения, не имеющие научный характер, научные статьи должны быть сгруппированы и четко выделены в первой части тетради.

Профессиональные статьи:

1. профессиональная работа (приложения, в которых предлагаются опыты, полезные для совершенствования профессиональной практики, но которые не должны в обязательном порядке быть обоснованы на научном методе);
2. информативное приложение (передовая статья, комментарий и т.п.);
3. рецензия (книги, компьютерной программы, случая, научного события и т.п.).

### Язык работы

Работа может быть написана на сербском, английском или другом языке, используемом в международной коммуникации в определенной научной области (русский, немецкий или французский).

Текст должен быть в лингвистическом и стилистическом смысле упорядочен, систематизирован, без сокращений (за исключением стандартных). Все физические величины должны соответствовать Международной системе единиц измерения – СИ. Очередность формул обозначается порядковыми номерами, с правой стороны в круглых скобках.

### Сюжет (абстракт) и резюме

Сюжет (абстракт) является кратким информативным обзором содержания статьи, обеспечивающим читателю быстро и точно оценить его релевантность. В интересах редакции и авторов, чтобы сюжет содержал термины, часто используемые для индексирования и поиска статьей. Составными частями сюжета являются цель исследования, методы и заключение. В сюжете должно быть от 100 до 250 слов, и должен находиться между титулами (заголовков, ФИО авторов и др.) и ключевыми словами, за которыми следует текст статьи. Если работа написана на сербском (русском, немецком или французском) языке, желательно, чтобы кроме сюжета на сербском (русском, немецком или французском) был предоставлен и сюжет в расширенном виде на английском языке – в качестве т.н. резюме (summary). Такой резюме должен находиться в конце статьи, после раздела Литература. Важно, чтобы резюме было в структурированном виде, и его длина

может составлять до 1/10 длины статьи (оно более обширно, чем сюжет из начала статьи). Началом данного резюме может быть переведенный сюжет (из начала статьи), а затем должны следовать переведенные главные заголовки, подзаголовки и основы заключения статьи (литература не переводится). В структурированном резюме нужно перевести часть текста под заголовком и заголовком, принимая во внимание, чтобы она была пропорциональна их размеру и в то же время отражала суть.

#### **Ключевые слова**

Ключевыми словами являются термины или фразы, адекватно представляющие содержание статьи, необходимое для индексирования и поиска. Их надо присуждать, опираясь при этом на какой-то международный источник (регистр, словарь, тезаурус), наиболее приемлемый внутри данной научной области. Число ключевых слов не может превышать 10, а в интересах редакции и авторов, чтобы их частота была как можно больше. Ключевые слова даются на языке, на котором написана статья (сюжет), и на английском языке. В статье они пишутся непосредственно после сюжета, т.е. после резюме.

Программа ASSESTANT предоставляет возможность использования сервиса KWASS: автоматическое фиксирование ключевых слов из источников/словарей по выбору, т.е., которые автор/редактор воспринимает или нет.

#### **Дата получения статьи**

Дата, когда редакция получила статью, дата, когда редакция окончательно приняла статью для опубликования, а также даты, когда за истекший период были предоставлены эвентуальные исправления рукописи, приводятся в хронологическом порядке, на постоянном месте, как правило, в конце статьи.

#### **Выражение благодарности**

Наименование и номер проекта, т.е. название программы, в которой статья возникла, как и наименование учреждения, которое финансировало проект или программу, приводятся в отдельном примечании на постоянном месте, как правило, внизу первой страницы статьи.

#### **Предыдущие версии работы**

В случае если статья в предыдущей версии была изложена в устном обращении (под одинаковым или похожим названием), сведение об этом должно быть указано в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи. Работа, которая уже опубликована в некотором из журналов, не может быть опубликована в Военно-техническом вестнике (перепечатана), ни под похожим названием, ни измененном виде.

#### **Табличное и графическое представление**

Желательно, чтобы названия всех представлений (по возможности и текстуальное содержание) были представлены на двух языках (на языке работы и на английском). Таблицы пишутся таким же способом как и текст и обозначаются порядковыми номерами с верхней стороны. Фотографии и рисунки должны быть понятны, наглядны и удобные для репродукции. Рисунки надо делать в программах Word или corel. Фотографии и рисунки надо поставить на желаемое место в тексте.

#### **Ссылки (цитирование) в тексте**

Оформление ссылок на источники в рамках статьи должно быть однообразным.

Военно-технический вестник для оформления ссылок, цитат и списка использованной литературы пользуется гарвардской системой (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual). В тексте в скобках приводится фамилия цитируемого автора (или фамилия первого автора, если авторов несколько), год издания и по необходимости номер страницы. Например: (Петрович, 2010., pp. 10-20). Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта «Инструкция по использованию Гарвардского

стиля». При оформлении ссылок, цитат и списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм.

Программа ASEESTANT предоставляет при цитировании возможность использования сервиса CiteMatcher: фиксирование пропущенных цитат в работе и списке литературы.

#### **Примечания (сноски)**

Примечания указываются внизу страницы, на которой находится текст, к которым они относятся. Могут содержать менее важные детали, дополнительные объяснения, указания об использованных источниках (напр. научном материале, справочниках), но не могут быть заменой для цитированной литературы.

#### **Лист референций (литература)**

Цитированной литературой охвачены, как правило, библиографические источники (статьи, монографии и т.п.) и она представляется исключительно в отдельном разделе статьи, в виде листа референций. Референции не переводятся на язык работы.

Военно-технический вестник для оформления списка использованной литературы применяет гарвардскую систему (Harvard Style Manual). В списке литературы источники даются в алфавитном порядке авторов или редакторов. Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта «Инструкция по использованию Гарвардского стиля». При оформлении списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм.

Программа ASEESTANT при оформлении списка литературы предоставляет возможность использования сервиса RefFormatter: контроль оформления списка литературы в соответствии со стандартами Гарвардского стиля.

Нестандартное, неполное и непоследовательное приведение литературы в системах оценки журнала считается достаточной причиной для оспаривания научного статуса журнала.

#### **Сопроводительное письмо**

Кроме статьи предоставляется сопроводительное письмо, в котором нужно указать о каком виде статьи речь идет, которые из графических представлений (фотографии и рисунки) оригинальные, а которые взяты взаймы.

В сопроводительном письме приводятся и сведения об авторе: имя, средняя буква, фамилия, чин, звание, e-mail, адрес работодателя (воинская почта), домашний адрес, служебный телефон и личный (мобильный) телефон, счет и наименование банка, муниципалитет места проживания и единый идентификационный номер гражданина.

В случае если авторов статьи несколько, в сопроводительном письме указывается доля участия каждого из них отдельно в процентах, в целях расчета гонорара.

Все работы подлежат спец. рецензированию, в то время как опубликованные работы и спец. рецензии оплачиваются согласно действующему законодательству.

Почтовый адрес редакции:  
«Војнотехнички гласник»,  
11000 Београд,  
Ул. Браће Југовића 19  
E-mail:vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

РЕДАКТОР  
Небойша Гачеша  
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs  
тел: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

## МЕДИЈА ЦЕНТАР „ОДБРАНА“

- Браће Југовића 19, 11000 Београд •
- Телефони: (011) 3201-995 и 23-995 •
- Телефакс: (011) 3241-009 •
- Текући рачун: 840-312849-56 • ПИБ: 102116082 •
- Број потврде о евидентирању за ПДВ: 135328814 •

### ПОЗИВ НА ПРЕТПЛАТУ ЗА ШТАМПАНО ИЗДАЊЕ ЗА 2015. ГОДИНУ

Претплаћујемо се за штампано издање часописа:

	бр. примерака
<b>1. „Војнотехнички гласник“</b>	
Годишња претплата 1.200,00 динара	
Приликом уплате позвати се на број: 54	.....
<b>2. „Нови гласник“</b>	
Годишња претплата 1.800,00 динара	
Приликом уплате позвати се на број: 53	.....
<b>3. „Војно дело“</b>	
Годишња претплата 1.400,00 динара	
Приликом уплате позвати се на број: 51	.....

Претплатне цене важе до 31. 12. 2015. године.

Број примерака издања која се наручују уписати у наруџбеницу, а примерак наруџбенице са доказом о извршеној уплати на горе наведени текући рачун послати на горе наведену адресу.

Купац ..... тел.: .....

Место .....

Улица ..... бр. ....

Потпис наручиоца

М. П. ....



Ликовно-графички уредник  
мр *Небојша* Кујунџић  
е-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Техничко уређење  
*Звезда* Јовановић

Лектор  
*Добрила* Милетић, професор  
е-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

Превод на енглески  
*Јасна* Вишњић, професор  
е-mail: jasnavisnjic@yahoo.com

Превод на руски  
*Карина* Аваџан, професор  
е-mail: karinka@sezampro.rs  
*Оливера* Хајдуковић, професор  
е-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

Превод на немачки  
*Гордана* Богдановић, професор  
е-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Превод на француски  
*Драган* Вучковић  
е-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs

ЦИП – Каталогизација 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:  
Војнотехнички гласник (Online) = ISSN  
2217-4753  
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник  
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динара  
Тираж: 500 примерака

На основу мишљења Министарства за науку, технологију и развој Републике Србије,  
број 413-00-1201/2001-01 од 12. 9. 2001. године,  
часопис „Војнотехнички гласник“ је публикација од посебног интереса за науку.  
УДК: Народна библиотека Србије, Београд

Graphic design editor  
Nebojša Kujundžić MA  
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Copy editing  
Zvezda Jovanović

Proofreader  
Dobriša Miletić BA  
e-mail: dobriša.miletic@mod.gov.rs

English translation and polishing  
Jasna Višnjić BA  
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com

Russian translation and polishing  
Karina Avagyan BA  
e-mail: karinka@sezampro.rs  
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:  
Војнотехнички гласник (Online) = ISSN  
2217-4753  
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник  
COBISS.SR-ID 4423938

Price: 350.00 RSD  
Printed in 500 copies

---

According to the Opinion of the Ministry of Science and Technological Development  
No 413-00-1201/2001-01 of 12<sup>th</sup> September 2001, the *Military Technical Courier* is a  
publication of special interest for science.

UDC: National Library of Serbia, Belgrade

Художественный редактор  
Кандидат наук, Небойша Куюнджич  
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Технический редактор  
*Звезда* Йованович

Лектор и корректор  
*Добрила* Милетич,  
e-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

перевод на английский язык  
*Ясна* Вишнич, переводчик  
e-mail: visnjicjasna@yahoo.com

перевод на русский язык  
*Карина* Авагян, переводчик  
e-mail: karinka@sezampro.rs  
Оливера Хайдукович, переводчик  
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

перевод на немецкий язык  
*Гордана* Богданович, переводчик  
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

перевод на французский язык  
*Драган* Вучкович, переводчик  
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.com

CIP – Каталогизация в публикации  
Национальная библиотека Сербии, Белград

623+355 / 359  
355 / 359

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ вестник: научный журнал  
Министерства обороны Республики Сербия=  
Military Technical Courier : scientific  
periodical of the Ministry of Defence of the  
Republic of Serbia / ответственный редактор  
Небойша Гачеша. - God. 1, br. 1 (1953) –  
Beograd (Braće Jugovića 19) : Ministarstvo  
odbrane Republike Srbije, 1953- (Beograd :  
Vojna štamparija. - 24 cm

Размещено на сайте:  
<http://www.vtg.mod.gov.rs>

Ежеквартально - Другое издание: Военно-технический вестник (Online) = ISSN  
2217-4753  
ISSN 0042-8469 = Военно-технический вестник  
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динаров  
Тираж: 5000 штук

На основании решения Министерства науки и технологий Республики Сербия, №  
413-00-1201/2001-01 от 12. 9. 2001 года, Военно-технический вестник является  
публикацией, имеющей особенное значение для науки.

УДК: Национальная библиотека Сербии, Белград



