

2016

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК



Вол. 64, бр. 1
2016

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
УДК 623 + 355/359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ
ГЛАСНИК
НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ



1 2016 ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК



Том 64 № 1
2016

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
УДК 623 + 355/359

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

2016 MILITARY TECHNICAL COURIER



Vol 64, No 1

2016

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359

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

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359



ВОЛУМЕН 64 • БРОЈ 1 • ЈАНУАР-МАРТ 2016.



VOLUMEN 64 • BROJ 1 • JANUAR-MART 2016.

ВТГ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423939

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2217-4753
UDC 623 + 355/359



ТОМ 64 • НОМЕР ВЫПУСКА 1 • ЯНВАРЬ-МАРТ 2016.



VOLUME 64 • NO 1 • JANUARY-MARCH 2016

ВТГ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423939

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
МЕДИЈА ЦЕНТАР „ОДБРАНА“

Директор
Стевица С. Карапанџин, пуковник

УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ У БЕОГРАДУ

Ректор
Проф. др Младен Вуруна, генерал-мајор, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>

Начелник одсека за издавачку делатност
Драгана Марковић

УРЕДНИК ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА

др Небојша Гаћеша, потпуковник
е-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel.: 011/3349-497, 064/80-80-118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

- генерал-мајор проф. др Бојан Зрнић, начелник Управе за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе Министарства одбране Републике Србије, председник Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
- доц. др Данко Јовановић, генерал-мајор у пензији, заменик председника уређивачког одбора,
- др Стеван М. Беџеб. The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
- научни сарадник др Обрад Чабаркапа, пуковник у пензији, <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>,
- проф. др Владимир Чернов, Владимирски државни универзитет, Владимир, Российская федерация (Vladimir State University, Vladimir, Russian federation), <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
- пуковник ванр. проф. др Горан Дикић, проректор Универзитета одбране, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-0858-1415>,
- проф. др Александар Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина (Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine), <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>,
- проф. др Жељко Ђуровић, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
- проф. др Леонид И. Гречићин, Минский државни 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), <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
- 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, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
- проф. др Мирко Коматина, шеф Катедре за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду,
- научни саветник др Ана Костов, Институт за рударство и металургију, Бор, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
- проф. др Митар Ковач, генерал-мајор у пензији,
- проф. др Бранко Ковачевић, декан Електротехничког факултета Универзитета у Београду, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
- др Василије М. Мановић, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
- проф. др Момчило Милиновић, Катедра за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду, <http://orcid.org/0000-0002-5361-7544>,
- проф. др Градимир В. Миловановић, редовни члан Српске академије наука и уметности, Математички институт САНУ, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
- 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, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>,
- проф. др Славко Покорни, Висока школа за информационе технологије, рачунарски дизајн и савремено пословање, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- пуковник доц. др Стеван Радојчић, начелник Војногеографског института, Београд, <http://orcid.org/0000-0001-7203-0637>,
- пуковник доц. др Зоран Рајић, директор Војнотехничког института, Београд,
- научни саветник др Александар Родић, руковођилац Центра за роботичку Института „Михајло Пупин“, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-5595-9724>,
- проф. др Станко Станић, ректор Универзитета у Бањој Луци, Република Српска, Босна и Херцеговина,
- проф. др Јонел Старету, Transilvania University of Brasov, Romania, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>,
- научни саветник др Срећко С. Стопић, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- проф. др Мирослав Трајановић, шеф Катедре за производно-информационе технологије и менаџмент Машинског факултета Универзитета у Нишу, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
- генерал-мајор проф. др Младен Вуруна, ректор Универзитета одбране у Београду, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
- проф. др Алекса Зејак, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
- потпуковник др Небојша Гаћеша, уредник Војнотехничког гласника, секретар Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.

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

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

Претплата на штампано издање: е-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, Ресавска 40б, е-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs



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, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>

Начальник Управления по делам издательства:

Драгана Маркович

РЕДАКТОР ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА

Кандидат технических наук Небойша Гачеша, подполковник

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, тел.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

СОВЕТ РЕДАКТОРОВ

- Генерал майор профессор д-р Боян Зрнич, начальник Управления оборонительных технологий при Департаменте материальных ресурсов Министерства обороны Республики Сербия, председатель Совета редакторов, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
 - доцент д-р Данко Иованович, 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, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
 - Генерал майор профессор д-р Младен Вуруна, ректор Университета обороны в г. Белграде, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
 - Профессор д-р Леонид Гречихин, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
 - Профессор д-р Александр Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, Харьков, Украина, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>,
 - Полковник доцент д-р Горан Дикич, проректор Университета обороны, г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-0858-1415>,
 - Профессор д-р Желько Джурович, Электротехнический факультет Белградского университета, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
 - Профессор д-р Миодраг Евтич, отставной генерал-майор,
 - Профессор д-р Алекса Зейак, Факультет технических наук Университета в г. Нови Сад, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
 - Профессор д-р Иован Исакович, Военно-технический институт, Белград,
 - Профессор д-р Слободан Йарамаз, начальник Кафедры по военному машиностроению Машиностроительного факультета при Белградском университете,
 - Д-р Вукци М. Иованович, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
 - Профессор д-р Митар Ковач, отставной генерал-майор,
 - Профессор д-р Бранко Ковачевич, декан Электротехнического факультета Белградского университета, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
 - 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, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
 - Д-р Василий М. Манович, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
 - Профессор д-р Момчило Милюнович, Машиностроительный факультет Белградского университета, <http://orcid.org/0000-0002-5361-7544>,
 - Профессор д-р Градимир В. Милованович, член Сербской академии наук, Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
 - 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, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>,
 - Профессор д-р Славко Покорни, Колледж информационных технологий, компьютерного дизайна и современного бизнеса, Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
 - Полковник доцент д-р Стеван Радойич, начальник Военно-географического института, г. Белград, факультета при Белградском университете, <http://orcid.org/0000-0001-7203-0637>,
 - 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, <http://orcid.org/0000-0002-5595-9724>,
 - Профессор д-р Станко Станич, Университет в г. Бая-Лука, Республика Сербская, Босния и Герцеговина,
 - Профессор д-р Йонел Старету, Трансильванский университет в г. Брашов, Румыния, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>,
 - Научный советник д-р Сречко С. Столич, RWTH Aachen University, Faculty for Georesourcen and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
 - Профессор д-р Мирослав Траянович, начальник Кафедры ИТ и менеджмента Машиностроительного факультета в г. Нише, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
 - Научный советник д-р Обрад Чабаркала, отставной полковник, <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>,
 - Профессор д-р Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
 - Подполковник кандидат технических наук Небойша Гачеша, редактор Военно-технического вестника, секретарь Совета редакторов, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>.
- 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://doaj.org/toc/0310c0550a134f2ba6a53e54ab177224>
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs
- Подписка на печатную версию журнала: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs;
тел.-факс: +381 11 3241 009; № расчетного счета: 840-312849-56
- Статьи, присланные редакции журнала не возвращаются
- Журнал 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, Песавска 406, 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, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>

Head of publishing department
Dragana Marković

EDITOR OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Lt Col *Nebojša Gačeša* MSc

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel: +381 11 33 49 497, +381 64 80 80 118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

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), <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>
- 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, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>
- Scientific Advisor *Obrad Čabarkapa*, PhD, retired Colonel, <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>
- Professor *Vladimir Chernov*, DSc, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir State University, Vladimir, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>
- Colonel *Goran Dikić*, PhD, Associate Professor, Proprietor of the University of Defence, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-0858-1415>
- Professor *Aleksandr V. Dorohov*, PhD, Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>
- Professor *Željko Đurović*, PhD, Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>
- Professor *Leonid I. Gretchihin*, PhD, Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus; academician of Academy of Construction of Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>
- 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 Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>
- 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, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>
- Professor *Mitar Kovač*, PhD, retired Major General
- Professor *Branko Kovačević*, PhD, Dean of the Faculty of Electrical Engineering University of Belgrade, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>
- *Vasilije M. Manović*, PhD, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>
- Professor *Momčilo Milinović*, PhD, Weapon Systems Department at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-5361-7544>
- Professor *Gradimir V. Milovanović*, PhD, Member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Mathematical Institute of the SASA, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>
- 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, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>
- Professor *Slavko Pokorni*, PhD, Information Technology School, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- Colonel *Stevan Radojić*, PhD, Assistant Professor, Head of the Military Geographical Institute, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0001-7203-0637>
- Colonel *Zoran Rajić*, PhD, Assistant Professor, Director of the Military Technical Institute, Belgrade
- Scientific Advisor *Aleksandar Rodić*, PhD, Head of the Robotics Laboratory at the Mihajlo Pupin Institute, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-5595-9724>
- Professor *Stanko Stanić*, PhD, University of Banja Luka, Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina
- Professor *Ionel Staretu*, PhD, Transilvania University of Brasov, Romania, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>
- Scientific Advisor *Srećko S. Stojić*, PhD, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Germany, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>,
- Professor *Miroslav Trajanović*, PhD, Head of the Department for Production IT and Management at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>
- Major General *Mladen Vuruna*, PhD, Professor, Rector of the University of Defence in Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>
- Professor *Aleksa Zejak*, PhD, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>
- Lt Colonel *Nebojša Gačeša*, MSc, Editor of the Military Technical Courier (Secretary of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

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

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

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

Manuscripts are not returned

The journal is published quarterly

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

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

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



САДРЖАЈ

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ

<i>Михаило Р. Мрдак</i> Студија примене плазма напрсканих превлака на секцијама турбо-млазног мотора Astazou III B	1–25
<i>Бранка С. Димитријевић, Милош Љ. Николић, Катарина С. Вукадиновић, Ивана П. Вукићевић</i> Лоцирање опасних материја са константним и променљивим радијусима утицаја	26–44
<i>Радомир Р. Ђукић</i> Метод вектора сличности варијаната идеалном решењу	45–74
<i>Снежана М. Драгићевић</i> Примена динамичких симулација у анализи мера за унапређење енергетске ефикасности објеката	75–91
<i>Никола П. Жегарац</i> Искуства у развоју проналаска са аспекта научне верификације и стварања тржишта	92–109

ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ

<i>Милић Р. Милићевић, Влада С. Соколовић, Марјан А. Миленков</i> Ток поправљивих резервних делова у мултишелонском систему снабдевања	110–129
<i>Зоран Ц. Петровић</i> Корозија у ваздухопловним конструкцијама	130–150

СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ

<i>Сергеј А. Аргунов</i> Питања модернизације бродова за примену ултра-прецизног оружја у савременим условима	151–160
<i>Зоран Ђ. Новаковић</i> Аеротунелска испитивања аеродинамичких и балистичких карактеристика противоклопне авио-бомбе	161–175
<i>Ивица С. Стојановић</i> Мерење буке и вибрација у кабини хеликоптера Ми-8	176–195
<i>Миладин З. Живковић, Горан М. Бањац</i> Енергетски потенцијали војних објеката	196–212
<i>Срђан З. Рутић, Дејан Р. Инђић</i> Процена утицаја удеса са опасним материјама на касарну „Цар Лазар“ у Крушевцу	213–235

ИСКУСТВА ИЗ ПРАКСЕ

<i>Ненад В. Ковачевић</i> Организација инжењеријских радова при рушењу деонице пута	236–263
--	---------

САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА

<i>Драган М. Вучковић, Милош М. Јевтић</i>	264–302
ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА	303–317
ОБАВЕШТЕЊЕ САРАДНИЦИМА И ЧИТАОЦИМА	318–318
СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА	319–343
ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ	344–352

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

<i>Михаило Р. Мрдак</i> Исследование по применению плазменного напыления покрытия деталей турбореактивного двигателя Astazou III B	1–25
<i>Бранка С. Димитриевич, Милош Л. Николич, Катарина С. Вукадинович, Ивана П. Вукичевич</i> Размещение опасных материалов с постоянным и переменным радиусом воздействия	26–44
<i>Радомир Р. Джукич</i> Метод вектора сходства вариантов с идеальным решением	45–74
<i>Снежана М. Драгичевич</i> Применение динамического моделирования и анализ мер по повышению энергоэффективности зданий	75–91
<i>Никола П. Жегарац</i> Опыт в развитии изобретательства с аспекта научной верификации и создания рынка	92–109

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

<i>Милич Р. Миличевич, Влада С. Соколович, Марьян А. Миленков</i> Поток ремонтных запчастей в мультиэшелонной системе снабжения	110–129
<i>Зоран Ц. Петрович</i> Коррозия в авиационных конструкциях	130–150

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

<i>Сергей А. Аргунов</i> Вопросы модернизации кораблей для применения высокоточного оружия в современных условиях	151–160
<i>Зоран Дж. Новакович</i> Испытания аэродинамических и баллистических характеристик противотанковых авиабомб в аэродинамической трубе	161–175
<i>Ивица С. Стоянович</i> Измерение шума и вибраций в кабине вертолета Ми-8	176–195
<i>Миладин З. Живкович, Горан М. Баняц</i> Потенциал энергосбережения военных объектов	196–212
<i>Срджан З. Рутич, Деян Р. Инджич</i> Прогноз воздействия аварии транспорта с опасным грузом на казарму «Цар Лазар» в городе Крушевац	213–235

ПРАКТИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ

<i>Ненад В. Ковачевич</i> Организация инженерных работ по демонтажу участков дорог	236–263
---	---------

СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

<i>Драган М. Вучкович, Милош М. Евтич</i>	264–302
ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ	303–317
СООБЩЕНИЕ ДЛЯ ПАРТНЕРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ	318–318
СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА	319–343
ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПУСКУ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА	344–352

CONTENTS

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

<i>Mihailo</i> R. Mrdak Study of the application of plasma sprayed coatings on the sections of the Astazou III B turbo - jet engine	1–25
<i>Branka</i> S. Dimitrijević, <i>Miloš</i> Lj. Nikolić, <i>Katarina</i> S. Vukadinović, <i>Ivana</i> P. Vukičević Locating dangerous goods with constant and variable impact radii	26–44
<i>Radomir</i> R. Đukić Method of the vector of similarity to ideal solution in alternatives	45–74
<i>Snežana</i> M. Dragičević Application of dynamic simulations in the analysis of measures for improving energy efficiency of buildings	75–91
<i>Nikola</i> P. Žegarac Experience in the development of the invention from the aspect of scientific verification and market creation	92–109

REVIEW PAPERS

<i>Milić</i> R. Miličević, <i>Vlada</i> S. Sokolović, <i>Marjan</i> A. Milenkov Repairable spare parts flow in a multi-echelon inventory system	110–129
<i>Zoran</i> C. Petrović Corrosion in airframes	130–150

PROFESSIONAL PAPERS

<i>Sergey</i> A. Argunov Modernization of ships for launching ultra-precision weapons in the conditions of modern warfare	151–160
<i>Zoran</i> Đ. Novaković Wind tunnel testing of the aerodynamic and ballistic characteristics of the aircraft anti-armor bomb	161–175
<i>Ivica</i> S. Stojanović Measuring noise and vibration in the cockpit of the Mi-8 helicopter	176–195
<i>Miladin</i> Z. Živković, <i>Goran</i> M. Banjac Energy potentials of military buildings	196–212
<i>Srđan</i> Z. Rutić, <i>Dejan</i> R. Inđić Assessment of the impact of accidents involving hazardous substances on Car Lazar military barracks in Kruševac	213–235

PROFESSIONAL PRACTICE

<i>Nenad</i> V. Kovačević Organization of engineering works during demolition of a road section	236–263
--	---------

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

<i>Dragan</i> M. Vučković, <i>Miloš</i> M. Jevtić	264–302
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	303–317
INFORMATION FOR CONTRIBUTORS AND READERS	318–318
LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER	319–343
PUBLICATION ETHICS STATEMENT	344–352

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ
ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

STUDY OF THE APPLICATION OF PLASMA SPRAYED COATINGS ON THE SECTIONS OF THE ASTAZOU III B TURBO - JET ENGINE

Mihailo R. Mrdak

Research and Development Center IMTEL Communications a.d., Belgrade
e-mail: miki@insimtel.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-3983-1605>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8933

FIELD: Chemical Technology
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The plasma spray process is used extensively in the aerospace industry for manufacturing key components exposed to excessively high temperatures, aggressive chemical environments, wear, abrasion, erosion and cavitation. The process covers a large field of parameters so that almost every layer can be combined with any other as well as with the base material. Coatings can be deposited uniformly; therefore, they allow worn components to be brought to final dimensions in the process of aircraft repair. This research shows an effective procedure of the application of plasma spray coatings on the parts of the Astazou III B turbo - jet engine in the process of repair. The engine manufacturer, Turbomeca, has prescribed that powders should be deposited by plasma spray systems under designation Metco 3M and 7M for the prescribed parameters of powder deposition, so that during the application of other plasma spray depositing systems the parameters must be tested and optimized. The aim was to apply the Plasmadyne plasma spray system during the repair process and to optimize the parameters, which will enable producing coatings that fulfill all the criteria prescribed in the engine manufacturer standard. The optimization of the parameters was carried out with a plasma gun MINI - GUN II with a large number of samples. This paper presents the optimal parameters of the deposition on the ASTAZOU III B engine casing, casing frame, duct and oil tank. The assessment of the coating

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

mechanical properties was done by the HV_{0.3} microhardness testing method. Tensile bond strength of the coatings was investigated by a tensile test. The microstructures of the coating layers were evaluated on an optical microscope - OM. The analysis of the microstructures and the mechanical characteristics of the coatings was done in accordance with the TURBOMECA standard. The quality of the deposited coatings was confirmed by a 42-hour test of the ASTAZUO III B engine parts on a test stand. The performed tests have confirmed the quality of the coatings thus enabling the application of the plasma spray technology in the process of the ASTAZOU III B engine overhaul.

Key words: *spray coatings, repairs, plasmas, engines, deposits, coating.*

Introduction

The development of jet engines and the demands for increased resistance to oxidation, hot corrosion and sulphuring of engine parts influenced the development of the thermal spray process and nickel-based powders. For the protection of parts of jet engines, NiAl, NiCr, NiCrAl, NiCrAlY, CoCrAlY, NiCoCrAlY, etc. plasma spray coatings are commonly used today. The most effective protection of substrates from oxidation at temperatures above 800°C is provided by coatings which form oxides of the α -Al₂O₃ and Cr₂O₃ type. In most cases, coatings forming a continuous layer of α -Al₂O₃ are applied since this type of oxide is superior and more reliable as compared to other types of oxides (Mrdak, 2012, pp.182-201). At the beginning of the oxidation, NiO, α -Al₂O₃ and Cr₂O₃ oxide types are rapidly formed as well as spinel phases. The relative ratio of these phases is determined by the initial composition of the alloy. As oxidation continues, the diffusion processes are beginning to show their effects. The nature of these effects depends on the content of the chemical elements in the coating and the diffusion parameters. When the coating has a low content of chromium and aluminum, protective continuous α -Al₂O₃ and Cr₂O₃ oxide layers cannot be formed on the coating surface; instead, undesirable continuous NiO oxide layers are formed. The mechanism of the NiO oxide growth causes the formation of micro pores in the oxide / alloy interlayer. Micro pores grow and merge into large macro pores. The mechanism of the NiO oxide growth creates significant stress which eventually leads to cracks in the oxide layer. The coefficient of the thermal expansion of NiO oxide and that of metal vary considerably. NiO oxide is subjected to tensile stresses as a metal base, so that the elastic deformation of the metal substrate causes breakage and peeling of the oxide layer on the coating surface (Mrdak, 2012, pp.182-201). In order to build up continuous α -

Al_2O_3 and Cr_2O_3 oxide layers on the coating surface, a minimum of 20%Cr and 5%Al should be used for nickel alloys. NiCrAl alloy is added as well as yttrium for better cohesive oxide strength and better adhesive strength of the oxide coating on the substrate. Depending on the alloy type, the content of yttrium in the alloy ranges from 0.1 to 0.5% (Mrdak, 2012, pp.182-201). In exploitation, coatings are often exposed to the influence of impurities in the fuel and air. Depending on gas impurity, coatings can be exposed to a greater or lesser influence of Na, S and V. At high temperatures, diffusion processes occur at the interface between the coating and the gaseous environment, accelerating deposit corrosion. As far as air impurities are concerned, salt sucked by a turbojet engine is in the first place. Salt has the greatest impact on the corrosion of the parts of the turbojet engine that runs on distilled fuel without vanadium content. Salt sucked into the engine reacts with sulfur in the fuel to form sodium sulfate. In gas turbines that operate in the medium where chlorine is present, sodium chloride can also occur. This concerns air vehicles with a gas turbine developing a temperature at the turbine exit of about 750 °C, stationed on aircraft carriers or in coastal areas. Vanadium can also occur as impurity originating from fuel combustion. During fuel combustion, ash with a low melting point is created and deposited on the gas turbine components. Sulfur in fuel reacts with chromium from the alloy, thus forming chromium sulfate which precipitates on grain boundaries. During oxidation, chromium bonds with oxygen, simultaneously releasing sulfur that diffuses into the depth of the surface layer. In this way, new sulfides are formed beneath chromium oxide. Sulphur never goes into the atmosphere, but still diffuses through the surface layer, causing hot corrosion (Mrdak, 2012, pp.182-201). The experience of Turbomeca company which, in the production of the Astazou III B engine, applies plasma spray coatings resistant to oxidation and hot corrosion, as well as coatings for the repair of parts made of Al alloys, enabled the usage of plasma spray technology in the process of engine overhaul. The engine manufacturer prescribes that powder is to be deposited by plasma spray systems labeled Metco 3M and 7M for the prescribed parameters of powder deposition; therefore, the parameters must be optimized when applying other plasma spray depositing systems in order to meet all the criteria set by the Turbomeca standard. For saving and repairing engine parts from oxidation and hot corrosion, the manufacturer of the Astazou III B engine uses Ni/5Al, NiCr/6Al and Ni22Cr10Al1Y powders, and, for recovery of dimensions and repair of parts from aluminum alloys, it uses Al12Si powder. Composite Ni/5Al powder, due to its exothermic reaction during deposition, provides good bonding of the coating to the substrate. The products of this reaction are

intermetallic compounds NiAl_3 , Ni_2Al_3 and NiAl which add to the strength of the coating. These are thick coatings with metallurgical bond at the interface with the base material. The coating consists of lamellae of a solid solution of aluminum in nickel α -Ni (Al), and inter-lamellar oxides NiO and γ - Al_2O_3 uniformly distributed over the boundaries of solid solution lamellae (Knotek, et al., 1980, pp.282-286), (Mrdak, 2015, pp.32-55), (Mrdak, 2013, pp.7-22), (Svantesson, Wigren, 1992, pp.65-69). Coatings are resistant to oxidation, gas corrosion, wear, abrasion and erosion at temperatures up to 980°C . Bond strength with the substrate remains adequate to 700°C (Griffiths, et al., 1980). Coatings deposited in accordance with the Turbomeca standard have values of microhardness of min. $140\text{HV}_{0.3}$ and bond tensile strength of min. 35MPa . NiCrAl types of coatings in a deposited state consist of a solid solution of chromium and aluminum in nickel γ -Ni (Cr,Al). NiO , α - Al_2O_3 , Cr_2O_3 , and CrO_3 oxide types are present in layers as well as $\text{Ni}(\text{Cr},\text{Al}_2)\text{O}_4$ spinel phases (Badrour, et al., 1986, p.1217), (Brossard, et al., 2009, pp.1-9), (Mrdak, 2010, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201), (Mrdak, 2013, pp.7-22), (Tran, et al., 2008, p.701). Tensile bond strength of the coating stays adequate to the operating temperature of 980°C (Mrdak, 2012, pp.182-201). Coatings deposited by the Turbomeca standard have values of microhardness of min. $170\text{HV}_{0.3}$ and tensile bond strength of min. 35MPa . NiCrAlY alloy is used to protect parts from hot corrosion and high temperature oxidation up to 1100°C (Material Product Data Sheet, 2013, Nickel Chromium Aluminum Yttrium (NiCrAlY) Thermal Spray Powders Amdry 963, DSMTS-0102.1, Sulzer Metco). Addition of yttrium is essential because it significantly increases the adhesion of Al_2O_3 and Cr_2O_3 oxides that are formed in the coating with the coating base, thus preventing cracking and separation of the protective surface oxide layer at thermal fatigue (Mrdak, 2012, pp.182-201). The structure of the inner layers of the coating consists of a solid solution of chromium and aluminum in nickel γ -Ni(Cr,Al) and the intermetallic compound γ' - Ni_3Al . NiO , α - Al_2O_3 , Cr_2O_3 and NiCr_2O_3 oxides are also present in the structure (Badrour, et al., 1986, p.1217), (Leea, 2005, pp.239-242). Coatings deposited by the Turbomeca standard have microhardness values of min. $200\text{HV}_{0.3}$ and tensile bond strength of min. 35MPa . Al12Si coating is of a general purpose and is applied for the protection of new aviation parts and in the repair process to restore dimensions of aluminum and magnesium alloy parts changed due to wear (Material Product Data Sheet, 2011, Aluminum 12% Silicon Thermal Spray Powders Metco 52C-NS, DSMTS – 0045.2, Sulzer Metco), (Pramila Bai, Biswas, 1987, p.61). In the deposited state, the coating microstructure consists of two phases: α -Al solid solution and α -Al + Si eutectic mixture. Fine eutectic grains of

α -Al + Si are uniformly formed on the boundaries of the α -Al solid solution (Laha et al. 2005, pp.5429-5438). Coatings deposited by the Turbomeca standard have microhardness values of min.70HV_{0.3} and tensile bond strength of min. 25 MPa. For all coatings, the allowed share of micro pores in the microstructure is max.8% and that of unfused particles is up to 15% of a particle size below 60 μ m (Turbojet engine-standard practices Manuel, Turbomeca).

The aim of the research was to apply the plasma spray system of the Plasmadyne company in repair of the Astazou III B engine and to optimize the powder deposition parameters, in order to produce coatings that will fulfill all the criteria prescribed in the standard of the engine manufacturer. The optimization of the parameters for a MINI - GUN II plasma gun was performed on fixed samples in a special tool. A large number of samples was made to obtain the microstructures and mechanical properties of coatings that will fulfill all the criteria prescribed by the Turbomeca standard. This paper presents the optimum parameters with which coatings are deposited on turbine casing, casing frame, duct and oil tank as well as the mechanical and structural characteristics of the coatings tested on the Astazou III B turbojet engine on the test stand. The performed tests have confirmed the quality of the coatings thus allowing the application of plasma spray technology in the Astazou III B engine overhaul.

Materials and experimental details

For testing and applying coatings on the parts of the Astazou III B turbo-jet engine, four types of Sulzer Metco powders were used: Metco 450NS, Metco 443NS, Amdry 963 and Metco 52C-NS. Metco 450NS powder (Ni/5Al) based on Ni is intended to protect the turbine casing from the influence of high temperature, hot corrosion and erosion. The powder Ni/5Al particles coated with the Ni content of 95.5% and the Al content of 4.5% had a distribution of the granulate of 45-88 μ m (Metco 450NS Nickel/Aluminum Composite Powder, 2000, Technical Bulletin 10-136, Sulzer Metco). For the protection of the turbine casing frame from the impact of sand at lower temperatures, Metco 443NS powder (Ni19Cr/6Al) containing 19% Cr and 6% Al was applied. The powder had a grain range of 45-120 μ m (Metco 443NS Nickel-Chromium/Aluminum Composite Powder, 2000, Technical Bulletin 10-130, Sulzer Metco). To produce a coating resistant to high temperature oxidation and hot corrosion up to 1200 °C, applied to the duct, Ni22Cr10Al1Y powder alloy with a range of granulation of powder particles of 53-106 μ m was used (Material Product Data Sheet, 2013, Nickel Chromium Aluminum Yttrium (NiCrAlY) Thermal Spray Powders

Amdry 963, DSMTS-0102.1, Sulzer Metco). To restore the size of the opening in the Astazou III B engine oil tank, Metco 52C-NS powder was applied, which is aluminum alloy with 12% Si. The granulation of the powder particles was from 45-90 μm (Material Product Data Sheet, 2011, Aluminum 12% Silicon Thermal Spray Powders Metco 52C-NS, DSMTS – 0045.2, Sulzer Metco).

The investigation of the structural and mechanical characteristics of the coatings was done in accordance with the Turbomeca standard (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA). The substrate material of the samples where Ni5Al, Ni19Cr6Al and Ni22Cr10Al1Y coating layers were deposited was stainless steel X15Cr13 (EN 1.4024) in the thermally unprocessed condition. The substrates of the samples where Al12Si coatings were deposited were made of AMS4117 aluminum alloy (AlMg1 EN5005). For microhardness testing and evaluation of the microstructure of the deposited state, 70x20x1.5 mm samples were made. The bases for examining tensile bond strength were $\text{Ø}25 \times 50 \text{mm}$. The investigation of the microhardness of coatings was done using the $\text{HV}_{0.3}$ method. In order to assess the homogeneity of the coating layers, the microhardness measurement was carried out in a direction along the lamellae. Five readings of microhardness values were performed, in the middle and at the ends of the samples, out of which the two extreme values were rejected. The minimum and maximum values of the three remaining values are presented. Tensile bond strength was examined using the tensile test. The tests were performed at room temperature at a tensile speed of 10 mm / min on the hydraulic equipment. Every part of the Astazou III B engine was tested by five specimens. The engine parts samples were rotated at the same rotational speed to ensure the same conditions of coating deposition. The obtained results were averaged and the paper presents the average tensile bond strength values.

The microstructure of the deposited coating layers was examined on an optical microscope - OM. The analysis of the micro pores share in the coating was performed by treating 5 photos at 200X magnification. Through tracing paper, micro pores were labeled and shaded, with a total area of micropores calculated for the total surface of micrographs. The paper presents the mean values of the micropores share in the coatings. Table 1 shows the parts of the Astazou III B turbojet engine, the types of materials used for its parts and the operating conditions for the operating parts on which coatings were deposited. All Astazou III B engine parts are made of special purpose aircraft materials. The oil tank is made of AG5 - EN AW-5083 aluminum alloy, the casing frame and the turbine casing of 15CDV6 - EN 1.7734 stainless steel, and the duct of AFNOR Z3NCT25 - ASTM A638 nickel alloy.

Table 1 – Parts of the ASTAZOU III B turbo-jet engine
 Таблица 1 – Детали турбореактивного двигателя ASTAZOU III B
 Tabela 1 – Delovi turbo-mlaznog motora ASTAZOU III B

No.	Part name	Material	Operating conditions
1.	Turbine casing	15CDV6	Temperature t=500-700°C erosion and hot corrosion
2.	Casing frame	15CDV6	Air =200°C, sand particles
3.	Duct	Z3NCT25	High temperature t _{max} =1200°C, hot corrosion
4.	Oil tank	AG5	Synthetic oil t =80-120°C, wear

Turbomeca, engine manufacturer, prescribed that on the Astazou III B engine parts powders are to be deposited with Metco 3M and 7M equipment for the prescribed parameters of powder deposition and the standards on the quality of deposited coatings. Powder deposition parameters were optimised for an atmospheric plasma spray system of the Plasmadyne company that uses a specially designed plasma spray gun MINI - GUN II with the dimensions of Ø25 X 600 mm. A large number of samples were used and the paper shows the optimal parameters with which coatings were deposited on the Astazou III B turbojet engine parts tested on the test stand.

Powder was deposited on the samples and the parts under the same conditions in specially designed and manufactured tools. Coatings were deposited on the preheated rough samples and engine parts at a temperature of 90-120 °C. The MINI - GUN II plasma gun consisted of: anode A 2084-F45, cathode K 1083-129 and gas injector GI 2084 B – 103. The coating deposition was performed with the power supply of 40KW. All coatings were deposited with a plasma gas mixture of Ar-He. The layer thickness of NiAl, NiCrAl and NiCrAlY coatings with a single plasma gun pass was 25µm. The thickness of the Al12Si alloy layer with a single pass of the plasma gun was 30 um.

Figure 1 shows the APS - atmospheric plasma spray system of the Plasmadyne company used to produce coatings. The figure shows the process of powder deposition with a MINI GUN II plasma gun on the Astazou III B turbine engine in a cabin protecting from ionic radiation and noise. The deposition process is performed with a RISE robot.

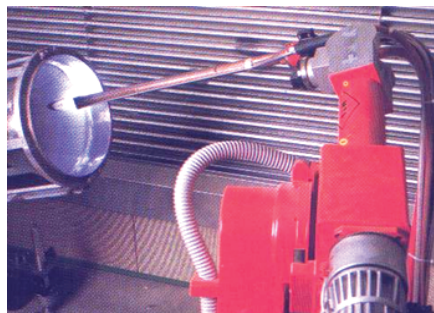


Figure 1 – Deposition of powder on the turbine casing of the ASTAZOU III B turbo-jet engine
 Рус. 1 – Нанесение порошка на корпус турбореактивного двигателя Нанесение порошка на корпусе турбины в В турбореактивных Astazou III
 Slika 1 – Depozicija praha na kućištu turbine turbomlaznog motora ASTAZOU III B

Table 2 shows the plasma spray parameters for depositing powders with a MINI - GUN II plasma gun. The thickness of the deposited Ni5Al coating on the turbine casing and the Ni19Cr6Al coating on the casing frame was from 0.55 to 0.6 mm. The coating thickness was increased by 0.3 mm for extra machining. The Ni22Cr10Al1Y coating thickness on the edges of the duct ranged from 1.2 - 1.5 mm. It was increased by 0.3 mm for coating machining. At the opening of the oil tank, the Al12Si coating was deposited with a thickness from 0.54 to 0.6 mm with additional thickness for machining.

The investigation of the effect of the deposited coatings on the parts of the ASTAZOU III B turbojet engine was done at the test stand with the engine operation time of 42 hours. The wear of the coatings was determined on the basis of the change in the dimensions of machined surfaces after testing the engine parts. The change in dimensions was measured on a coordinate measuring machine MAUSER ML 28 at eight measuring points around the perimeter of cylindrical parts. This paper presents the mean values of coating wear in mm, compared with the values of allowed tolerances of machined parts.

Table 2 – Plasma spray parameters
 Таблица 2 – Параметры плазменного напылителя
 Tabela 2 – Plazma sprej parametri

Parameters	Ni5Al	Ni19Cr6Al	Ni22Cr10Al1Y	Al12Si
Electric Current, (A)	800	800	750	800
Arc voltage, (V)	38	37	40	36
Primary plasma gas, Ar (l/min)	75	75	50	75
Secondary plasma gas, He (l/min)	12	17	37	12

Parameters	Ni5Al	Ni19Cr6Al	Ni22Cr10Al1Y	Al12Si
Carrier gas powder, Ar (l/min)	7	12	10	7
Rotation of the disc for powder, (o/min)	3.2	2.5	2.5	2.3
Distance of plasma guns, (mm)	60	60	65	60
Circumferential speed of the parts, (mm/s)	500	500	500	340
Plasma gun speed, (mm/s)	3	3	3	3

Results and discussion

Figure 2 shows the turbine casing of the Astazou III B turbojet engine and the microstructure of the deposited Ni5Al coating. Red lines on the casing mark the inner surface protected by the plasma spray Ni5Al coating from hot corrosion and erosion caused by particles carried by gas. The microstructure of the Ni5Al coating is lamellar. The light blue lamellae of the coating consist of the α solid solution of aluminum in nickel α -Ni (Al). At the inter-lamellar boundaries of the α solid solution, there are evenly distributed nickel oxide NiO and aluminum γ -Al₂O₃ marked with red arrows (Knotek, et al., 1980, pp.282-286), (Mrdak, 2013, pp.7-22), (Svantesson, Wigren, 1992, pp.65-69). Between the lamellae boundaries of the solid solution and oxide lamellae, there are irregularly shaped dark blue inter-lamellar pores. There are also spherical precipitates of a size of 18 to 25 μ m, which are always smaller than the granulation of deposited powders. The precipitates did not affect the mechanical properties of the coating. The layers of the deposited Ni5Al coating had the microhardness values of 155 - 179HV_{0.3}. The mean value of the tensile bond strength of the coating was 72MPa. The mechanism of destruction was that of adhesion on the substrate / coating boundary. The values of the microhardness and tensile bond strength of Ni5Al coating are above the minimum values prescribed by the Turbomeca standard (min.140 HV_{0.3} and min.35 MPa) (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA). The analysis of photomicrographs of Ni5Al coatings showed that the proportion of pores was 2.5%. The content of pores was significantly lower than the value set by the engine manufacturer Turbomeca (max.8%pores). In the microstructure, there were no unfused powder particles of 45-60 μ m, whose presence is allowed in a content of up to 15% by the Turbomeca standard (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA).

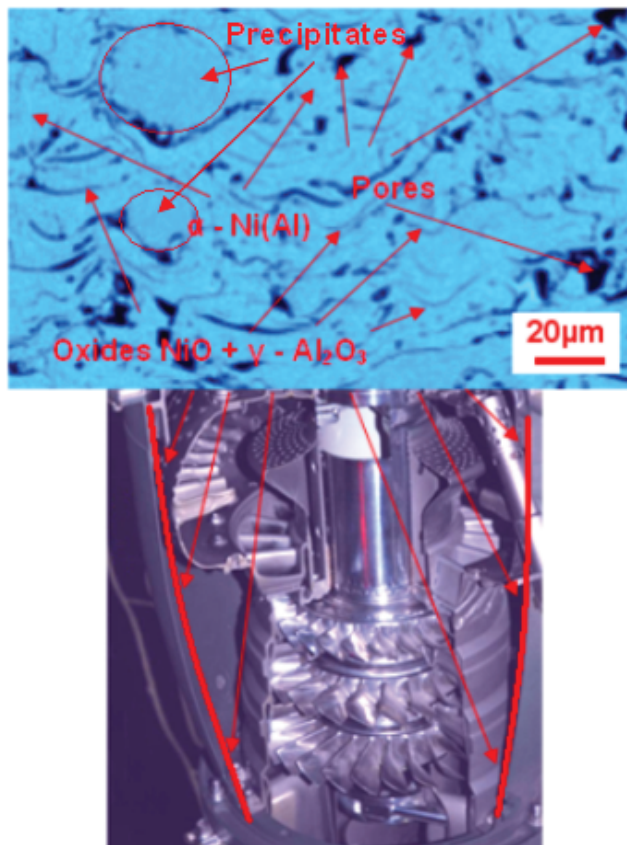


Figure 2 – Turbine casing of the ASTAZOU III B turbojet engine and the microstructure of the Ni5Al coating

Рис. 2 – Корпус турбины турбореактивного двигателя ASTAZOU III B и микроструктура покрытия Ni5Al

Slika 2 – Kućište turbine turbomlaznog motora ASTAZOU III B i mikrostruktura prevlake Ni5Al

Figure 3 shows the casing frame of the Astazou III B engine and the microstructure of the deposited Ni19Cr6Al coating. The inner surface of the casing frame marked with red lines has the deposited Ni19Cr6Al coating which protects the surface from abrasion of sand particles up to 200°C. Coating layers are deposited uniformly on the inner surface, with the coating mechanical properties and its microstructure showing the quality better than that prescribed by the Turbomeca standard. The values of microhardness and tensile bond strength in the Turbomeca standard are min.170HV_{0,3} and 35MPa (Turbojet engine - standard practices manual, TURBOMECA).

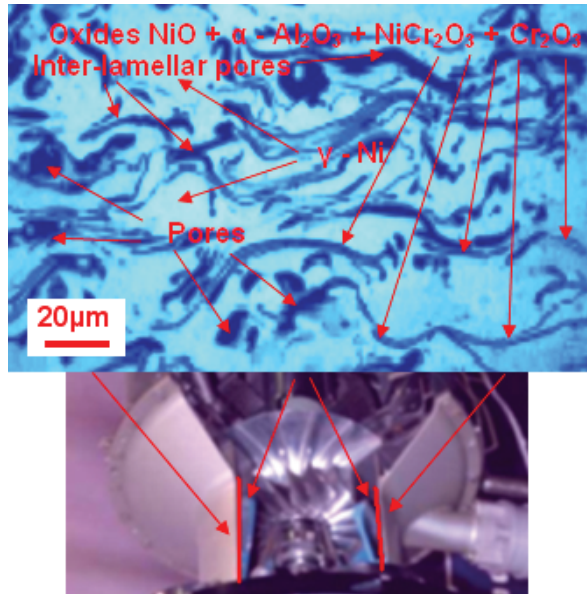


Figure 3 – Casing frame of the ASTAZOU III B turbojet engine and the microstructure of the Ni19Cr6Al coating

Рис. 3 – Входная кромка корпуса турбореактивного двигателя ASTAZOU III B и микроструктура покрытия Ni19Cr6Al

Slika 3 – Međukucište turboblaznog motora ASTAZOU III B i mikrostruktura prevlake Ni19Cr6Al

The microhardness values of the coating were in the range of 278-315 HV_{0.3}. The distribution of microhardness was directly related to the distribution of oxides and pores in the coating layers. The mean value of tensile bond strength of the coating was 52MPa. The character of destruction was adhesion. The structure of the coating layers is lamellar. The coating base consists of light blue lamellae of the solid solution of chromium and aluminum in nickel γ -Ni. At solid solution lamellae boundaries, there are the lamellae of oxides NiO, α -Al₂O₃, NiCr₂O₃ and a small amount of Cr₂O₃ marked with red arrows (Brossard, et al., 2009, pp.1-9), (Mrdak, 2012, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201). Between the boundaries of solid solution lamellae and oxide lamellae there are inter lamellar pores in dark blue. The analysis of photomicrographs showed that the Ni19Cr6Al coating layers had a share of micro pores of 3.5%. The analysis of the coating microstructure showed that the coating microstructure did not contain unfused powder particles whose presence is permitted by the Turbomeca standard in the amount up to 15% and of size under 60 μ m (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA). Figure 4 shows the duct of the Astazou III B turbojet engine and the microstructure of the deposited Ni22Cr10Al1Y coating.

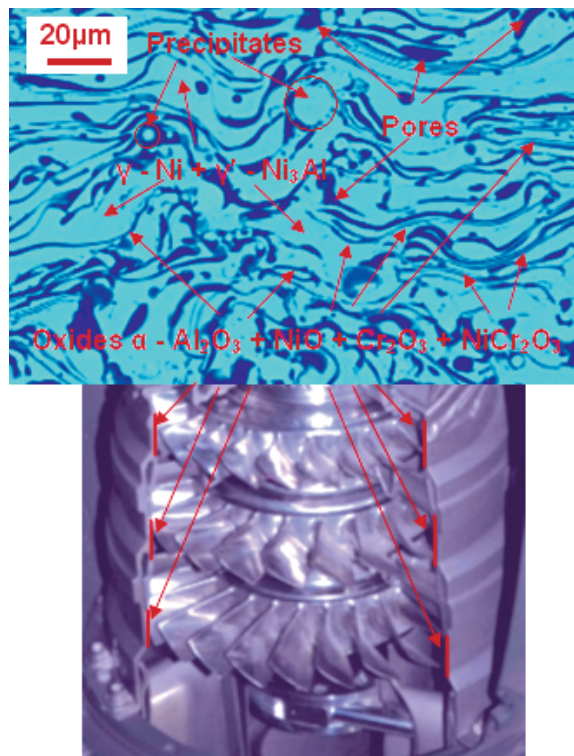


Figure 4 – Duct of the ASTAZOU III B turbojet engine and the microstructure of the Ni22Cr10Al1Y coating

Рис. 4 – Промежуточный контур турбореактивного двигателя ASTAZOU III B и микроструктура покрытия Ni22Cr10Al1Y

Slika 4 – Sprovodni aparat turbomlaznog motora ASTAZOU III B i mikrostruktura prevlake Ni22Cr10Al1Y

The red lines mark the surfaces of the duct ridges where Ni22Cr10Al1Y coating layers were deposited, protecting the surface from high temperature oxidation and hot corrosion up to 1200°C. The microstructure of the deposited Ni22Cr10Al1Y coating is lamellar. The coating base consists of light blue lamellae of the γ -Ni and γ' -Ni₃Al solid solution. The internal structure of the coating is a heterogeneous mixture of the metal basis (γ -Ni + γ' -Ni₃Al) with precipitates, micropores and NiO, α -Al₂O₃, Cr₂O₃ and NiCr₂O₃ oxides (Badrour, et al., 1986, p.1217) (Leea, 2005, pp.239-242). At the interlamellar boundaries of the γ -Ni solid solution, there are oxides distributed, in darker shades of blue than the coating base. Dark blue, irregularly shaped pores are present between the boundaries of solid solution lamellae and oxide lamellae. Fine spherical precipitates of the size of 5 to 10 μ m are present in the

microstructure. The microhardness values of the deposited layers were in a range of 297 - 328HV_{0.3}. The mean value of the coating tensile bond strength was 49MPa. The mechanism of destruction was adhesion on the substrate / coating boundary. The values of microhardness and tensile bond strength of the Ni22Cr10Al1Y coating are above the minimum value prescribed by the Turbomeca standard (min.200 HV_{0.3} and Min.35 MPa) (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA). The analysis of the micrographs of the Ni22Cr10Al1Y coating showed that the pore share was about 3%. The content of micro pores was lower than the value set by the engine manufacturer Turbomeca (max.8% pores). Unfused powder particles up to 60µm, whose presence is allowed in the content up to 15% by the Turbomeca standard (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA), were not found in the microstructure. Figure 5 shows the oil tank of the Astazou III B turbojet engine and the microstructure of the deposited Al₁₂Si coating. The hole in the oil tank is marked with a red circle, the inner surface of which is protected by the plasma sprayed Al₁₂Si coating against the effects of synthetic oils and wear.

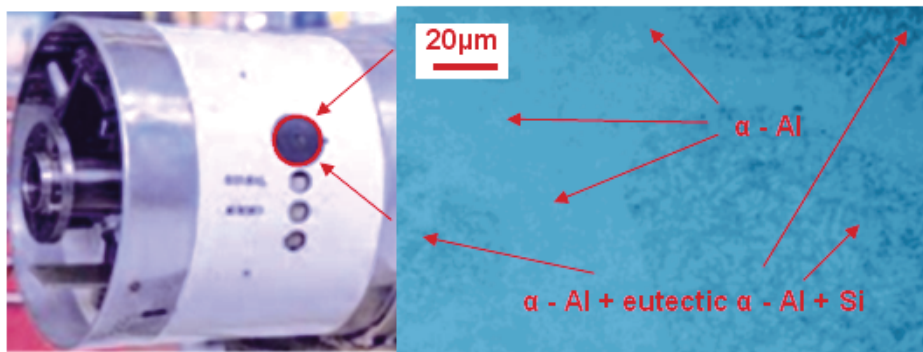


Figure 5 – Oil tank of the ASTAZOU III B turbojet engine and the microstructure of the Al₁₂Si coating

Рус. 5 – Масляный резервуар турбореактивного двигателя ASTAZOU III B и микроструктура покрытия Al₁₂Si

Slika 5 – Rezervoar za ulje turbomlaznog motora ASTAZOU III B i mikrostruktura prevlake Al₁₂Si

The microstructure of the Al₁₂Si coating consists of two phases, the α -Al solid solution and the α -Al + Si eutectic mixture. At the boundaries of the α -Al solid solution, dendritic solidification resulted in α -Al + Si eutectic grains (Laha et al. 2005, pp.5429-5438), (Pramila Bai, Biswas, 1987, p.61). The content of pores in the coating was negligible, which is why the coating microhardness value was at the upper limit of 130 HV_{0.3}. The

mean value of tensile bond strength of 27MPa was in accordance with the coating microstructure. The mechanism of destruction was adhesion at the substrate / coating boundary. The values of microhardness and tensile bond strength of the Ni12Si coating are above the minimum value prescribed by the Turbomeca standard (min.70HV_{0.3} and min.25 MPa) (Turbojet engine-standard practices Manuel, Turbomeca). In the microstructure there are no unfused powder particles, although the Turbomeca standard allows their presence up to 15%, with a size below 60µm (Turbojet engine-standard practices Manuel, Turbomeca).

After the tests at the test station, the wear of the coatings was significantly lower than the allowable tolerance for engine parts. The Ni5Al coating wear on the turbine casing of 0.002 mm is significantly lower than the allowable tolerance of 0.3 mm. The Ni19Cr6Al coating wear on the casing frame was 0.0025 mm, while the allowed dimension tolerance for the casing frame is 0.3 mm. The Ni22Cr10Al1Y coating wear on the duct ridges was 0.001 mm, while the tolerance for the Ni22Cr10Al1Y coating on the duct ridges is 0.05 mm. At the opening of the oil tank, there were no changes in the size of the Al12Si coating, which is understandable because the coating is subjected to wear during opening and closing of the the tank when changing oil. The wear of the coatings on all tested parts was low. Based on the test results, plasma spray coatings have been successfully applied in the process of the general repair of the Astazou III B turbojet engine.

Conclusion

The research into the characteristics of coatings deposited on the Astazou III B turbojet engine parts by the atmospheric plasma spray system of the Plasmadyne company, with a MINI GUN II plasma gun, showed that they fully meet the criteria established by the engine manufacturer Turbomeca for coatings deposited by the Metco 3M and 7M plasma spray systems. The analysis of the structural and mechanical characteristics of the coatings in the laboratory and the testing of the components within the Astazou III B engine on the test station for a period of 42 hours showed that:

The deposited coating layers had good microhardness, tensile bond strength and microstructure values that meet the criteria prescribed by the Turbomeca standard. All coatings had the microhardness and tensile bond strength values above those prescribed by the Turbomeca standard. The microstructure of the deposited coatings does not show the presence of unfused powder particles up to 60 µm, which is allowed by the Turbomeca standard up to 15%.

During coating testing on the engine parts at the test station, all coatings showed good adhesion and cohesive strength of layers. After dismantling the engine, delamination of coatings, coating peeling through layers and separation of layers from the surface of the engine parts were not found. On the surface of the coatings there are no networks of micro cracks. The coating surfaces on the casing, the casing frame and the oil tank opening showed no traces of burrs. On the duct ridges there are no traces from blade galling.

The average value of wear of the Ni5Al coating on the turbine casing was 0.002 mm. On the casing frame, the average value of wear of the Ni19Cr6Al coating was 0.0025 mm. On the duct ridges, the average value of wear of the Ni22Cr10Al1Y coating was 0.001 mm. At the opening of the oil tank, there were no changes in the size of the Al12Si coating. For the Astazou III B engine parts, coating wear was much lower than the allowable tolerances for machining.

The wear of the coatings on all tested parts was low. Based on the test results, plasma spray coatings have been successfully applied in the process of the general repair of the Astazou III B turbojet engine.

Literature

- Badrou, L., Moya, E. G., Bernardini, J., Moya, F., 1986, Scr. Metall. Vol.20, p.1217.
- Brossard, S., Munroe, P.R., Tran, A.T.T., Hyland, M.M., 2009, Study of the effects of surface chemistry on splat formation for plasma sprayed NiCr onto stainless steel substrates, Surface&Coatings Technology SCT-15342, pp.1–9.
- Griffiths, H., et al., 1980, 9th International Thermal Spray Conference. TheHague.
- Knotek, O., Lugscheider, E. and Cremer, K.H., 1980, Alumina and Aluminide Formation in Nickel Aluminum Spraying Powders, pp.282-286, Proceedings of Ninth International Thermal Spray Conference, Hague.
- Laha, T., Agarwal, A., McKechnie, T., Rea, K., Seal, S., 2005, Synthesis of bulk nanostructured aluminum alloy component through vacuum plasma spray technique, Acta Materialia 53, pp.5429–5438.
- Leea, D.B., 2005, High-temperature oxidation of NiCrAlY/(ZrO₂-Y₂O₃) and ZrO₂-CeO₂-Y₂O₃) composite coatings, Center for Advanced Plasma Surface Technology, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, South Korea, Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133 -791, South Korea Available online 21 September 2004, Surface & Coatings Technology, Vol.193, pp.239-242.
- Material Product Data Sheet, 2013, Nickel Chromium Aluminum Yttrium (NiCrAlY) Thermal Spray Powders Amdry 963, DSMTS-0102.1, Sulzer Metco.
- Material Product Data Sheet, 2011, Aluminum 12% Silicon Thermal Spray Powders Metco 52C -NS,DSMTS – 0045.2, Sulzer Metco.
- Metco 443NS Nickel-Chromium/Aluminum Composite Powder 2000, Sulzer Metco.Technical Bulletin 10-130.
- Metco 450NS Nickel / Aluminum Composite Powder 2000, Sulzer Metco.Technical Bulletin 10-136.

Mrdak, M., 2015, Investigation of the influence of plasma spray sealing coatings on the effect of sealing the TV2-117A turbojet engine compressor, *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 63(1), pp.32-55.

Mrdak, M., 2013, Structure and properties of plasma sprayed APS - Ni20Al coatings, *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 61(2), pp.7-22.

Mrdak, M., 2012, Study of the properties of 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., 2010, Uticaj brzine depozicije praha na mehaničke karakteristike i strukturu APS – NiCr/Al prevlake, *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 58(4), pp.5-16.

Pramila Bai, B.N., Biswas, S.K., 1987, *Wear* 120, p.61.

Svantesson, J. and Wigren, J., 1992, A Study of Ni-5wt.Al Coatings Produced from Different Feedstock Powder, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol.1, No.1, pp.65-69.

Tran, A.T.T., Hyland, M.M., Qin, T., Withy, B., James, B.J., 2008, in: E. Lugscheider (Ed.), *Thermal Spray 2008: Crossing Borders (Proceedings of International Thermal Spray Conference 2008)*. Pub. DVS – Verlag GmbH, 40223 Dusseledorf, Germany, p.701.

Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ASTAZOU III B

Михаило Р. Мрдак

Центр исследований и разработок АО „ИМТЕЛ Коммуникации“,
г.Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: химические технологии

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Плазменное напыление широко применяется в области авиационной промышленности и производстве ключевых деталей, подверженных воздействию высоких температур, химически агрессивных средств, износу, повреждениям, эрозии и кавитации.

Процесс плазменного напыления включает широкое поле параметров, таким образом его возможно применять к каждому слою, в том числе и защитному слою покрытия. В процессе ремонта самолета плазменное покрытие наносится равномерно, тем самым выравнивая части поврежденных покрытий до необходимой толщины.

В данном исследовании представлен эффективный метод применения плазменного напыления покрытий частей турбореактивных двигателей ASTAZOU III B в процессе ремонта.

Производитель двигателей TURBOMECA рекомендует для покрытия своей продукции порошковые плазменные напылители системы Metco 3M или 7M, предписывая параметры нанесения покрытия, таким образом при применении иных плазменных напылительных систем необходимо провести тестирования и испытания.

Цель данной работы состоит в разработке и производстве плазменного напылителя от компании Plasmatyne, которое будет соответствовать всем стандартам и удовлетворять требования производителя двигателей, с целью его применения в ремонте двигателей.

Проведена оптимизация параметров для плазменных пистолетов MINI – GUN II, в процессе которой было протестировано большое количество образцов. В работе представлены соответствующие параметры нанесения покрытия на корпус, входную кромку корпуса, промежуточный контур и масляный резервуар турбореактивного двигателя ASTAZOU III B. Тестирование механических характеристик покрытия проводилось испытанием микротвердости покрытия, методом HV_{0,3}.

Прочность соединения покрытия протестирована по методу испытаний на сдвиг при растяжении. Микроструктура слоев покрытия наблюдалась под оптическим микроскопом – OM. Анализ микроструктуры и механических характеристик покрытия был проведен в соответствии со стандартами и рекомендациями TURBOMECA.

Качество нанесенного покрытия подтверждено 42-х часовым испытанием частей двигателя ASTAZOU III B, проведенного в испытательной станции. Выполненные испытания подтвердили качество покрытия, таким образом доказано, что технологию плазменного напыления покрытий можно применять в процессе ремонта двигателей ASTAZOU III B.

Ключевые слова: плазменное покрытие; ремонт; плазменное напыление; двигатели; депозиты; покрытие.

STUDIJA PRIMENE PLAZMA NAPRSKANIH PREVLAKA NA SEKCIJAMA TURBOMLAZNOG MOTORA „ASTAZOU III B”

Mihailo R. Mrdak

Istraživački i razvojni centar IMTEL Komunikacije a.d., Beograd

OBLAST: hemijske tehnologije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

Plazma-sprej proces intenzivno koristi avio-industrije u proizvodnji ključnih komponenti prekomerno izloženih visokim temperaturama, hemijski agresivnim sredinama, habanju, abraziji, eroziji i kavitaciji. Proces

pokriva veliko polje parametara, tako da se može kombinovati skoro svaki sloj sa svakim i sa osnovnim materijalom. Prevlake mogu da se deponuju ravnomerno i stoga omogućavaju da se pohabane komponente dovedu na konačne dimenzije u procesu remonta vazduhoplova. U ovom istraživanju prikazan je efikasan postupak primene plazma-sprej prevlaka na delovima turbomlaznog motora ASTAZOU III B u procesu remonta. Proizvođač motora TURBOMECA predvideo je da se prahovi deponuju plazma-sprej sistemima sa oznakom Metco 3M ili 7M za koje je propisao parametre depozicije prahova, tako da se kod primene drugih plazma-sprej sistema parametri deponovanja moraju ispitati i optimizirati. Cilj rada bio je da se u remontu motora primeni plazma-sprej sistem firme Plasmadyne i izvrši optimizacija parametara, koja će omogućiti da se proizvedu prevlake koje će ispuniti sve kriterijume propisane standardom proizvođača motora. Izvršena je optimizacija parametara za plazma pištolj MINI – GUN II, pri čemu je urađen veliki broj uzoraka. U radu su prikazani optimalni parametri depozicije sa kojima su deponovane prevlake na kućištu, međukućištu, sprovodnom aparatu i rezervoaru za ulje motora ASTAZOU III B. Procena mehaničkih karakteristika prevlaka urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće prevlaka metodom HV_{0.3}. Zatezne čvrstoće spoja prevlaka ispitane su metodom kidanja na zatezanje. Mikrostrukture slojeva prevlaka procenjene su na optičkom mikroskopu – OM. Analiza mikrostruktura i mehaničkih karakteristika prevlaka urađena je u skladu sa standardom TURBOMECA. Kvalitet deponovanih prevlaka potvrđen je 42-časovnim ispitivanjem delova u sklopu motora ASTAZOU III B na ispitnoj stanici. Izvršena ispitivanja potvrdila su kvalitet prevlaka i na taj način omogućila primenu plazma-sprej tehnologije u proces remonta motora ASTAZOU III B.

Uvod

Razvoj turbomlaznih motora i zahtevi za povećanu otpornost na oksidaciju, vrelu koroziju i sulfidizaciju delova motora uticali su na razvoj termo-sprej procesa i prahova na bazi nikla. Danas se za zaštitu delova turbomlaznih motora najčešće primenjuju plazma-sprej prevlake NiAl, NiCr, NiCrAl, NiCrAlY, CoCrAlY, NiCoCrAlY i dr. Najefikasniju zaštitu substratima od oksidacije na temperaturama iznad 800 °C pružaju prevlake koje formiraju okside tipa α -Al₂O₃ i Cr₂O₃. U većini slučajeva, primenjuju se prevlake koje formiraju kontinualni sloj α -Al₂O₃, jer je ovaj tip oksida superiorniji i pouzdaniji u odnosu na druge tipove oksida (Mrdak, 2012, pp.182-201). Kada je u prevlaci nizak sadržaj hroma i aluminijuma, na površini prevlake ne mogu se formirati zaštitni kontinualni slojevi oksida tipa α -Al₂O₃ i Cr₂O₃, već se formiraju nepoželjni slojevi kontinualnih oksida NiO. Mehanizam rasta oksida NiO uzrokuje nastanak mikropora u međusloju oksid/legura. Mikropore rastu i spajaju se u velike makropore. Mehanizam rasta oksida NiO stvara velika naprezanja, koja na kraju postaju dovoljno velika da prave prskotine u oksidnom sloju. Da bi se nagradili kontinualni slojevi oksida α -Al₂O₃ i Cr₂O₃ na površini prevlake, za legure nikla potrebno je naj-

mnje 20%Cr i 5%Al. Legurama NiCrAl dodaje se i itrijum radi bolje kohezije čvrstoće oksida i adhezije čvrstoće prevlake sa supstratom. Zavisno od tipa legure, sadržaj itrijuma se kreće od 0,1 do 0,5% (Mrdak, 2012, pp.182-201). Iskustvo firme Turbomeca koja u proizvodnji motora ASTAZOU III B primenjuje plazma-sprej prevlake otporne na oksidaciju i vrelu koroziju, kao i prevlake za opravku delova od legure Al, omogućilo je da se pristupi primeni plazma-sprej tehnologije u postupku remonta motora. Proizvođač motora predvideo je da se prahovi deponuju plazma-sprej sistemima sa oznakom Metco 3M ili 7M za koje je propisao parametre depozicije prahova, tako da se kod primene drugih plazma-sprej sistema parametri deponovanja moraju optimizirati, da bi prevlake ispunile sve kriterijume koje propisuje standard Turbomeca. Za spasavanje i opravku delova motora od oksidacije i vrela korozije proizvođač motora ASTAZOU III B koristi prahove Ni/5Al, Ni-Cr/6Al i Ni22Cr10Al1Y, a za obnavljanje dimenzija i opravku delova od legure aluminijuma koristi prah Al12Si. Kompozitni prah Ni/5Al zbog egzotermne reakcije u procesu depozicije omogućava dobro vezivanje prevlake za supstrat. Produkti te reakcije su međumetalna jedinjenja NiAl₃, Ni₂Al₃ i NiAl koja dodatno uvećavaju čvrstoću prevlake. To su gušće prevlake sa metalurškom vezom na interfejsu sa osnovnim materijalom. Prevlaka se sastoji od lamela čvrstog rastvora aluminijuma u niklu α-Ni(Al) i međulamelarnih oksida NiO i γ-Al₂O₃ ravnomerno raspoređenih po granicama lamela čvrstog rastvora (Knotek, et al., 1980, pp.282-286), (Mrdak, 2015, pp.32-25), (Mrdak, 2013, pp.7-22), (Svantesson, Wigren, 1992, pp.65-69). Prevlake su otporne na oksidaciju, gasnu koroziju, habanje, abraziju i eroziju na temperaturama do 980 °C. Čvrstoća spoja sa supstratom ostaje adekvatna do 700 °C (Griffiths, H., et al., 1980). Deponovane prevlake po standardu Turbomeca imaju vrednosti mikrotvrdoće min. 140HV_{0,3} i zatezne čvrstoće spoja min. 35MPa. Prevlake tipa NiCrAl u deponovanom stanju se sastoje od čvrstog rastvora hroma i aluminijuma u niklu γ-Ni(Cr,Al). U slojevima su prisutni oksidi tipa NiO, α-Al₂O₃, Cr₂O₃, CrO₃ i spinel faze Ni(Cr,Al₂)O₄ (Badrour, et al., 1986, p.1217), (Brossard, et al., 2009, pp.1-9), (Mrdak, 2010, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201), (Mrdak, 2013, pp.7-22), (Tran, et al., 2008, p.701). Zatezna čvrstoća spoja prevlake ostaje adekvatna do radnih temperatura od 980 °C (Mrdak, 2012, pp.182-201). Deponovane prevlake po standardu Turbomeca imaju vrednosti mikrotvrdoće min. 170HV_{0,3} i zatezne čvrstoće spoja min. 35MPa. Legura NiCrAlY se koristi za zaštitu delova od tople korozije i visokotemperaturne oksidacije do 1100 °C (Material Product Data Sheet, 2013, Nickel Chromium Aluminum Yttrium (NiCrAlY) Thermal Spray Powders Amdry 963, DSMTS-0102.1, Sulzer Metco). Dodatak itrijuma ima suštinski značaj, jer bitno povećava adheziju oksida Al₂O₃ i Cr₂O₃ koji se formiraju u prevlaci sa osnovom prevlake i tako sprečava pucanje i odvajanje zaštitnog površinskog oksidnog sloja pri dejstvu toplotnog zamora (Mrdak, 2012, pp.182-201). Struktura unutrašnjih slojeva prevlaka sastoji se od čvrstog rastvora hroma i aluminijuma u niklu

γ -Ni(Cr,Al) i međumetalnog jedinjenja γ' -Ni₃Al. U strukturi su prisutni i oksidi NiO, α -Al₂O₃, Cr₂O₃ i NiCr₂O₃ (Badrour, et al., 1986, p.1217), (Leea, 2005, pp.239-242). Deponovane prevlake po standardu Turbomeca imaju vrednosti mikrotvrdoće min. 200HV_{0,3} i zatezne čvrstoće spoja min. 35 MPa. Prevlaka Al12Si je opšte namene i primenjuje se za zaštitu novih vazduhoplovnih delova i u procesu remonta za obnavljanje dimenzija delovima od legura aluminijuma i magnezijuma uzrokovanih habanjem (Material Product Data Sheet, 2011, Aluminum 12% Silicon Thermal Spray Powders Metco 52C-NS, DSMTS – 0045.2, Sulzer Metco), (Pramila Bai, Biswas, 1987, p.61). U deponovanom stanju mikrostruktura prevlake sastoji se od dve faze α -Al čvrstog rastvora i α -Al + Si eutektikuma. Po granicama α -Al čvrstog rastvora ravnomerno se formiraju fina eutektička zrna α -Al + Si (Laha, et al., 2005, pp.5429–5438). Deponovane prevlake po standardu Turbomeca imaju vrednosti mikrotvrdoće min. 70HV_{0,3} i zatezne čvrstoće spoja min. 25 MPa. Za sve prevlake, u mikrostrukturi dozvoljen je udeo mikropora maks. 8% i nestopljenih čestica do 15% veličine ispod 60 μ m (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA).

Cilj rada bio je da se u remontu motora ASTAZOU III B primeni plazma-sprej sistem firme Plasmadyne i izvrši optimizacija parametara depozicije praha, koja će omogućiti da se proizvedu prevlake koje će ispuniti sve kriterijume propisane standardom proizvođača motora. Izvršena je optimizacija parametara za plazma pištolj MINI-GUN II na fiksnim uzorcima u posebnom alatu. Urađen je veliki broj uzoraka da bi se dobile mikrostrukture i mehaničke osobine prevlaka koje će ispuniti sve kriterijume propisane standardom proizvođača motora Turbomeca. U radu su prikazani optimalni parametri sa kojima su deponovane prevlake na kućištu turbine, međukućištu, sprovodnom aparatu i rezervoaru za ulje i mehaničko-strukturne karakteristike prevlaka, koje su ispitane u sklopu turbomlaznog motora ASTAZOU III B na ispitnoj stanici. Izvršena ispitivanja potvrdila su kvalitet prevlaka i na taj način omogućila primenu plazma-sprej tehnologije u procesu remonta motora ASTAZOU III B.

Materijali i eksperimentalni detalji

Za ispitivanje i primenu prevlaka na delovima turbomlaznog motora ASTAZOU III B upotrebljena su četiri tipa praha firme Sulzer Metco sa oznakama: Metco 450NS, Metco 443NS, Amdry 963 i Metco 52C-NS. Prah Metco 450NS (Ni/5Al) na bazi Ni namenjen je za zaštitu kućišta turbine od uticaja visoke temperature, tople korozije i erozije. Čestice obloženog praha Ni/5Al sa sadržajem 95,5% Ni i 4,5%Al imale su raspodelu granulata od 45 do 88 μ m. Za zaštitu međukućišta turbine od uticaja peska na nižim temperaturama primenjen je prah Metco 443NS(Ni19Cr/6Al) koji sadrži 19%Cr i 6%Al. Prah je imao raspon granulacije od 45 do 120 μ m. Za izradu prevlake otporne na visokotemperaturnu oksidaciju i vrelu koroziju do 1200°C, koja se primenila na sprovodnom aparatu, koristio se prah legure Ni22Cr10Al1Y sa rasponom

granulacije čestica praha od 53 do 106 μm . Za obnavljanje dimenzija otvora na rezervoaru za ulje motora ASTAZOU III B primenjen je prah Metco 52C-NS, koji je legura aluminijuma sa 12%Si. Raspon granulacije čestica praha koji se koristio bio je od 45 do 90 μm . Ispitivanje strukturalnih i mehaničkih karakteristika prevlaka rađeno je prema standardu TURBOMECA (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA). Materijal substrata uzoraka na kojem su deponovani slojevi prevlaka Ni5Al, Ni19Cr6Al i Ni22Cr10Al1Y bio je od nerđajućeg čelika X15Cr13 (EN 1.4024) u termički neobrađenom stanju. Osnove uzoraka na kojima su deponovane prevlake Al12Si napravljene su od legure aluminijuma AMS4117 (AlMg1 EN5005). Za ispitivanje mikrotvrdoće i za procenu mikrostrukture u deponovanom stanju napravljeni su uzorci dimenzija 70x20x1,5 mm. Osnove za ispitivanje zatezne čvrstoće spoja bili su dimenzija $\varnothing 25 \times 50$ mm. Ispitivanje mikrotvrdoće prevlaka rađeno je metodom HV_{0.3}. Da bi se procenila homogenost slojeva prevlaka, merenje mikrotvrdoće izvršeno je u pravcu duž lamela. Obavljeno je pet očitavanja vrednosti mikrotvrdoće slojeva u sredini i na krajevima uzoraka, od kojih su odbačene dve krajnje vrednosti. Od tri preostale vrednosti prikazane su minimalne i maksimalne vrednosti. Ispitivanje zatezne čvrstoće spoja rađeno je metodom ispitivanja na zatezanje. Testovi su rađeni na sobnoj temperaturi na hidrauličnoj opremi sa brzinom zatezanja od 10 mm/min. Uz svaki deo motora ASTAZOU III B rađeno je po pet epruveta. Uzorci su sa delovima motora zajedno rotirani istom obimnom brzinom kako bi bili isti uslovi deponovanja prevlaka. Dobijeni rezultati su usrednjeni i u radu su prikazane srednje vrednosti zatezne čvrstoće spoja. Mikrostruktura slojeva deponovanih prevlaka ispitana je na optičkom mikroskopu – OM. Analiza udela mikropora u prevlaci urađena je obradom 5 fotografija na uveličanju 200X. Preko paus-papira mikropore su označene i osenčene, čija se ukupna površina računala na ukupnu površinu mikrofotografije. U radu su prikazane srednje vrednosti udela mikropora u prevlakama. Svi delovi motora ASTAZOU III B napravljeni su od namenskih vazduhoplovnih materijala. Rezervoar za ulje izrađen je od legure aluminijum AG5-EN AW-5083, međukućište i kućište turbine od nerđajućeg čelika 15CDV6-1.7734 EN, a sprovodni aparat od legure nikla AFNOR Z3NCT25 - ASTM A638. Proizvođač motora TURBOMECA predvideo je da se na delovima motora ASTAZOU III B deponuju prahovi sa opremom Metco 3M ili 7M za koje je propisao parametre depozicije prahova i standarde o prihvatljivosti kvaliteta deponovanih prevlaka. Za atmosferski plazma-sprej sistem firme Plasmadayne koji koristi specijalno projektovani plazma-sprej pištolj MINI-GUN II dimenzija $\varnothing 25 \times 600$ mm, izvršena je optimizacija parametara depozicije praha. Urađen je veliki broj ispitnih uzoraka, a u radu su prikazani optimalni parametri sa kojima su deponovane prevlake na delovima koji su ispitani u sklopu turbomlaznog motora ASTAZOU III B na ispitnoj stanici. U posebno projektovanim i napravljenim alatima, pod istim uslovima urađena je depozicija praha na uzorcima i delovima. Prevlake su deponovane na ohrapvljene i predgrejane uzorke i delove motora na temperaturi od 90 do 120°C.

Plazma pištolj MINI- GUN II sastojao se od : anode A 2084 – F45, katode K 1083A – 129 i gas injektora GI 2084 B – 103. Depozicija svih prevlaka urađena je sa snagom napajanja od 40 KW. Sve prevlake su deponovane sa mešavinom plazma gasovima Ar-He. Debljine slojeva NiAl, NiCrAl i NiCrAlY prevlaka sa jednim prolazom plazma pištolja bila je 25 μm , a debljina sloja Al12Si legure sa jednim prolazom plazma pištolja 30 μm . Ispitivanje efekta deponovanih prevlaka na delovima turbomlaznog motora ASTAZUO III B rađeno je na ispitnoj stanici sa vremenom rada motora od 42 časa. Pohabanost prevlaka određena je na osnovu promene dimenzija mašinski obrađenih površina posle ispitivanja delova u sklopu motora. Merenje promena dimenzija rađeno je na koordinatnoj mernoj mašini MAUSER ML 28 na osam mernih mesta po obodu cilindričnih delova. U radu je prikazana srednja vrednost pohabanosti prevlaka, izražena u mm, koja je upoređena sa vrednostima dozvoljenih tolerancija mašinski obrađenih delova.

Rezultati i diskusija

Na kućištu je crvenim linijama označena unutrašnja površina koja je zaštićena plazma-sprej prevlakom Ni5Al od tople korozije i erozije čestica koje gas nosi sa sobom. Mikrostruktura prevlake Ni5Al je lamelarna. Svetloplave lamele prevlake sastoje se od α čvrstog rastvora aluminijuma u niklu α -Ni(Al). Na među-granicama lamela α čvrstog rastvora ravnomerno su distribuirani oksidi nikla NiO i aluminijuma γ -Al₂O₃, označeni crvenim strelicama. Između granica lamela čvrstog rastvora i oksidnih lamela prisutne su međulamelarne pore nepravilnog oblika tamnoplave boje. U mikrostrukturi su prisutni precipitati sfernog oblika, veličine od 18 do 25 μm , koji su uvek manji od granulacije praha koji se deponuje. Prisutni precipitati nisu uticali na mehaničke karakteristike prevlake. Slojevi deponovane prevlake Ni5Al imali su vrednosti mikrotvrdoće od 155 do 179 HV_{0.3}. Srednja vrednost zatezne čvrstoće spoja prevlake bila je 72 MPa. Vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja Ni5Al prevlake iznad su minimalnih vrednosti koje propisuje standard TURBOMECA (min.140 HV_{0.3} i min. 35 MPa) (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA). Analiza mikrofotografija Ni5Al prevlake pokazala je da je udeo mikropora bio 2,5%. Sadržaj mikropora bio je znatno manji od vrednosti koje propisuje proizvođač motora TURBOMECA (max. 8% pora). U mikrostrukturi nisu uočene nestopljene čestice praha od 45 do 60 μm čije je prisustvo dozvoljeno u sadržaju do 15% po standardu TURBOMECA (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA).

Na međukućištu je unutrašnja površina označena crvenim linijama na kojoj je deponovana prevlaka Ni19Cr6Al koja štiti površinu od abrazije čestica peska do 200°C. Slojevi prevlake deponovani su ravnomerno na unutrašnjoj površini sa mehaničkim karakteristikama i mikrostrukturuom prevlake, koji po kvalitetu pokazuju bolje karakteristike od karakteristika propisanih standardom TURBOMECA. Vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja po standard TURBOMECA su min.

170HV_{0,3} i 35 MPa (Turbojet engine - standard practices manuel, TURBOMECA). Vrednosti mikrotvrdoće prevlake bile su raspona od 278 do 315 HV_{0,3}. Raspodela mikrotvrdoće bila je u direktnoj vezi sa raspodelom oksida i mikropora u slojevima prevlake. Srednja vrednost zatezne čvrstoće spoja prevlake bila je 52 MPa. Osnova prevlake sastoji se od svetloplavih lamela čvrstog rastvora hroma i aluminijuma u niklu γ -Ni. Po granicama lamela čvrstog rastvora prisutne su lamele oksida NiO, α -Al₂O₃, NiCr₂O₃, Cr₂O₃ i u manjoj količini CrO₃, označene crvenim strelicama (Brossard, et al., 2009, pp.1-9), (Mrdak, 2012, pp.5-16), (Mrdak, 2012, pp.182-201). Između granica lamela čvrstog rastvora i oksidnih lamela prisutne su i međulamelarne pore zagasito plave boje. Analiza mikrofotografija je pokazala da je u slojevima prevlake Ni19Cr6Al udeo mikropora bio 3,5%.

Crvenim linijama obeležene su površine venaca sprovodnog aparata na kojima su deponovani slojevi prevlake Ni22Cr10Al1Y, koji štite površine od visokotemperaturne oksidacije i vrele korozije do 1200°C. Mikrostruktura deponovane prevlake Ni22Cr10Al1Y je lamelarna. Osnova prevlake sastoji se od svetloplavih lamela čvrstog rastvora γ -Ni i γ' -Ni₃Al. Unutrašnja struktura prevlake je heterogena mešavina osnove metala (γ -Ni + γ' -Ni₃Al) sa precipitatima, mikroporama i oksidima NiO, α -Al₂O₃, Cr₂O₃ i NiCr₂O₃ (Badrour, et al., 1986, p.1217) (Leea, 2005, pp.239-242). Vrednosti mikrotvrdoće deponovanih slojeva bile su u rasponu od 297 do 328HV_{0,3}. Srednja vrednost zatezne čvrstoće spoja prevlake bila je 49 MPa. Vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja prevlake Ni22Cr10Al1Y iznad su minimalnih vrednosti koje propisuje standard TURBOMECA (min. 200 HV_{0,3} i min. 35 MPa) (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA).

Otvor na rezervoaru za ulje označen je crvenim krugom, čija je unutrašnja površina zaštićena plazma-sprej prevlakom Al12Si od uticaja sintetičkog ulja i habanja. Mikrostruktura Al12Si prevlake sastoji se od dve faze, α -Al čvrstog rastvora i α -Al + Si eutektikuma. Po granicama α -Al čvrstog rastvora dendritskim očvršćivanjem formirala su se eutektička zrna α -Al + Si (Laha, et al., 2005, pp.5429–5438) (Pramila Bai, Biswas, 1987, p.61). Sadržaj mikropora u prevlaci bio je neznačan, zbog čega je prevlaka imala vrednost mikrotvrdoće na gornjoj granici od 130 HV_{0,3}. Srednja vrednost zatezne čvrstoće spoja prevlake od 27MPa bila je u saglasnosti sa mikrostrukturom prevlake. Vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja prevlake Ni12Si iznad su minimalnih vrednosti koje propisuje standard TURBOMECA (min. 70HV_{0,3} i min. 25 MPa) (Turbojet engine-standard practices manuel, TURBOMECA).

Pohabanost prevlaka posle ispitivanja delova na ispitnoj stanici bila je znatno manja u odnosu na dozvoljene tolerancije za delove motora. Pohabanost Ni5Al prevlake na kućištu turbine od 0,002 mm znatno je manja od vrednosti dozvoljene tolerancije od 0,3 mm. Pohabanost Ni19Cr6Al prevlake na međukućištu bila je 0,0025 mm. Dozvoljena tolerancija dimenzija na međukućištu je 0,3 mm. Pohabanost

Ni22Cr10Al1Y prevlake na vencima sprovodnog aparata bila je 0,001 mm. Tolerancija za prevlaku Ni22Cr10Al1Y na vencima sprovodnog aparata je 0,05 mm. Na otvoru rezervoara za ulje nije došlo do promena dimenzija prevlake Al12Si, što je razumljivo, jer se prevlaka haba kod naizmeničnog otvaranja i zatvaranja rezervoara pri zameni ulja. Potrošnja prevlake na svim delovima bila je mala. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja, plazma-sprej prevlake su uspešno primenjene u postupku opšte opravke turbomlaznog motora ASTAZOU III B.

Zaključak

Istraživanja karakteristika prevlake deponovanih na delovima turbomlaznog motora ASTAZOU III B atmosferskim plazma-sprej sistemom firme Plasmadyne, koji koristi plazma pištolj MINI-GUN II, pokazala su da u potpunosti zadovoljavaju kriterijume koje je propisao proizvođač motora TURBOMECA za prevlake deponovane plazma-sprej sistemima Metco 3M i 7M. Analizom strukturnih i mehaničkih karakteristika prevlake u laboratorijskim uslovima i ispitivanjima delova u sklopu motora ASTAZOU III B na ispitnoj stanici u trajanju od 42 časa ustanovljeno je da su slojevi prevlake u deponovanom stanju imali dobre mikrotvrdoće, zatezne čvrstoće spoja i mikrostrukture koje zadovoljavaju kriterijume propisane standardom TURBOMECA. Sve prevlake imale su vrednosti mikrotvrdoće i zatezne čvrstoće spoja iznad vrednosti koje propisuje standard TURBOMECA. U mikrostrukтури deponovanih prevlaka nisu prisutne nestopljene čestice praha do 60 μm, čije je prisustvo dozvoljeno u sadržaju do 15% po standardu TURBOMECA.

U toku ispitivanja prevlake u sklopu motora na ispitnoj stanici sve prevlake su imale dobru adheziju i koheziju čvrstoću slojeva. Posle rasklapanja motora na njegovim delovima nije uočeno raslojavanje prevlake, ljuštenje prevlake kroz slojeve i odvajanje slojeva prevlake sa površina delova. Na površinama prevlake nisu prisutne mreže mikroporoskotine. Površine prevlake na kućištu, međukućištu i otvoru rezervoara za ulje bile su bez tragova riseva. Na vencima sprovodnog aparata nisu prisutni tragovi i brazde od struganja lopatica.

Prosečna vrednost pohabanosti prevlake Ni5Al na kućištu turbine bila je 0,002 mm. Na međukućištu prosečna vrednost pohabanosti prevlake Ni19Cr6Al bila je 0,0025 mm. Na vencima sprovodnog aparata prosečna vrednost pohabanosti prevlake Ni22Cr10Al1Y bila je 0,001 mm. Na otvoru rezervoara za ulje nije došlo do promena dimenzija prevlake Al12Si. Na delovima motora ASTAZOU III B pohabanost prevlake bila je mnogo manja od dozvoljenih tolerancija za mašinsku obradu delova.

Potrošnja prevlake na svim delovima bila je mala. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja, plazma-sprej prevlake uspešno su primenjene u postupku opšte opravke turbomlaznog motora ASTAZOU III B.

Ključne reči: sprej prevlake, popravka, plazma, motori, depoziti, prevlaka.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 29. 08. 2015.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы /
Manuscript corrections submitted on: 21. 10. 2015.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного
согласования работы / Paper accepted for publishing on: 23. 10. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs,
втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuiran se u skladu sa Creative Commons
licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons"
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the
terms and conditions of the Creative Commons Attribution license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



LOCATING DANGEROUS GOODS WITH CONSTANT AND VARIABLE IMPACT RADII

Branka S. Dimitrijević^a, Miloš Lj. Nikolić^b,
Katarina S. Vukadinović^c, Ivana P. Vukićević^d

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

^a e-mail: brankad@sf.bg.ac.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-8102-7605>,

^b e-mail: m.nikolic@sf.bg.ac.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-5892-8248>,

^c e-mail: k.vukadinovic@sf.bg.ac.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-0965-6834>,

^d e-mail: i.vukicevic@sf.bg.ac.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-2254-3885>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8019

FIELD: Logistics, Mathematical Programming

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

Making decisions about dangerous goods positioning is crucial when it is necessary to minimize environmental risks. In this paper, a specific problem of locating various kinds of dangerous goods (with different characteristics) has been considered. Such goods should be located in a known discrete set of potential storage sites, under condition of the minimum safety distance (MSD) between selected locations. The existence of the MSD is a consequence of the possibility that dangerous goods transfer their undesirable effects to the objects in the neighborhood. The objective here is to maximize the quantity of different kinds of dangerous goods stored meanwhile respecting MSDs. For some dangerous goods, the MSD may be determined as a constant value, which depends only on the dangerous goods' characteristics. On the other hand, the MSD may vary depending on quantity and characteristics of particular dangerous goods. Mixed integer linear programming models are proposed for these two types of MSDs. The spirit of the anti-covering location problem (ACL P) is present in the proposed formulations and thus these models can be viewed as a modification and extension of the ACL P. Finally, a randomly generated numerical example has been used to verify and illustrate the proposed models.

Key words: *spray coatings, repairs, plasmas, engines, deposits, coating.*

ACKNOWLEDGEMENT: This work was partially supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia through projects TR 36006 and TR 36002 for the period 2011-2015.

This paper represents the extension of authors' previous research (Dimitrijević et al, 2013).

Introduction

Various widely used goods can be dangerous. Different kinds of gases, liquids, and explosives represent some examples of dangerous goods. Such goods generate different undesirable effects which can be felt over a certain geographical area, so making decisions about their positioning is crucial when it is necessary to minimize all types of risks.

In this paper, the specific problem of storing dangerous goods in a known discrete set of potential storage sites has been considered. This problem is modeled and solved as a location problem. In this process, the minimum safety distance (MSD), both among the storage sites themselves and among the storage sites and other neighboring objects, should be respected. The existence of the MSD is a consequence of the possibility for dangerous goods to impact the objects in the neighborhood. These impacts spread spherically from the source within a certain radius called the MSD. For some dangerous goods, the MSD can be determined as a constant value, which depends only on the dangerous goods' characteristics, and for some others, the MSD is not a constant value, but depends on quantity and other characteristics of dangerous goods. In this paper, both versions of MSDs are considered; therefore, two types of location problems have been analyzed and formulated: the location problem with MSDs as constant radii, and the location problem with MSDs as variable radii. The objective in both location problems is to maximize the quantity of different kinds of dangerous goods stored, meanwhile respecting their different requirements related to MSDs.

The contributions of this paper are threefold. First, we made a comprehensive literature review, with the effort to include all the most relevant papers for the considered problem. Second, for the location problem with MSDs as variable radii, the mathematical formulation given in our previous research outcome (Dimitrijević et al., 2013) is improved. Finally, we proposed a mathematical formulation for the problem with MSDs as constant values.

The paper is organized in seven sections. Two following sections are devoted to literature review related to undesirable facility locations in general and the anti-covering location problem relevant for this research. In the subsequent sections, a detailed problem description, problem formulations and computational examples are given. The concluding remarks are presented in the last section.

Literature review

Numerous single undesirable facility location models use maximin or maxisum objectives. The maximin objective is to find a location of the undesirable facility such that the least (weighted) distance to all associated nodes is maximized (Drezner and Wesolowsky, 1980), (Tamir, 1991), (Berman and Drezner, 2000), while the maxisum objective is to site a facility so as to maximize the (weighted) sum of the distances from the facility to all associated nodes (Church and Garfinker, 1978), (Brimberg and Weselowsky, 1995). For the multiple facilities case, there are many models, depending on how one defines the objective function. For example, one version of the maximin problem is the p -dispersion problem, in which there are p facilities to be located on the network in a way that the minimum distance between any two facilities is as large as possible (Moon and Chaudhry, 1984). Another version is the maxisum dispersion problem which maximizes the sum of minimum separation distances, with one separation distance defined for each facility, while locating p -facilities, called the p -defense problem (Moon and Chaudhry, 1984). Kuby (Kuby, 1987) expanded this concept to a problem that maximizes the sum of all separation distances between all pairs of facilities. A very comprehensive review of distance maximization models for undesirable single facilities as well as multiple facility locations can be found in (Erkut and Neuman, 1989). Later on, Erkut and Neuman (Erkut and Neuman, 1991) considered all previous dispersion problems adding a fourth p -facilities location problem in which each facility is represented by the sum of separation distances to the other $p-1$ facilities and where the objective is to maximize the smallest of these sums. Curtin and Church (Curtin and Church, 2006) proposed general forms of problems which involve the location of different types of facilities, where the interaction between different types has a defined repulsion weight. Lei and Church (Lei and Church, 2013) have shown that all four models compared by (Erkut and Neuman, 1991) can be viewed as special cases of a general dispersion model using a concept based on vector assignment.

“Coverage” of the node assumes the existence of a facility within a pre-specified coverage radius. In the cases when the idea is to locate the desirable facilities in networks, analysts try to cover the clients' demand as much as possible. Farahani et al. (Farahani et al., 2012) presented a comprehensive review of models, solutions and applications related to the covering problem. Undesirable facility location problems with a covering concept are called Minimum Covering Location problems. Drezner and Wesolowsky (Drezner and Wesolowsky, 1994) considered the Minimum Covering Location problem on the plane. Berman et al. (Berman et al., 1996) studied the

problem on a network and presented an algorithm to solve the problem. They also analyzed the sensitivity of the coverage radius. Berman et al. (Berman et al., 2003) investigated the Minimum Covering Location problem which they called Problem 2 of the Expropriation Location Problem on a network and generalized the search for the optimal solution to a dominant set of points. They defined all demand nodes as covered if the weighted distance from the facility is less than a pre-specified radius. Plastria and Carrizosa (Plastria and Carrizosa, 1999) formulated a bi-objective undesirable facility location problem in the plane. In this problem, an undesirable facility must be located within some feasible region; the region can have any shape in the plane or on a planar network. The objective functions of the problems are: maximization of a radius of influence and minimization of the total covered population. Berman and Huang (Berman and Huang, 2008) investigated the Minimum Covering Location Problem with Distance Constraints (MCLPDC). The objective function minimizes the total demand covered through locating a fixed number of facilities with distance constraints on a network. The major constraint of this problem is that no two facilities are allowed to be closer than a pre-specified distance. Another location problem with the same distance constraint but with the aim to find maximally weighted set of location sites is the Anti-Covering Location Problem (ACLP) (Moon and Chaudhry, 1984), (Murray and Church, 1997). A brief description and formulation of the ACLP will be given in the following section, since its spirit appears in location models presented in this paper.

The Anti-covering location problem

The ACLP, introduced by Moon and Chaudhry (1984), belongs to the class of discrete location problems and could be defined in the following way: for a given set of potential facility location sites, a maximally weighted set of facilities is located in such a way that no two placed facilities are inside a pre-specified distance of each other. In the case of ACLP, the total number of facilities to be sited is not given in advance.

There are a few mathematical formulations of the ACLP proposed in literature (Moon and Chaudhry, 1984), (Murray and Church, 1997).

Let us introduce binary variables x_i defined in the following way:

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{if node } i \text{ is chosen to be a facility location site} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Consider the following notation:

n – total number of potential location sites,

w_i – potential location site's weight (benefit associated with the use of location i)

d_{ij} – the shortest distance between potential location sites i and j ,

R – pre-specified minimum distance, and

$\pi_i = \{j | d_{ij} \leq R \wedge i \neq j\}$ – locations that are at a distance less than or equal to R , excluding a particular location site i

M – a large positive number.

The following mathematical formulation of the ACLP is proposed by Moon and Chaudhry (1984):

$$\max Z = \sum_i w_i x_i \quad (1)$$

$$Mx_i + \sum_{j \in \pi_i} x_j \leq M, \forall i \quad (2)$$

$$x_i \in \{0,1\}, \forall i \quad (3)$$

The objective function (1) maximizes the total weighted selection of the location sites. Constraints (2) are referred as Neighborhood Adjacency Constraints (NAC). If the location site i is selected (i.e. $x_i = 1$), then the term Mx_i equals the right hand side term, M , and forces $\sum_{j \in \pi_i} x_j = 0$. Thus, if the location site i is used, then all sites j within the R

distance, in the neighborhood of the site i , π_i , are restricted from use. Constraints (3) define problem binary variables. Other mathematical formulations of the ACLP (Murray and Church, 1997) differ from the original ACLP formulation in the specification of the NAC (2), because of the impact that the NAC structure has on problem solvability.

Niblett (Niblett, 2014) proposed a new and improved optimization model for the ACLP when applied to a discrete set of points in the Cartesian plane using a combination of separation conditions called core-and-wedge constraints. Equally, he developed a new model when less than optimal sites are employed in a dispersive pattern called the Disruptive Anti-Covering location model. Carrizosa and Tóth (Carrizosa and Tóth, 2015) analyzed and solved the continual Anti-Covering Location Problem. They formulated a bi-objective optimization model which minimizes a sum of "facility - individual" interactions, and a sum of "facility - facility" interactions. Atypically, in this problem, individuals affected by facility placement are not located at a finite number of known points.

The ACLP, as the convenient NP-hard problem (Garey and Johnson, 1979), is solved by various heuristic and meta-heuristic algorithms: Greedy Heuristic algorithms (Chaudhry et al., 1986), Lagrangian relaxation (Murray and Church, 1997), Genetic Algorithm (Chaudhry, 2006), Column Generation (Ribeiro and Lorena, 2008), Greedy Randomized Adaptive Search (Cravo et al., 2008) and Bee Colony Optimization meta-heuristic (Dimitrijević et al., 2012).

A wide variety of particular applications of the ACLP can be found in literature. The applications include forest management (Barahona et al., 1992), telecommunications (Balas and Yu, 1986), military defense location and various planning problems (Moon and Chaudhry, 1984), (Chaudhry et al., 1986). The spirit of anti-covering restrictions appears in the literature examining separation or dispersion of entities as well, such as land management areas, solution selection, franchise distribution, etc. (Murray and Church, 1997). Grubestic and Murray (Grubestic and Murray, 2008) proposed its use in analyzing policies that dictate the separation of sex offender residences from each other as well as from selected fixed elements on the landscape. Downs et al. (Downs et al., 2008) used the ACLP to analyze the carrying capacity of a population of sandhill cranes. Williams (Williams, 2008) employed a separation distance in the selection of biological reserve sites. Church (Church, 2013) has used the ACLP in estimating the size and extent of a core habitat. Grubestic et al. (Grubestic et al., 2012) analyzed the impacts of alcohol outlet distribution in Philadelphia based upon the ACLP.

Dimitrijević et al. (Dimitrijević et al., 2012) presented an illustration of the ACLP application in a dangerous goods' warehouse location problem. They showed that when the MSD is given as a constant value and only one type of dangerous goods has to be located in warehouses, with the aim to maximize its quantity, then the "classical" ACLP formulation is suitable for the problem description. Dimitrijević et al. (Dimitrijević et al., 2013) considered a specific version of the ACLP through its modifications and extensions, whose objective is to locate the maximum quantity of different kinds of dangerous goods, with safety distances as variable radii, in the existing storage sites. A Mixed Integer Linear programming model is proposed for this kind of problems. Meanwhile, in this paper, M (M = sufficiently large number) is removed from constraints from the previous approach, which improves the problem solvability. This paper also introduces a formulation of the problem with the same objective function but with safety distances as constant radii of undesirable effects.

Thus, this research focuses on one class of real problems dealing with the distribution of maximum quantities of different kinds of dangerous goods in the existing storage sites. The undesirable impact of different kinds of dangerous goods imposes restriction requirements

between storage sites. These requirements are different MSDs, both with constant and variable radii. Since the ACLP has been characterized by the presence of “interactions” between locations sites, its basic principles are used in our problems formulations. Consequently, a classical ACLP is significantly upgraded so as to sustain the above mentioned requirements and to enable solving the described problems in case when dangerous goods are different kinds of explosives. Similar problems (storing other dangerous goods including dangerous waste, parking vehicles carrying different kinds of dangerous goods, etc.) require small adjustments to the models presented hereafter.

Problem description

Storing and keeping dangerous goods like explosives, flammable materials and compressed gasses is characterized by the opportunity to transfer undesirable effects to the objects in the neighborhood thus causing destruction, serious damage and fire in these areas. Those effects spread spherically from the source, reaching the surrounding objects within a certain radius known as the MSD. In this paper, MSD values correspond to explosives' type and/or amount.

In case when the MSD depends on the quantity of explosive stored, it can be calculated in the following way (AFMAN 91-201, 2011):

$$R = P \cdot Q^{1/3} \quad (4)$$

where: R is the minimum safety distance required; P is the protection factor depending on the degree of risk assumed or permitted; Q is the net explosive weight for the given quantity of certain explosive.

There are a few types of safety distances related to explosives (AFMAN 91-201, 2011): inhabited building distance (IBD)¹, public traffic route distance (PTRD)², intraline distance (ILD)³ and intermagazine distance (IMD)⁴. They differ in the value of the protective factor P . Very often the IBD, PTRD and ILD have the same P and are larger than the IMD. That is why

¹ This is the minimum distance required to protect facilities and personnel not directly related to explosives storage and operations.

² This is the minimum distance required to protect public traffic routes and other designated exposures. At this distance, damage and personnel injury is expected.

³ This is the minimum distance required to protect activities associated with explosives storage and operations.

⁴ This is the minimum distance between potential explosion sites required to prevent one potential explosion site from simultaneously detonating an adjacent potential explosion site.

the MSD is divided into distances between the storage sites (internal safety distance - ISD), and distances between the storage sites and the neighboring objects (external safety distance - ESD). The ESD is larger than the ISD in the cases of other dangerous goods, as well as in situations when their MSDs are constant values. One example is shown in Figure 1.

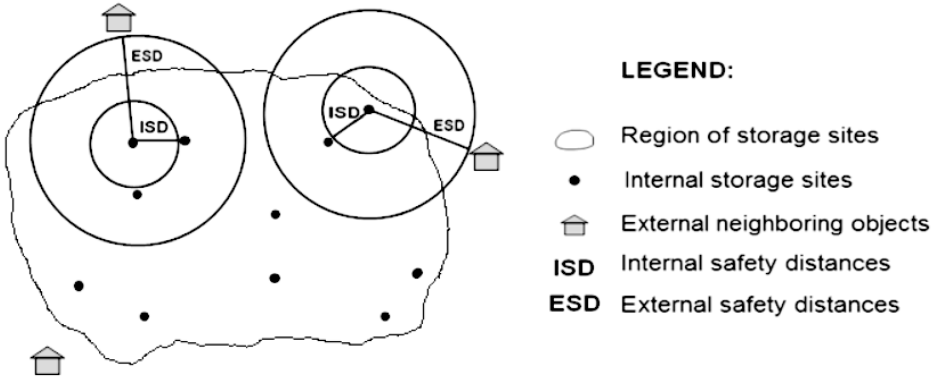


Figure 1 – Potential storage sites and external objects
 Рус. 1 – Потенциальные местоположения для складирования и объекты вблизи
 Slika 1 – Potencijalne lokacije skladišta i objekti u njihovoj okolini

Usually when there are several types of dangerous goods, it is necessary to respect (apply) certain rules regarding compatibility groups' requirements.

According to (AFMAN 91-201, 2011), compatibility groups are also used for segregating explosives on the basis of similarity of function, features, and accident effects potential. In developing the various compatibility groups, these factors are considered: chemical and physical properties, design characteristics, inner and outer packaging configurations, hazard class and division, net explosive weight, rate of deterioration, sensitivity to initiation, and effects of deflagration, explosion, or detonation. The compatibility group assigned to explosives indicates what can be stored with the explosive without increasing significantly either an accident's probability or, for a given quantity, the magnitude of an accident's effects. Explosives of different compatibility groups may only be mixed in storage as indicated in the storage compatibility mixing chart. For a mixture of compatible explosives with variable MSDs, the MSD depends on the total net explosive weight and the largest *P* among them.

The problem considered in this paper can be defined in the following way: elect storage location sites to be used, and determine the type and quantity of dangerous goods to be stored in these locations, in a way to maximize the total amount of stored dangerous goods, while respecting safety and compatibility constraints.

Problem formulations

Let $N = \{1, \dots, i, j, \dots, n\}$ be the set of all locations relevant for this problem and d_{ij} ($i, j \in N$) the Euclidean distance between them. The set N is partitioned into two subsets $N = N_I \cup N_E$, where N_I represents a set of sites inside a designated area which are candidates for storing dangerous goods (internal storage sites), and N_E represents a set of external objects that must be kept at a safe distance from the dangerous goods stored in internal sites. To each $i \in N_I$, is associated C_i , which represents potential storage or location's capacity restriction or the maximum quantity of dangerous goods that can be stored in a specific location. Let $D = \{1, \dots, k, r, \dots, m\}$ be a set of different types of dangerous goods. Two scalars R_k^I, R_k^E are associated to each dangerous good $k \in D$, which represent the ISD and the ESD, respectively, and $R_k^E > R_k^I$. In the case when the MSD depends on the quantity of explosives stored, R_k^I and R_k^E are calculated by relation (4), shown in the previous section. It is assumed that the protection factor P , for each explosive $k \in D$, has two values: P_k^I and P_k^E , for the ISD and the ESD, respectively, and $P_k^E > P_k^I$. Also, for practical reasons, for each type of dangerous goods, we defined the minimum quantity that must be stored and denoted with q_k^{min} . Finally, let I_{kr} be the compatibility index which takes a value of 1 if explosives $k \in D$ and $r \in D$ can be stored at the same location, otherwise it takes a value of 0.

Let us introduce the variables:

x_{ik} – quantity of explosive k stored at the location i

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{if any quantity of explosive } k \text{ is stored at the location } i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$t_{ikr} = \begin{cases} 1 & \text{if explosives } k \text{ and } r \text{ are stored at the same location } i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{if any quantity of any explosive is stored at the location } i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

In this paper, based on previous research by Dimitrijević et al. (2013), in the case when the ISD and the ESD depend on the quantity of explosive stored, the location problem analyzed here, called the Quantity

Dependent ACLP (QDACLP), is formulated as the following improved version of the mixed integer linear programming (MILP) problem:

$$\max \sum_{i \in N_I} \sum_{k \in D} x_{ik} \quad (5)$$

subject to:

$$\sum_{k \in D} x_{ik} - (2 - y_{ir} - z_j) \cdot C_i \leq \left(\frac{d_{ij}}{P_r^I} \right)^3 \quad \forall i \in N_I; j \in N_I; i \neq j; r \in D \quad (6)$$

$$\sum_{k \in D} x_{ik} - (1 - y_{ir}) \cdot C_i \leq \left(\frac{d_{ij}}{P_r^E} \right)^3 \quad \forall i \in N_I; j \in N_E; i \neq j; r \in D \quad (7)$$

$$x_{ik} \leq y_{ik} \cdot C_i \quad \forall i \in N_I; k \in D \quad (8)$$

$$\sum_{k \in D} x_{ik} \leq C_i \quad \forall i \in N_I \quad (9)$$

$$\sum_i x_{ik} \geq q_k^{\min} \quad \forall k \in D \quad (10)$$

$$\sum_{k \in D} y_{ik} \leq z_i \cdot m \quad \forall i \in N_I \quad (11)$$

$$y_{ik} + y_{ir} - t_{ikr} \leq I_{kr} \quad \forall i \in N_I; k \in D; r \in D \quad (12)$$

$$y_{ik} \in \{1, 0\} \quad \forall i \in N_I; k \in D \quad (13)$$

$$t_{ikr} \in \{1, 0\} \quad \forall i \in N_I; k \in D; r \in D \quad (14)$$

$$z_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N_I \quad (15)$$

The objective function (5) that should be maximized presents the total quantity of explosives stored at selected internal storage sites. Constraints (6) can be referred to as internal NAC which provides that the maximum amount of explosives stored at the observed location i is limited and will not put in danger other internal location sites with explosives stored, and vice versa. Similarly, constraints (7) can be referred to as external NAC which provide that external objects are not put in danger by the maximum amount of explosives stored at any of internal storage sites. Constraints (8) do not allow storing dangerous goods at the observed location i if it is not a chosen candidate for storing

dangerous goods. The quantity of dangerous goods stored at the observed location cannot exceed location's capacity restriction considering constraints (9). The minimum quantity of each explosive type that must be stored internally is determined by constraints (10). These constraints are important in order to prevent storing only explosives with minor MSDs. Constraints (11) enable that the variable z_i takes a value of 1 if any quantity of any explosive type is stored in the observed location i . Constraints (12) allow that compatible explosives can be located at the same storage site. Constraints (13, 14, 15) define variables as binary.

In the case when the ISD and the ESD are constant values (do not depend on the quantity of dangerous goods stored), the location problem called the Quantity Independent ACLP (QIACLIP) is formulated in the same manner as the QDACLIP. Exceptions are internal and external NAC, (6) and (7), which become as follows, and are denoted as (16) and (17), respectively.

$$(y_{ir} + z_j) \cdot R_r^I \leq d_{ij} + R_r^I \quad \forall i \in N_I; j \in N_I; i \neq j; r \in D \quad (16)$$

$$y_{ir} \cdot R_r^E \leq d_{ij} \quad \forall i \in N_I; j \in N_E; r \in D \quad (17)$$

For a mixture of compatible explosives with different constant MSDs, the ISD takes the value of the largest among ISDs, and the ESD takes the value of the largest among ESDs.

Computational examples

In this section, the proposed MILP formulations for the QDACLIP and the QIACLIP are tested on one hypothetical numerical example. The input data for a hypothetical numerical example are given in Tables 1, 2, 3, and 4.

The set N_I consists of fifteen storage sites whose (x,y) coordinates and capacities are given in Table 1. The set N_E contains ten external objects, and their (x,y) coordinates are presented in Table 2.

Table 1 – Characteristics of potential internal storage sites (Dimitrijević et al., 2013)

Таблица 1 – Характеристики потенциальных внутренних местоположений для складирования (Dimitrijević et al., 2013)

Tabela 1 – Karakteristike potencijalnih internih lokacija za skladištenje (Dimitrijević et al., 2013)

Characteristics	Internal storage sites									
	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Coordinate X	803	761	270	409	755	474	651	309	572	362
Coordinate Y	483	397	603	479	829	466	711	954	367	792
Capacity [kg]	8030	5060	4550	4480	4830	3550	4290	4420	7960	4500

Characteristics	Internal storage sites				
	No.	11	12	13	14
Coordinate X	233	538	605	556	419
Coordinate Y	840	681	676	990	758
Capacity [kg]	5000	9750	4600	4280	7380

Table 2 – Characteristics of external objects (Dimitrijević et al., 2013)
Таблица 2 – Характеристики внешних объектов (Dimitrijević et al., 2013)
Tabela 2 – Karakteristike eksternih objekata (Dimitrijević et al., 2013)

Characteristics	External objects									
	No.	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Coordinate X	187	121	418	747	210	298	620	139	119	170
Coordinate Y	217	961	127	131	598	204	136	342	642	521

There are four types (groups) of explosives and their characteristics are given in Table 3. The protection factors should be used in the case of the QDACLP, while internal and external safety distances should be used in the case of the QIACLP.

Table 3 – Characteristics of dangerous goods
Таблица 3 – Характеристики опасных материалов
Tabela 3 – Karakteristike opasnih materija

Characteristics	Explosives			
	1	2	3	4
Explosive types	1	2	3	4
Minimal quantity to be stored [kg]	5000	5000	5000	5000
Internal safety distance [m]	250	190	190	170
External safety distance [m]	280	220	240	210
Protection factor for internal locations	17	11	11	10
Protection factor for external objects	18	16	15	18

Different groups of explosives may only be mixed in storage as indicated in Table 4. Table 4 presents a hypothetical storage compatibility mixing chart in which value 1 at an intersection indicates that explosives may be combined in storage, while 0 stands for prohibited mixing.

Table 4 -- Storage compatibility mixing matrix (Dimitrijević et al., 2013)
Таблица 4 – Матрица комбинирования совместимых взрывчатых веществ при складировании (Dimitrijević et al., 2013)
Tabela 4 – Matrica kombinovanja kompatibilnih eksploziva pri skladištenju (Dimitrijević et al., 2013)

	Explosive 1	Explosive 2	Explosive 3	Explosive 4
Explosive 1	1	0	0	1
Explosive 2	0	1	1	1
Explosive 3	0	1	1	0
Explosive 4	1	1	0	1

The same hypothetical example is used for both cases: QDACLP and QIACLP. These problems are solved by using the academic version of the CPLEX.

In the numerical example, for the QDACLP case, the binary decision variables $z_1, z_3, z_4, z_5, z_8, z_9, z_{11}, z_{12}$ and z_{14} , take a value of 1. Thus, the internal storage sites 1, 3, 4, 5, 8, 9, 11, and 14 should be used for storing dangerous goods. Table 5 shows the quantity of each type of explosive which should be stored in these sites.

Table 5 – Solution of the QDACLP numerical example
Таблица 5 – Решение численного примера QDACLP
Tabela 5 – Rešenje numeričkog primera QDACLP

Internal storage sites	Type of explosive	Stored quantity [kg]
1	2	4343.4
	4	3420.7
3	3	64.7
4	3	3693.5
5	1	3413.8
8	3	1932.4
9	3	3891.3
11	2	656.6
	3	437.7
12	3	9750
14	1	1586.2
	4	1579.3

As shown in Table 5, two types of explosives are located in storage sites 1, 11, and 14, while only one in 3, 4, 5, 8, 9 and 12. For example, 4343.4 kg of type 2 explosive ($x_{12} = 4343.4$), and 3420.7 kg of type 4

explosive ($x_{14} = 3420.7$) should be located in storage site 1, while 64.7 kg of type 3 explosive should be located in storage site 3, etc. The total quantity of dangerous goods stored in all storage sites is 34769.6 kg. An illustration of the solution is depicted in Figure 2.

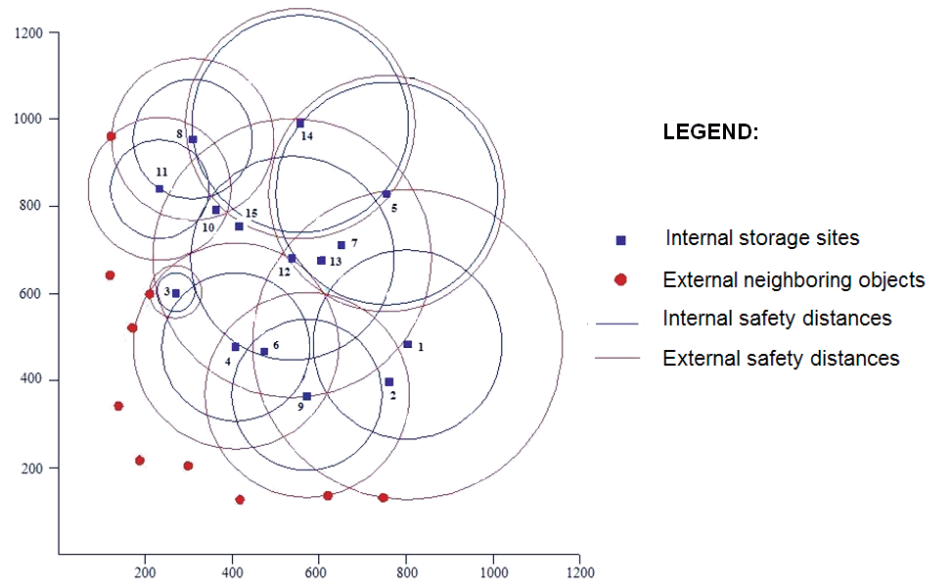


Figure 2 – Illustration of the QDACLP solution
 Рис. 2 – Иллюстрация решения QDACLP
 Slika 2 – Ilustracija rešenja QDACLP

The optimal solution of the numerical example in the case of the QIACLP is shown in Table 6. The decision variables $z_1, z_4, z_5, z_9, z_{10}, z_{12},$ and z_{14} take a value of 1. Thus, internal storage sites 1, 4, 5, 9, 10 and 12 should be used for storing explosives.

Table 6 – Solution of the QIACLP numerical example
 Таблица 6 – Решение численного примера QIACLP
 Tabela 6 – Rešenje numeričkog primera QIACLP

Internal storage sites	Type of explosive	Stored quantity [kg]
1	2	7530
	3	500
4	2	4480
5	1	4830
9	2	7960
10	3	4500
12	4	9750
14	1	4280

As shown in Table 6, two types of explosives are located in storage site 1, while only one in 4, 5, 9, 10, 12 and 14. For example, 7530 kg of type 2 explosive ($x_{12} = 7530$), and 500 kg of the type 3 explosive ($x_{13} = 500$) should be located in storage site 1. Besides, type 2 explosive should be located in storage sites 4 ($x_{42} = 4480$) and 9 ($x_{92} = 7960$), and so on. The total quantity of dangerous goods stored is 43830 kg. The QIACLP solution is illustrated in Figure 3.

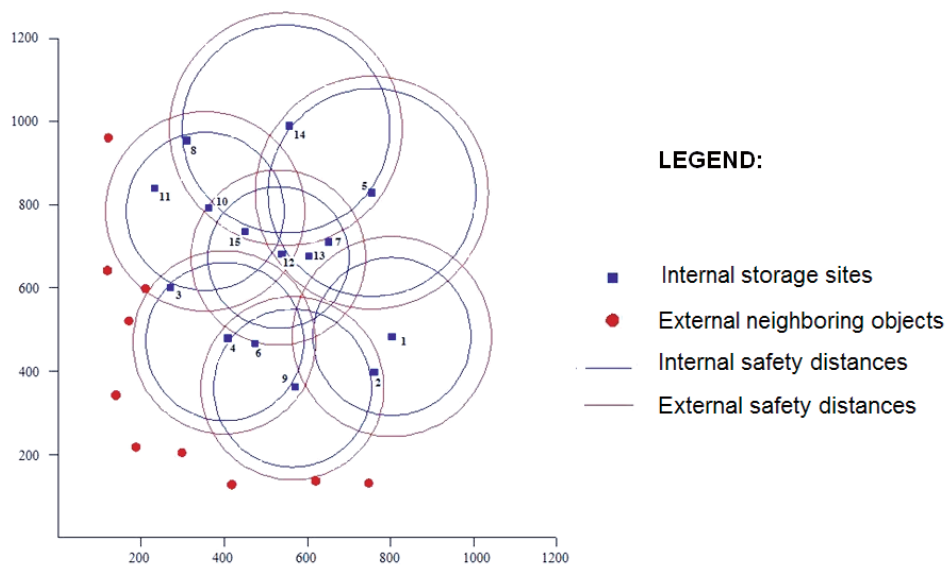


Figure 3 – Illustration of the QIACLP solution

Рис. 3 – Иллюстрация QIACLP

Slika 3 – Ilustracija rešenja QIACLP

Conclusion

In this paper, the authors studied the location problem implemented on storing dangerous goods. A known discrete set of storage sites is used for storing different types of dangerous goods. They are characterized by the opportunity to transfer their undesirable effects to the objects in the neighborhood. These effects define separation distances among objects with dangerous goods called minimum safety distances (MSDs). The observed undesirable effects spread spherically from the sources with constant and variable radii. Some classes of explosives are assumed to be good representatives the MSD of which depends on the quantity and/or characteristics of the activated material.

The objective is to maximize the quantity of different kinds of explosives located at existing storage sites, while respecting MSDs.

MILP models for the observed problems (QDACLP and QIACLP) are developed. The spirit of the ACLP is present in the proposed formulations and thus the QDACLP and the QIACLP can be viewed as modifications and extensions of the ACLP.

Future research will include a more comprehensive model testing to establish CPLEX boundaries and potentially to “open the door” to heuristics and meta-heuristics for problem solving. Also, possible uncertainties of MSDs could be considered by introducing appropriate stochastic models.

References

- AFMAN 91-201. 2011. Department of the Air Forces, United States of America: Explosives Safety Standards, Available on Web site: www.e-publishing.af.mil
- Balas, E., Yu, C., 1986. Finding a maximum clique in an arbitrary graph. *SIAM Journal on Computing*, 15, 1054-1068.
- Barahona, F., Weintraub, A., Epstein, R., 1992. Habitat dispersion in forest planning and the stable set problem. *Operations Research*, 40, 1 S14-S21.
- Berman, O., Drezner, Z., 2000. A note on the location of an obnoxious facility on a network. *European Journal of Operational Research*, 120, 215–217.
- Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G.O., 1996. Minimum covering criterion for obnoxious facility location on a network. *Networks*, 28, 1–5.
- Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G.O., 2003. The expropriation location problem. *Journal of Operational Research Society*, 54, 769–776.
- Berman, O., Huang, R., 2008. The minimum weighted covering location problem with distance constraints. *Computers & Operations Research*, 35, 356–372.
- Brimberg, J., Wesolowsky, G., 1995. The rectilinear distance minisum problem with minimum distance constraints. *Location Science*, 3, 203-215.
- Carrizosa, E., Tóth, G. B., 2015. Anti-covering problems. *Location Science*, 115-132.
- Chaudhry, S.S., 2006. A genetic algorithm approach to solving the anti-covering location problem. *Expert Systems*, 23, 251- 257.
- Chaudhry, S., McCormick, S.T., Moon, I.D., 1986. Locating independent facilities with maximum weight: greedy heuristics. *Omega*, 14, 383-389.
- Church, R.L., 2013. Identification and mapping of habitat cores. In F. L. Craighead, & C. L. Convis Jr. (Eds.), *Conservation planning: shaping the future* (1 ed., pp. 219-244). Redlands, California, USA: ESRI Press.
- Church, R.L., Garfinkel, R.S., 1978. Locating an obnoxious facility on a network. *Transportation Science*, 12, 107–118.
- Cravo, G.L., Ribeiro, G.M., Lorena, L.A., 2008. A greedy randomized adaptive search procedure for the point-feature cartographic label placement. *Computers & Geosciences*, 34(4), 373-386.
- Curtin, K.M., Church, R.L., 2006. A family of location models for multiple-type discrete dispersion. *Geographical Analysis*, 38, 248-270.

Dimitrijević, B., Teodorović, D., Simić, V., Šelmić, M., 2012. Bee Colony Optimization Approach to Solving the Anticovering Location Problem. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26, 759–768.

Dimitrijević, B., Nikolić, M., Vukićević, I., Vukadinović, K., 2013. Locating Undesirable Facilities with Variable Coverage Radius, *Proceedings of the XI Balkan Conference on Operational Research – BALCOR 2013*, 524-531.

Downs, J.A., Gates, R.J., Murray, A.T., 2008. Estimating carrying capacity for sandhill cranes using habitat suitability and spatial optimization models. *Ecological Modeling*, 214, 284-292.

Drezner Z., Wesolowsky G., 1980. A maximin location problem with maximum distance constraints. *AIIE Transaction*, 12, 249–252.

Drezner, Z., Wesolowsky, G.O., 1994. Finding the circle or rectangle containing the minimum weight of points. *Location Science*, 2, 83–90.

Erkut, E., Neuman, S., 1989. Analytical models for locating undesirable facilities. *European Journal of Operational Research*, 40, 275–291.

Erkut, E., Neuman, S., 1991. Comparison of four models for dispersing facilities. *INFOR*, 29, 68-86.

Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseiniinia, M., Goh, M., 2012. Covering problems in facility location: A review. *Computers & Industrial Engineering*, 62, 368–407.

Garey, M., Johnson, D., 1979. *Computers and Intractability: A guide to the Theory of NP, Completeness*, Freeman and Company, New York

Grubestic, T.H., Murray, A. T., 2008. Sex offender residency and spatial equity. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 1(3), 175-192.

Grubestic, T.H., Murray, A. T., Pridemore, W. A., Tabb, L. P., Liu, Y., Wei, R., 2012. Alcohol beverage control, privatization and the geographic distribution of alcohol outlets. *BioMed Central*, 12(1015), 1-10.

Kuby, M.J., 1987. Programming models for facility dispersion: the p-dispersion and maximum dispersion problem. *Geographical Analysis*, 19, 315–329.

Lei, T.L., Church, R. L., 2013. A Unified Model for Dispersing Facilities. *Geographical Analysis*, 45, 401-418.

Moon, I.D., Chaudhry, S., 1984. An analysis of network location problems with distance constraints. *Management Science*, 30, 290–307.

Murray, A.T., Church, R.L., 1997. Solving the anti-covering location problem using Lagrangian relaxation. *Computers & Operations Research*, 24, 127–140.

Niblett, M.R., 2014. *The Disruptive Anti-Covering Location Problem: new modeling perspectives and solution approaches*. Dissertation, University of California, Santa Barbara

Plastria, F., Carrizosa, E., 1999. Undesirable facility location with minimal covering objectives. *European Journal of Operational Research*, 119, 158–180.

Ribeiro, G.M., Lorena, L. A., 2008. Column generation approach for the pointfeature cartographic label placement problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 15(2), 147-164.

Tamir, A., 1991: Obnoxious facility location on graphs. *SIAM Journal of Discrete Mathematics* 4, 550–567.

Williams, J.C., 2008. Optimal reserve site selection with distance requirements. *Computers & Operations Research*, 35(2), 488-498.

РАЗМЕЩЕНИЕ ОПАСНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОСТОЯННЫМ И ПЕРЕМЕННЫМ РАДИУСОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Бранка С. Димитриевич, Милош Л. Николич,
Катарина С. Вукадинович, Ивана П. Вукичевич*
Университет в Белграде, Факультет транспорта

ОБЛАСТЬ: логистика, математическое программирование
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Для минимизации угрозы внешнего окружения необходимо разработать систему решений в области размещения опасных веществ. В данной работе рассмотрены проблемы, касающиеся размещения различных видов опасных веществ (с различными характеристиками).

Опасные материалы должны быть размещены в дискретном пространстве потенциальных местоположений складов, при условии соблюдения минимальных безопасных расстояний между выбранными пунктами.

Минимальное безопасное расстояние рассчитывается на основании вероятности неблагоприятного воздействия веществ на внешнее окружение и прилегающие объекты. Цель работы заключается в максимизации количества складированных материалов, соблюдая минимальное безопасное расстояние.

Минимально безопасное расстояние в случае некоторых видов веществ имеет постоянные значения, которые зависят от характеристик опасных веществ.

С другой стороны, минимально безопасное расстояние может колебаться в зависимости от количества опасных веществ и других характеристик.

Для описанных видов минимально безопасного расстояния предлагаются модели смешанного численного метода программирования. Данные модели основаны на проблеме определении местоположения складов, таким образом их можно считать расширенным дополнением задачи программирования выбора местоположения. Верификация модели выполнена на гипотетическом примере, результаты которого приведены в работе.

Ключевые слова: складирование опасных веществ, безопасное расстояние, проблемы безопасного размещения

LOCIRANJE OPASNIH MATERIJA SA KONSTANTNIM I PROMENLJIVIM RADIJUSIMA UTICAJA

*Branka S. Dimitrijević, Miloš Lj. Nikolić,
Katarina S. Vukadinović, Ivana P. Vukićević*
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

OBLAST: logistika, matematičko programiranje
 VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak
 JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

Donošenje odluka o prostornom raspoređivanju opasnih materija neophodno je zbog minimiziranja rizika po okolinu. U ovom radu razmatran je problem lociranja različitih vrsta opasnih materija (sa različitim karakteristikama). One mogu biti locirane unutar poznatog diskretnog skupa potencijalnih lokacija skladišta, pod uslovom da budu zadovoljena minimalna bezbednosna rastojanja između odabranih lokacija. Minimalno bezbednosno rastojanje je posledica postojanja verovatnoće da opasne materije neželjeno deluju na objekte u okolini. Cilj je da se istovremeno maksimizira uskladištena količina različitih opasnih materija, vodeći računa o minimalnim bezbednosnim rastojanjima. Za neke opasne materije minimalno bezbednosno rastojanje je konstantna vrednost, koja zavisi samo od karakteristika opasnih materija. Sa druge strane, minimalno bezbednosno rastojanje može da varira u zavisnosti od količine opasne materije i njenih ostalih karakteristika. Za ova dva tipa minimalnih bezbednosnih rastojanja predloženi su modeli mešovitog celobrojnog programiranja. Ovi modeli zasnovani su na lokacijskom problemu nepokrivanja, pa se mogu tretirati i kao njegova modifikacija i proširenje. Verifikacija modela sprovedena je i ilustrovana na generisanom hipotetičkom primeru čiji su rezultati prikazani.

Ključne reči: skladištenje opasnih materija, bezbednosno rastojanje, lokacijski problem nepokrivanja.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 01. 04. 2015.
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 01. 08. 2015.
 Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 03. 08. 2015.

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



METOD VEKTORA SLIČNOSTI VARIJANATA IDEALNOM REŠENJU

Radomir R. Đukić

Kruševac

e-mail: raddjukic@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-3799-8009>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8418

OBLAST: operaciona istraživanja, višekriterijumsko odlučivanje

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

Sažetak:

U članku se razmatra postupak rešavanja problema višekriterijumskog odlučivanja na jednom nivou kriterijuma i prezentuje metod zasnovan na elementima kompromisnog odlučivanja, Lp metrice i TOPSIS metodu. Daju se preporuke za formiranje početne matrice odlučivanja i transformaciju raznorodnih kriterijumskih vrednosti. Kompromisna rešenja dobijaju se na osnovu vrednosti funkcija Lp metrike i njihovih kombinacija sa koeficijentima – funkcijama relativne verodostojnosti zavisnim od dimenzija problema. Dobijena rešenja zavisna su od parametra p u Lp metrici koji je balansirajući faktor između rešenja sa najvećom ukupnom koristi i rešenja sa minimaks odstupanjima kriterijumskih vrednosti od ideala i antiideala. Ako se zahteva jedinstveno rešenje, ono se dobija objedinjavanjem svih funkcija Lp metrike i primenom vektora sličnosti varijanata idealu, kojim je obuhvaćen i uticaj antiideala. Prikazan je i postupak dobijanja kompromisnih rešenja na osnovu vrednosti elemenata parcijalnih vektora sličnosti idealu i uticaj subjektivno određenog antiideala na rešenja. Primena metoda prikazana je numeričkim primerom.

Ključne reči: višekriterijumsko odlučivanje (VKO), transformacija kriterijumskih vrednosti, kompromisno rešenje, idealno rešenje, Lp metrika, vektor sličnosti idealu (VSI).

Uvod

Problemi višekriterijumskog odlučivanja (VAO) definišu se kao klasa problema višekriterijumskog odlučivanja (VKO) za koje se formira odgovarajući matematički model, ali ne postoji jednoznačno optimalno rešenje. Za razliku od problema višeciljnog odlučivanja (VCO) kao „dobro strukturiranih“ problema VKO, kada se formira matematički model i primenom po-

znatih metoda određuje optimalno rešenje (ako postoji), metodima VAO („meki“ metodi) rešavaju se „loše strukturirani“ problemi VKO (Nikolić, Borović, 1998).

Metod aditivnih težina je najstariji, najjednostavniji, ali i široko primenjivan za rešavanje problema VAO. Od složenijih metoda kod nas su najviše primenjivani metodi ELECTRE, PROMETHEE i AHP, a manje metodi koji se zasnivaju na L_p metrici, iako se njihovom primenom dobijaju kompromisna rešenja, pogodna za dodatnu analizu i poređenja varijanata. Iz grupe metoda kompromisnog rangiranja varijanata kod nas je najpoznatiji metod VIKOR (Opricović, 1998).

Posebnu klasu metoda VAO sačinjavaju metodi koji se baziraju na odnosu kriterijumskih vrednosti varijanata prema vrednostima ideala i/ili antiideala. Obično se podrazumeva da su to „opaženi“ ideal i antiideal, određeni na objektivan način i sa elementima koji su ekstremne kriterijumske vrednosti varijanata. Na taj način formira se primarno područje varijanata (PPV). Donosilac odluke (DO) može da odredi ideal i/ili antiideal i izvan PPV, čime se formira sekundarno područje varijanata (SPV); u problem se unosi subjektivizam DO i moguće su subjektivne preferencije nekih kriterijuma.

U radu su kao osnov postupka za rešavanje problema VAO primenjeni: L_p metrika (Zeleny, 1982), kompromisno programiranje (Opricović, 1986), (Yoon, 1987) i TOPSIS metod (Hwang, Yoon, 1981). Kompromisna rešenja dobijaju se na osnovu parametra L_p metrike (p) koji predstavlja i parametar uravnoteženja između ukupne korisnosti i pojedinačnog odstupanja kriterijumskih vrednosti od ideala i antiideala. Linearnim kombinacijama vrednosti funkcija L_p metrike za različite vrednosti parametra p , za svaku varijantu dobija se objedinjeno rastojanje varijante od ideala i rastojanje od antiideala i dva nova kompromisna rešenja. Konačno rešenje (najbolja varijanta) dobija se prema vrednostima elemenata vektora sličnosti varijanata idealu (VSI), koji objedinjava parametre odnosa varijanata prema idealu i antiideal. Elementi VSI su koeficijenti sličnosti varijanata idealu (KSI) u intervalu $[0, 1]$ i predstavljaju udaljenost varijante od antiideala i kvantitativan su pokazatelj koliko je varijanta dobra u poređenju sa idealom. Na taj način se određuje i koja od referentnih tačaka ima veći uticaj ili pod čijom „kontrolom“ je varijanta.

U radu je prikazan deo šireg istraživanja primene metoda VSI koje obuhvata i analizu osetljivosti rešenja na promenu težina kriterijuma, uticaj proširenja područja varijanata na rešenja, kao i postupak rešavanja hijerarhijski strukturiranih problema VAO primenom metoda VSI. Zbog ograničenog obima rada navedeni delovi istraživanja nisu prikazani.

Matrica odlučivanja i područja varijanata

Ako je skup varijanata $V = \{V_i | i = \overline{1, m}\}$ i svaka od njih je opisana sa n atributa koji se u procesu odlučivanja koriste kao kriterijumi $K_j; j = \overline{1, n}$, problem VAO sastoji se u određivanju varijante V_i , koja je najbolja u odnosu na sve kriterijume K_j . Matrica odlučivanja je $C = \{c_{ij}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}\}$, gde su $c_{ij} \in R$ poznate numeričke vrednosti varijanata V_i prema svakom od kriterijuma K_j (kriterijumske vrednosti), a mogu biti realne vrednosti, njihove ocene ili ocene kvalitativnih pokazatelja. Kriterijumima su pridružene težine $w_j \in (0, 1)$ i logički operatori (min/max kriterijumi: $L_j = \pm 1$).

Ako to priroda problema zahteva, rešenjem problema VAO može se odrediti i grupa povoljnih varijanata ili rang-lista svih varijanata.

Uopšteno, varijante su nezavisne, a kriterijumi međusobno mogu da budu i zavisni. U radu će se kriterijumi smatrati nezavisnim, osim pri utvrđivanju njihovih težina.

Početna matrica odlučivanja

Priprema matrice odlučivanja za primenu metoda VAO zahteva sistemsku preliminarnu analizu problema koji se rešava, pri čemu treba detaljno da se sagledaju svi faktori koji utiču na razmatrani problem VAO, kao i njihova međuzavisnost.

Donosilac odluke, u skladu sa definisanim ciljem VAO (rang-lista svih varijanata, izbor grupe povoljnih varijanata ili izbor najbolje varijante), u preliminarnoj analizi problema treba da odgovori na nimalo laka pitanja, kao što su: koje su varijante moguće i realne, koliki je broj i šta je sadržaj zahteva za kvalitet varijanata, koliko je važnih kriterijuma i šta je njihov sadržaj, kakvi su im međusobni odnosi i uticaj na problem, koje kriterijume i do kog nivoa treba dekomponovati, kako definisati kriterijumske vrednosti i koliki je njihov pojedinačni uticaj na kvalitet varijanata, koje podatke treba prikupiti o varijantama i drugo. Odgovori na ova i druga pitanja u vezi sa problemom nisu jednostavni, pa je time i obaveza DO da u prethodnoj analizi obradi sve relevantne faktore, ali i da izbegne neargumentovane uticaje i preporuke koje mogu da dovedu do neobjektivnog rešenja.

Izbor cilja je važan zato što se pri određivanju kompletne rang-liste ili pri izboru grupe najpovoljnijih varijanata ne sme vršiti test efikasnosti varijanata (rešenja) zbog mogućnosti da dobre varijante, koje se pokažu kao neefikasne, budu odbačene. Kada je cilj VAO izbor jedne najpovoljnije varijante, test efikasnosti je preporučljiv (ali nije neophodan) i njime se problem redu-

kuje, a neefikasne varijante eliminišu iz daljeg postupka. Testom efikasnosti može se odrediti i superiorna (dominantna) varijanta, ako postoji.

Određivanje težina kriterijuma $w_j \in (0,1)$ je posebno osetljivo pitanje u VAO, jer imaju veliki uticaj na rešenja. Težine se određuju objektivnim ili subjektivnim metodima ili njihovim kombinovanjem. Određivanjem vektora težina objektivnim metodima olakšava se rad DO (Milićević, Župac, 2012a, str.39-56). Tada DO ne ispoljava uticaj na njihove vrednosti i one se određuju, uglavnom, za nepromenjene uslove. Subjektivni metodi (Milićević, Župac, 2012b, str.48-70) uključuju DO u određivanje težina kriterijuma i zasnivaju se na saznanjima o okruženju i situaciji u kojoj i za koju se rešava problem, čime se ispoljava njegov uticaj na rešenje. To je posebno važno za sisteme i pojave podložne promenama u kratkim periodima, kada se za promenjene uslove mora preispitati i već utvrđeni vektor težina kriterijuma. Težine kriterijuma obično su brojne vrednosti u intervalu $(0,1)$, a mogu se zadati i kao stohastičke veličine, fazi brojevi ili intervalno oko nominalne vrednosti, posebno kada je za određivanje težina primenjen grupni metod (Blagojević, Matić-Kekić, 2012, str.255-266) ili se težine određuju primenom više metoda.

Logički operatori L_j određuju da li su kriterijumi monotono rastući ($L_j = 1$) ili monotono opadajući ($L_j = -1$). Nemonotoni kriterijumi se određenim postupcima prevode u jedan od dva oblika monotoni kriterijuma, a logički operatori zavise od novog oblika kriterijuma. Mogući način prevođenja kvantitativnih nemonotoni kriterijuma u monotono opadajuće ($L_j = 1$) jeste određivanje vrednosti pomoćnih kriterijumskih funkcija $c_{ij} = |c_{ij} - \mu_j|$, gde je μ_j najpovoljnija vrednost kriterijum K_j .

Prikupljanje, selektovanje i analitička obrada podataka uslovljena je prirodom kriterijuma i mogućnostima DO. Cilj je da se svaka varijanta prema svakom od kriterijuma okarakterise brojem – kriterijumskom vrednošću. U toku prikupljanja podataka i njihovoj analizi moguće su i promene relevantnih kriterijuma (povećanje ili smanjenje njihovog broja, objedinjavanje više kriterijuma u jedan ili eventualno utvrđivanje potreba za dekomponovanje pojedinih kriterijuma) ili promene vektora težina.

Kvantifikacija podataka kvalitativnih kriterijuma vrši se ocenjivanjem (pojedinačno ili grupno) na izabranoj skali ocenjivanja ili drugim metodima. U ovoj fazi određuju se pragovi kvaliteta za svaki kriterijum ili kriterijumske vrednosti koje su prihvatljive za DO i koje svaka varijanta mora da ispunjava kako bi bila razmatrana (ne radi se ako je cilj određivanje rang-liste svih varijanata). Pragovi kvaliteta ili kritične kriterijumske vrednosti osiguravaju da se kao najpovoljnije rešenje ne izabere varijanta koja za jedan ili više kriterijuma nema minimum potrebnih kvaliteta, a prema svim ostalim kriterijumima je veoma kvalitetna. Ako se ideal i antiideal definišu izvan PPV, u ovoj fazi određuju se i vrednosti njihovih elemenata.

Primarno i sekundarno područje varijanata

Primarno područje varijanata (PPV) jeste višedimenzionalni prostor (dimenzije zavise od broja kriterijuma; varijanta je višedimenzionalna tačka) i sadrži sve kriterijumske vrednosti skupa varijanata V_i , ograničeno je njihovim ekstremnim vrednostima, a određuju ga dve referentne tačke: primarni („opaženi”) ideal i antiideal $V_N^* = \{c_j^*\}$ i $V_N^- = \{c_j^-\}$, sa elementima:

$$\begin{aligned} c_j^* &= \max_i \{c_{ij}; j \in J^+\} \wedge c_j^* = \min_i \{c_{ij}; j \in J^-\}; \\ c_j^- &= \min_i \{c_{ij}; j \in J^+\} \wedge c_j^- = \max_i \{c_{ij}; j \in J^-\}; \end{aligned} \quad (1)$$

gde podskup $J^+ = \{j | L_j = 1\}$ predstavlja monotono rastuće, a podskup $J^- = \{j | L_j = -1\}$ monotono opadajuće kriterijume ($J^+ \cup J^- = J$).

Sekundarno područje varijanata (SPV) takođe je višedimenzionalni prostor u kojem je sadržano PPV, a čije granice određuju tačke sekundarnih (imaginarnih) ideala i antiideala ($V_S^{**}; V_S^{-}$). Donosilac odluke određuje poželjne i nepoželjne (kritične) kriterijumske vrednosti izvan PPV ili u kombinaciji sa graničnim kriterijumskim vrednostima PPV i definiše „željeni” ideal $V_S^{**} = \{c_j^{**}\}$ i „zahtevani” antiideal $V_S^{-} = \{c_j^{-}\}$. Odnos elemenata referentnih tačaka PPV i SPV je:

$$c_j^* \leq c_j^{**} \wedge c_j^- \geq c_j^{-}; j \in J^+ \text{ i } c_j^* \geq c_j^{**} \wedge c_j^- \leq c_j^{-}; j \in J^-. \quad (2)$$

Proširenje PV postoji ako je ispunjen bar jedan od uslova:

– u sekundarnom idealu V_S^{**} postoji makar jedna imaginarna kriterijumska vrednost c_j^{**} koja bi bila povoljnija za kvalitet varijanata od kriterijumske vrednosti istog kriterijuma c_j^* u primarnom idealu V_N^* (npr.: manji troškovi, veća pouzdanost):

$$c_j^* < c_j^{**}, j \in J^+ \vee c_j^* > c_j^{**}, j \in J^-; \exists j \in J; \text{ ili}$$

– u sekundarnom antiidealom V_S^{-} postoji makar jedna imaginarna kriterijumska vrednost koja bi bila nepovoljnija za kvalitet varijanata od kriterijumske vrednosti istog kriterijuma c_j^- u primarnom antiidealom V_N^- (npr.: veći troškovi, manja pouzdanost):

$$c_j^- > c_j^{-}, j \in J^+ \vee c_j^- < c_j^{-}, j \in J^-; \exists j \in J.$$

U PPV je moguće dodavanje novih varijanata sa kriterijumskim vrednostima koje ne prelaze njegove granice i time se poredak postojećih varijanata ne menja. Dodavanjem novih varijanata sa kriterijumskim vrednostima izvan postojećeg PPV, ili isključivanjem nekih od postojećih varijanata, postoji mogućnost da će se formirati novo PPV sa novim referentnim tačkama $(V_N^*; V_N^-)$, a poredak postojećih varijanata je podložan promenama. Pri povećanju ili smanjenju broja varijanata ili zameni nekih postojećih novim varijantama, stalnost poretka postojećih varijanata osigurava se formiranjem SPV sa stalnim referentnim tačkama $(V_S^{**}; V_S^-)$, koje je dovoljno „prostrano” da prihvati i sve kriterijumske vrednosti novih varijanata.

Određivanjem ideala i antiideala na subjektivan način DO precizira kriterijumski okvir vrednosti ili interval prihvatljivih vrednosti za svaki kriterijum. Definisanjem vrednosti elemenata antiideala $V_S^- = \{c_j^-\}$ u SPV istovremeno se mogu definisati i kritične kriterijumske vrednosti. Za jedan kriterijum vrednost elementa antiideala i kritična kriterijumska vrednost mogu (ali ne moraju) da budu jednake. Pri njihovim različitim vrednostima, za definisanje kritičnih vrednosti moraju se postaviti stroži uslovi, jer SPV mora obuhvatiti sve kritične vrednosti kriterijuma. Ako DO ne definiše antiideal, potrebno je da definiše kritične kriterijumske vrednosti, osim ako se zahteva samo rang-lista, a ne i izbor najpovoljnije varijante ili grupe povoljnih varijanata.

Subjektivno određivanje ideala i antiideala nije lak zadatak za DO i zahteva njegovo dobro poznavanje svih faktora koji utiču na problem koji se rešava, jer pri tome treba odrediti moguće vrednosti kriterijuma kojih nema u skupu realnih kriterijumskih vrednosti. Postoji rizik da se ideal i antiideal odrede znatno izvan PPV, čime se povećavaju razlike između realnih i referentnih vrednosti i gubi se na značaju razlika parametara kvaliteta realnih varijanata (gubi se oštrina ocene kvaliteta varijanata).

Mnogo je teže određivanje ideala nego antiideala, pa ima smisla određivati i položaj varijante u odnosu na antiideal (ili: ako je varijanta dalja od antiideala, verovatno je onda i bliža idealu, pa time i kvalitetnija). Pravilno određivanje antiideala izvan PPV omogućuje bolju transformaciju realnih kriterijumskih vrednosti u bezdimenzionalne parametre.

Numerički primer. Metod vektora sličnosti varijanata idealu biće prikazan na numeričkom primeru sa četiri varijante i pet kriterijuma. Početna matrica kriterijumskih vrednosti $C = \{c_{ij}; i = \overline{1,4}; j = \overline{1,5}\}$, sa težinama kriterijuma $w_j \in (0,1)$ i logičkim operatorima L_j , prikazana je u tabeli 1. U istoj tabeli prikazani su i elementi V^* i V^- dobijeni primenom izraza (1),

a radi analize odnosa PPV i SPV uvodi se $X = \{x_j; j = \overline{1, n}\}$, kao veštačka varijanta i središte PPV, sa elementima $x_j = (c_j^* + c_j^-)/2; \forall j \in J$.

Tabela 1 – Početna matrica odlučivanja $C = \{c_{ij}\}$ u primarnom PV
 Таблица 1 – Исходная матрица принятия решений $C = \{c_{ij}\}$ в первичном PV
 Table 1 – Initial decision-making matrix $C = \{c_{ij}\}$ in the primary S

i \ j		Kriterijumi				
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
Varijante	V_1	405	90	1134	60	142
	V_2	370	83	970	36	154
	V_3	418	72	990	44	144
	V_4	352	62	1028	54	120
Refer. tačke	X	385	76	1050	48	137
	V^*	418	62	1134	36	154
	V^-	352	90	970	60	120
w_j		0,13	0,22	0,28	0,20	0,17
L_j		1	-1	1	-1	1

Težine kriterijuma ocenjene su poređenjem po parovima i primenom linearne celobrojne skale ocenjivanja.

Transformacija kriterijumskih vrednosti

Vrednosti elemenata početne matrice $C = \{c_{ij}\}$ obično su, prema kriterijumima, izražene različitim jedinicama mera (heterogeni kriterijumski prostor), pa je radi moguće primene metoda potrebno da se oni transformišu u bezdimenzionalne veličine. Ovde se koristi transformacija na osnovu raspona (dužine intervala) kriterijumskih vrednosti $|c_j^* - c_j^-|$, pri čemu se smatra da su c_j^* najbolje, a c_j^- najlošije kriterijumske vrednosti, a transformisane – normalizovane vrednosti su u intervalu [0,1]. Matrica $C = \{c_{ij}\}$ transformiše se u matricu $A = \{a_{ij}\}$, gde su $a_{ij} = a_j(i)$ normalizovani bezdimenzionalni parametri:

$$a_{ij} = (c_{ij} - c_j^-) / (c_j^* - c_j^-), \quad 0 \leq a_{ij} \leq 1, \quad (3)$$

kada se svi kriterijumi prevode u monotono rastuće ($L_j = 1; \forall j \in J$). Tako je: $a_{11} = (c_{11} - c_1^-) / (c_1^* - c_1^-) = (405 - 352) / (418 - 352) = 0,803$ (tabela 2).

Tabela 2 – Matrice normalizovanih kriterijumskih vrednosti $A = \{a_{ij}\}$ u primarnom PV
 Таблица 2 – Матрицы нормированных значений по критериям $A = \{a_{ij}\}$ в первичном PV
 Table 2 – Matrices of the normalised criteria values $A = \{a_{ij}\}$ in the primary SA

i \ j	Kriterijumi					$\sum_{j \in J} w_j a_{ij}$	
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5		
Varijante	V_1	0,803	0,000	1,000	0,000	0,647	0,494
	V_2	0,273	0,250	0,000	1,000	1,000	0,460
	V_3	1,000	0,643	0,122	0,667	0,706	0,559
	V_4	0,000	1,000	0,354	0,250	0,000	0,369
Refer. tačke	X	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
	V^*	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	V^-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
w_j	0,13	0,22	0,28	0,20	0,17	$R^A(i):$ 3-1-2-4	
$R_j^A(i)$	3-1-2-4	4-3-2-1	1-4-3-2	2-3-4-1	2-3-1-4		

Ovakva transformacija je moguća kada su kriterijumi međusobno nezavisni ili se njihova međuzavisnost ne razmatra. Transformacija ima nedostatke, jer kriterijumske vrednosti za kriterijume sa manjim rasponom dobijaju veći značaj od vrednosti kriterijuma sa većim rasponom, što je posledica izbora ideala i antiideala od poznatih kriterijumskih vrednosti („opažene” vrednosti). Ovaj nedostatak se delimično kompenzuje samom transformacijom, jer se „gubici” koje varijante imaju kod kriterijuma sa većim rasponom, delimično nadoknađuju kod kriterijuma sa manjim rasponom kriterijumskih vrednosti, a stepen kompenzacije raste sa povećanjem broja kriterijuma. Zbog ovog nedostatka transformacije, u pojedinim slučajevima je opravdano da DO određuje ideal i antiideal (ili samo antiideal) izvan PPV, iako se time, već na početku procesa odlučivanja, unosi dodatni subjektivizam DO.

Povećanjem raspona kriterijumskih vrednosti i transformacijom dobijaju se realniji odnosi između transformisanih kriterijumskih vrednosti. Za kriterijume sa velikim numeričkim vrednostima i relativno malim međusobnim razlikama između varijanata, pri ovoj transformaciji dobijaju se velike razlike transformisanih vrednosti, što nije opravdano. Radi otklanjanja ovog nedostatka, realne kriterijumske vrednosti mogu se posebno oceniti na izabranoj skali ocena ili odrediti vrednost antiideala izvan PPV i naknadno izvršiti transformacija u interval $[0, 1]$.

Ideal $V^* = \{a_j^*\}$ i antiideala $V^- = \{a_j^-\}$ i imaju normalizovane elemente: $a_j^* = \max_i \{a_{ij}\} = 1$ i $a_j^- = \min_i \{a_{ij}\} = 0$, prema kojima se mogu odrediti parcijalni rangovi varijanata $R_j^A(i) = \max_i \{a_{ij}; i = \overline{1, m}\}$ za svaki od kriterijuma K_j . Na osnovu vrednosti $\sum_{j=1}^n w_j a_{ij}; i = \overline{1, m}$, može se ustanoviti rang varijanata prema svim kriterijumima istovremeno, primenom jednostavnog metoda aditivnih težina (Hwang, Yoon, 1981), prema kriterijumu: $R^A(i) = \max_i \{\sum_{j=1}^n w_j a_{ij}\}$ (tabela 2).

Primena L_p metrike u VAO

Pri rangiranju i izboru najpovoljnije varijante prema svim zadatim kriterijumima, dobro je poznavati više mogućih rešenja, kao i posledice izbora jednog od njih. To omogućava primena L_p metrike kojom se definiše udaljenost tačaka $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ i $B = \{b_1, \dots, b_n\}$ u n -dimenzionalnom prostoru:

$d_p = L_p(A; B) = \left\{ \sum_{j=1}^n |a_j - b_j|^p \right\}^{1/p}; 1 \leq p \leq \infty$. L_p metrika u VAO je mera rastojanja varijanata od ideala i antiideala i čini osnov za određivanje kompromisnih rešenja. Primenom različitih vrednosti za parametar L_p metrike $p \in [1, \infty)$ dobija se više rešenja (rešenje je najbolja varijanta), odnosno kompromisna rešenja problema VAO.

Efikasno i kompromisno rešenje:

Efikasno rešenje (Pareto optimalno, neinferiorno, nedominirano) u problemu VAO je ono rešenje - varijanta V_k iz skupa varijanata V_i , ako ne postoji druga varijanta V_l koja poseduje bar jednu kriterijumsku vrednost koja je bolja od istovrsne kriterijumske vrednosti varijante V_k , a sve ostale kriterijumske vrednosti nisu lošije od vrednosti varijante V_k . Prema normalizovanoj matrici $A = \{a_{ij} = a_j(i)\}$, kada su svi kriterijumi prevedeni u monotono rastuće ($L_j = 1; \forall j \in J$), efikasno rešenje je varijanta

V_k kada ne postoji varijanta V_l za koju je ispunjeno: $a_j(k) \leq a_j(l); \forall j \in J$ i $a_j(k) < a_j(l); \exists j \in J$. Efikasno rešenje može da bude i dominantno, odnosno najbolje prema svim kriterijumima (po definiciji, to je varijanta V_l , ako su u odnosu na nju sve ostale varijante $V_i; i \neq l$ neefikasne), kada je i optimalno i jedinstveno po kriterijumskim vrednostima. Neefikasna varijanta je ona nad kojom dominira bar jedna od preostalih varijanata. U primeru su sva rešenja (varijante V_i) efikasna i ne postoji optimalno (dominantno) rešenje problema VAO.

Kompromisno rešenje problema VAO je varijanta V_q koja je najbolja iz skupa varijanata V_i na osnovu primenjenog postupka, parametra L_p metrike $1 \leq p \leq \infty$ i izabranih referentnih tačaka (V^* ; V^-). Kompromisnim rešenjem može se smatrati i rang-lista varijanata, grupa povoljnih varijanata i slično, ako je to definisani cilj VAO.

Rastojanja L_p metrike: Najčešće primenjivani parametri L_p metrike su $p = 1, 2, \infty$. U opštem slučaju i bez obzira na PV, za ove parametre se definišu rastojanja varijanata $V_i = \{a_{ij}\}$ od ideala $V^* = \{a_j^*\}$ i anti-ideala $V^- = \{a_j^-\}$.

Rastojanja $d_p^*(i)$ prema idealu V^* su:

$$d_p^*(i) = L_p(V^*; V_i) = [\sum_{j=1}^{j=n} w_j^p (a_j^* - a_{ij})^p]^{1/p} \quad \text{ i za } p = 1, 2, \infty \text{ sledi:}$$

a) $p = 1$: $d_1^*(i) = \sum_{j=1}^{j=n} w_j (a_j^* - a_{ij})$ – pravougaono (Menhetn) rastojanje;

b) $p = 2$: $d_2^*(i) = [\sum_{j=1}^{j=n} w_j^2 (a_j^* - a_{ij})^2]^{1/2}$ – Euklidovo rastojanje, i

c) $p = \infty$: $d_\infty^*(i) = \max_j [w_j (a_j^* - a_{ij})]$ – Čebiševljevo rastojanje. (4)

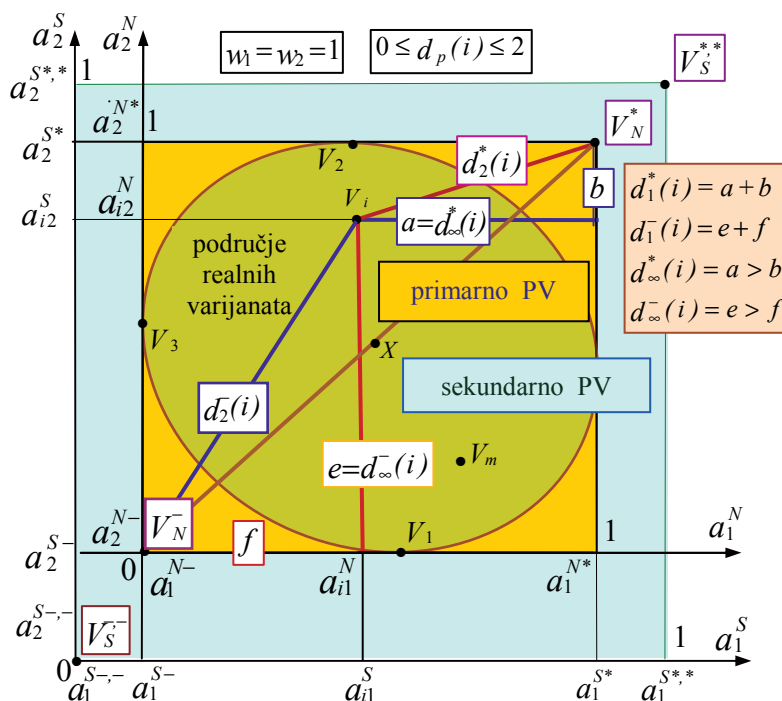
Rastojanja $d_p^-(i)$ prema antiidealima V^- su:

$$d_p^-(i) = L_p(V^-; V_i) = [\sum_{j=1}^{j=n} w_j^p (a_{ij} - a_j^-)^p]^{1/p}, \text{ odakle sledi:}$$

a) $p = 1$: $d_1^-(i) = \sum_{j=1}^{j=n} w_j (a_{ij} - a_j^-)$;

b) $p = 2$: $d_2^-(i) = [\sum_{j=1}^{j=n} w_j^2 (a_{ij} - a_j^-)^2]^{1/2}$;

c) $p = \infty$: $d_\infty^-(i) = \max_j \{w_j (a_{ij} - a_j^-)\}$. (5)



Slika 1 – Funkcije Lp metrike varijante V_i u primarnom PV za dva kriterijuma
 Рис. 1 – Функции Lp метрики альтернативных показателей на первичном PV для двух критериев
 Figure 1 – Lp functions of the V_i alternative metrics in the primary SA for two criteria

To su „čista” rastojanja Lp metrike, dobijena na osnovu pojedinačnih vrednosti $p=1$, $p=2$ ili $p=\infty$. Prikaz elementarnih funkcija Lp metrike za varijantu V_i i dva kriterijuma jednakih težina ($w_1 = w_2 = 1$) u primarnom PV, kao i odnos sa sekundarnim PV, gde su $0 \leq d_p(i) \leq 2$, dat je na slici 1.

Za svaki $p=1,2,\infty$ i $\sum_{j \in J} w_j = 1$ je $d_p^*(V^*) = d_p^-(V^-) = 0$, a rastojanja $d_p^*(V^-)$ i $d_p^-(V^*)$ su nezavisna od kriterijumskih vrednosti i zavisna samo od težina kriterijuma:

$$d_1^*(V^-) = d_1^-(V^*) = \sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1; \quad d_2^*(V^-) = d_2^-(V^*) = \left[\sum_{j=1}^{j=n} w_j^2 \right]^{1/2};$$

$$d_\infty^*(V^-) = d_\infty^-(V^*) = \max_j \{ w_j \}. \quad (6)$$

U primeru je:

$$d_1^*(1) = \sum_{j=1}^{j=5} w_j (a_j^* - a_{ij}) = 0,13 \cdot (1 - 0,803) + \dots + 0,17 \cdot (1 - 0,647) = 0,506 ;$$

$d_2^*(V^-) = d_2^-(V^*) = 0,461$; $d_\infty^*(V^-) = d_\infty^-(V^*) = 0,280$, a vrednosti $d_p^*(X)$ i $d_p^-(X)$ su polovine čistih rastojanja između ideala i antiideala za svaki $p = 1, 2, \infty$.

Rangovi varijanata određuju se prema kriterijumu:

$$R_p^*(i) = \min_i \{d_p^*(i); i = \overline{1, m}\} \quad i \quad R_p^-(i) = \max_i \{d_p^-(i); i = \overline{1, m}\}. \quad (7)$$

Vrednosti $d_p^*(i)$ i $d_p^-(i)$ i rangovi varijanata $R_p(i)$ prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3 – Vrednosti rastojanja Lp metrike
Таблица 3 – Значения расстояний Lp метрики
Table 3 – Values of the Lp metrics distances

$d_p(i)$	Varijante				Referentne tačke			Rang $R_p(i)$
	V_1	V_2	V_3	V_4	X	V^*	V^-	
$d_1^*(i)$	0,506	0,540	0,441	0,631	0,500	1,000	0,000	3-1-2-4
$d_2^*(i)$	0,304	0,338	0,271	0,318	0,231	0,461	0,000	3-1-4-2
$d_\infty^*(i)$	0,220	0,280	0,246	0,181	0,140	0,280	0,000	4-1-3-2
$d_1^-(i)$	0,494	0,460	0,559	0,369	0,500	0,000	1,000	3-1-2-4
$d_2^-(i)$	0,318	0,271	0,265	0,246	0,231	0,000	0,461	1-2-3-4
$d_\infty^-(i)$	0,280	0,200	0,141	0,220	0,140	0,000	0,280	1-4-2-3

Vrednosti $d_p(i)$ opadaju sa povećanjem p : $d_1(i) \geq d_2(i) \geq d_\infty(i)$, a za $d_1(i)$ važi da je $d_1^*(i) + d_1^-(i) = C$ (ovde: $d_1^*(i) + d_1^-(i) = 1$). Sa porastom koeficijenta p smanjuje se uticaj varijantama sa manjim kriterijumskim vrednostima i povećava se uticaj varijanata sa većim kriterijumskim vrednostima, tako da za $p = \infty$ na vrednost $d_\infty(i)$ uticaj ima samo varijanta sa najvećom kriterijumskom vrednošću. Lp metrika predstavlja dopunski kriterijum prema $1 \leq p \leq \infty$ kao parametru uravnoteženja između ukupne korisnosti i pojedinačnog odstupanja kriterijumske vrednosti od ideala i antiideala.

Male vrednosti za p (posebno za $p=1$) formiraju takve rang-liste gde prednost dobijaju varijante kojima se postiže veća ukupna korist, uz mogućnost da neka od vrednosti kriterijuma bude i izrazito loša ($a_{ij} = 0$). Veće vrednosti za p (posebno za $p = \infty$) formiraju takve rang-liste gde prednost dobijaju one varijante čije kriterijumske vrednosti imaju manja maksimalna odstupanja od ideala ili veća maksimalna odstupanja od antiideala, a ukupna korist je od manjeg značaja.

Na osnovu datih mera rastojanja za skup varijanata V_i može se dobiti do šest kompromisnih rešenja (najbolja varijanta) i šest nezavisnih rang-listi. Koju rang-listu će DO da prihvati zavisi od uvažavanja uticaja parametra p na ukupne efekte. Metod omogućava da se za dobijanje kompromisnih rešenja primenjuju i druge vrednosti parametra p .

Stvaranje dve nove rang-liste „pomirenjem” neusaglašenih rangova moguće je uvođenjem linearnih kombinacija vrednosti funkcija L_p metrike, odnosno objedinjenim rastojanjem („kombinovana” rastojanja) prema idealu i antiideal:

$$d^*(i) = \sum_p \lambda_{p,\gamma} d_p^*(i); \quad d^-(i) = \sum_p \lambda_{p,\gamma} d_p^-(i); \quad p=1,2,\infty; \quad i = \overline{1,m}; \quad (8)$$

gde je: $\Lambda_\gamma = \{\lambda_{1,\gamma}; \lambda_{2,\gamma}; \lambda_{\infty,\gamma}\}$; $\lambda_{p,\gamma}$ – koeficijenti linearne kombinacije koji predstavljaju relativnu verodostojnost funkcije d_p za dimenziju γ (npr.: broj kriterijuma, varijanata, klasa, rang-listi i slično), za $\sum_p \lambda_{p,\gamma} = 1$. Sopstvena rastojanja za ideal i antiideal su $d^*(V^*) = d^-(V^-) = 0$, a rastojanja između njih ne zavise od kriterijumskih vrednosti, već samo od w_j i $\lambda_{p,\gamma}$:

$$d^*(V^-) = d^-(V^*) = \lambda_{1,\gamma} + \lambda_{2,\gamma} [\sum_{j=1}^{j=n} w_j^2]^{1/2} + \lambda_{\infty,\gamma} \cdot \max_j \{w_j\}. \quad (9)$$

Prema (Yoon, 1987), na osnovu funkcije verodostojnosti i simulacijom metodom Monte Karlo za 10.000 eksperimenata i 30.000 slučajnih brojeva u intervalu $[0,1]$, dobijene su vrednosti $\lambda_{p,\gamma}$, kao koeficijenti linearne kombinacije u sistemu tri metrike (d_1, d_2, d_∞), zavisne od dimenzija rešavanog problema (tabela 4). Kod formiranja rangova varijanata, zbog $\lambda_{1,\gamma} \geq \lambda_{2,\gamma} \geq \lambda_{\infty,\gamma}$, prednost se daje ukupnoj koristi nad pojedinačnim minimaks odstupanjima kriterijumskih vrednosti od ideala ili antiideala.

Tabela 4 – Vrednosti koeficijenata linearne kombinacije funkcija L_p metrike (Yoon,1987)Таблица 4 – Значения коэффициента линейной функции L_p метрики (Yoon,1987)Table 4 – Values of the coefficients of the linear combination of the L_p metrics functions (Yoon,1987)

Dim γ	$\lambda_{1,\gamma}$	$\lambda_{2,\gamma}$	$\lambda_{\infty,\gamma}$	Dim. γ	$\lambda_{1,\gamma}$	$\lambda_{2,\gamma}$	$\lambda_{\infty,\gamma}$
1	0,3333	0,3333	0,3333	8	0,6154	0,2479	0,1367
2	0,4113	0,3146	0,2741	9	0,6328	0,2407	0,1265
3	0,4673	0,2992	0,2335	10	0,6479	0,2342	0,1179
4	0,5098	0,2861	0,2041	11	0,6616	0,2281	0,1103
5	0,5437	0,2747	0,1816	⋮	⋮	⋮	⋮
6	0,5717	0,2647	0,1636	49	0,8302	0,1366	0,0332
7	0,5951	0,2559	0,1490	50	0,8318	0,1356	0,0326

Ako DO ne želi da primeni koeficijente iz tabele 4 i tako uvaži dimenzije rešavanog problema, može sam da odredi koeficijente λ_p , što je posebna pogodnost metoda. On bira vrednosti λ_p tako da se može primeniti samo jedna funkcija ili kombinacija dve ili tri funkcije L_p metrike (d_1, d_2, d_∞), zavisno od prirode problema i od toga da li se zahteva veća ukupna korist ($\lambda_1=1$), geometrijska bliskost ($\lambda_2=1$) ili pojedinačna minimum odstupanja kriterijumskih vrednosti ($\lambda_\infty=1$), za $\sum_p \lambda_p=1$ i $p=1,2,\infty$.

Zbog naglog rasta koeficijenta $\lambda_{1,\gamma}$ sa porastom broja dimenzija γ , za dobijanje najverodostojnijih kompromisnih rešenja sa matematičke tačke gledišta može se prihvatiti i upotreba samo funkcije $d_1(i)$. Ako se uvažavaju tri funkcije L_p metrike, jedinstvena funkcija dobija se primenom koeficijenata $\lambda_{p,\gamma}$, kao njihovih težina u linearnoj kombinaciji, prema izrazu (8).

Dva nova kompromisna rešenja i dve nove nezavisne rang-liste dobijaju se prema rang-u varijanata:

$$R^*(i) = \min_i \{d^*(i)\} \text{ i } R^-(i) = \max_i \{d^-(i)\}, \quad (10)$$

U primeru, za dimenziju problema $\gamma=5$ (pet kriterijuma, tabela 4) i $p=1,2,\infty$, vrednost linearne kombinacije $d^*(i)$ varijante V_1 je: $d^*(1) = \sum_p \lambda_p d_p^*(1) = 0,5437 \cdot 0,506 + 0,2747 \cdot 0,304 + 0,1816 \cdot 0,220 = 0,398$.

Tabela 5 – Vrednosti linearne kombinacije L_p metrike i vektor sličnosti idealu
 Таблица 5 – Значения коэффициента линейной функции L_p метрики и идеальный вектор
 Table 5 – Values of the L_p metrics linear combination and the similarity to ideal vector

$d(i)$ $s(i)$	Varijante				Referentne tačke			Rang $R(i)$
	V_1	V_2	V_3	V_4	X	V^*	V^-	
$d^*(i)$	0,398	0,437	0,359	0,463	0,361	0,000	0,721	3-1-2-4
$d^-(i)$	0,407	0,361	0,402	0,308	0,361	0,721	0,000	1-3-2-4
$s(i)$	0,505	0,452	0,528	0,400	0,500	1,000	0,000	3-1-2-4
$s'(i)$	0,511	0,448	0,506	0,420	0,500	1,000	0,000	1-3-2-4

Iz tabele 5 se vidi da je varijanta V_3 najbliža idealu zbog najmanje vrednosti $d^*(3)=0,359$, a varijanta V_1 je najdalja od antiideala zbog najveće vrednosti $d^-(1)=0,407$, što ukazuje na postojanje dva nova kompromisna rešenja. Iz izraza (9) sledi da je rastojanje ideala i antiideala $d^*(V^-) = d^-(V^*) = 0,721$, nezavisno od kriterijumskih vrednosti. Sledi i da je $d^*(X) = d^-(X) = d^*(V^-)/2 = d^-(V^*)/2 = 0,721/2 \approx 0,361$.

Kako su, s obzirom na referentne tačke, dobijena dva kompromisna rešenja, potrebno ih je „pomiriti” primenom jedinstvene mere koja bi objedinila rastojanja $d^*(i)$ i $d^-(i)$.

Vektor sličnosti varijanata idealu

Vektor sličnosti varijanata V_i idealu V^* (VSI) prema svim kriterijumima K_j (za sistem) jeste višedimenzionalni vektor $S = \{s(i); i = \overline{1, m}\}$, čiji se elementi (koeficijenti sličnosti varijanata idealu – KSI) određuju na osnovu mešovitih rastojanja $d^*(i)$ i $d^-(i)$:

$$s(i) = d^-(i) / [d^*(i) + d^-(i)]; \quad 0 \leq s(i) \leq 1; \quad i = \overline{1, m}, \quad (11)$$

(Hwang, Yoon, 1981).

Vektor sličnosti varijanata antiidealom V^- je: $S^- = \{s^-(i); i = \overline{1, m}\}$; $s^-(i) = d^*(i) / [d^*(i) + d^-(i)]$, tako da je i $s(i) + s^-(i) = 1$. Vektorom $S = \{s(i)\}$ određeni su rangovi realnih varijanata prema kriterijumu:

$$R^S(i) = \max_i \{s(i); i = \overline{1, m}\}. \quad (12)$$

Vrednost KSI predstavlja kvantitativni odnos varijante prema idealu (ili stepen „dobrote” varijante), a brojčano je mera rastojanja varijante V_i od antiideala V^- . Za $s(k) > 0,5$ (kada je i $d^-(k) > d^*(k)$), na varijantu V_k veći uticaj ima ideal i varijanta se smatra da je pod „kontrolom” ideala.

Parcijalni vektori sličnosti varijanata idealu $S_p = \{s_p(i); i = \overline{1, m}\}$ imaju elemente koji se dobijaju na osnovu „čistih” rastojanja L_p metrike:

$$s_p(i) = d_p^-(i) / [d_p^*(i) + d_p^-(i)]; 0 \leq s_p(i) \leq 1; p = 1, 2, \infty; i = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Tri rang-liste varijanata i tri nova kompromisna rešenja ($V_i; s_p(i)$) dobijaju se prema kriterijumu:

$$R_p^S(i) = \max_i \{s_p(i); i = \overline{1, m}\}. \quad (14)$$

Prema vrednostima parcijalnih KSI, dovoljni ali i stroži uslovi da je varijanta V_k pod kontrolom ideala su $s_p(k) > 0,5$ za svaki $p = 1, 2, \infty$. Prema izrazima (8,13), definiše se linearna kombinacija parcijalnih KSI:

$$s'(i) = \sum_p \lambda_{p,\gamma} s_p(i); 0 \leq s'(i) \leq 1; p = 1, 2, \infty; i = \overline{1, m}; \quad (15)$$

kojom je određen objedinjeni VSI: $S' = \{s'(i); i = \overline{1, m}\}$. Vrednosti koeficijenta $\lambda_{p,\gamma}$ treba odrediti prema broju kriterijuma, tako da je $\gamma = n$, ili će DO koeficijente $\lambda_{p,\gamma}$ ($\sum_p \lambda_p = 1$) odrediti prema tome da li želi veću ukupnu korist ili kontrolisana pojedinačna minimaks odstupanja kriterijumskih vrednosti od ideala i antiideala.

Kako bi se sagledale karakteristike funkcije (13), uvodi se pretpostavka da je $s_p(i) = C$ (konstantna vrednost), kada je:

$$C = d_p^-(i) / [d_p^*(i) + d_p^-(i)] \text{ ili } C \cdot d_p^*(i) - (1 - C) \cdot d_p^-(i) = 0. \quad (16)$$

Za dva kriterijuma (K_1, K_2) sa težinama (w_1, w_2), proizvoljno izabranim $C \in (0, 1)$ i u odnosu na koeficijente matrice $A = \{a_{ij}; j = 1, 2\}$ kao promenljive varijable (kraći zapis: $a_{i1} = a_1$ i $a_{i2} = a_2$), primenom izraza (4,5,16) i sa $a_1, a_2 \in [0, 1]$, $a_1^- = a_2^- = 0$, $a_1^* = a_2^* = 1$, dobija se funkcija $a_2 = f(a_1, w, C)$:

- za $p=1$:

iz $C = (w_1 a_1 + w_2 a_2) / [(w_1(1 - a_1) + w_2(1 - a_2)) + w_1 a_1 + w_2 a_2]$ sledi da je $a_2 = -(w_1/w_2)a_1 + C/w_2$ i predstavlja skup paralelnih pravaca;

– za $p = 2$:

$$\text{iz } C = (w_1^2 a_1^2 + w_2^2 a_2^2)^{1/2} / \{ [w_1^2 (1-a_1)^2 + w_2^2 (1-a_2)^2]^{1/2} + [w_1^2 a_1^2 + w_2^2 a_2^2]^{1/2} \}$$

dobija se skup hiperbola

$$A_1 a_1^2 + A_2 a_2^2 + A_3 a_1 + A_4 a_2 + A_5 = 0 ,$$

sa koeficijentima:

$$A_1 = w_1^2 (1-2C); A_2 = w_2^2 (1-2C); A_3 = 2C^2 w_1^2; A_4 = 2C^2 w_2^2;$$

$$A_5 = -C^2 (w_1^2 + w_2^2).$$

Hiperbole su prema apscisi a_1 konkavne za $C < 0,5$ i konveksne za $C > 0,5$, a za $C = 0,5$ odnos a_1 i a_2 je linearan:

$$a_2 = -(w_1^2/w_2^2) a_1 + 0,5(1 + w_1^2/w_2^2);$$

– za $p = \infty$:

$$\text{iz } C = \max(w_1 a_1; w_2 a_2) / \{ [\max(w_1(1-a_1); w_2(1-a_2))] + \max[w_1 a_1; w_2 a_2] \} ,$$

odrede se oblasti definisanosti funkcije iz kombinacija odnosa $(w_1; w_2)$; $(w_1 a_1; w_2 a_2)$ i $(w_1(1-a_1); w_2(1-a_2))$, kada je formira osam kombinacija mogućih uslova u zavisnosti od primenjenih znakova $<$ i \geq . Neka su uslovi: (1) $w_1 < w_2$; (2) $w_1 a_1 < w_2 a_2$ i (3) $w_1(1-a_1) \geq w_2(1-a_2)$; iz uslova (2) i (3) sledi $a_2 > (w_1/w_2) a_1$ i $a_2 \geq (w_1/w_2) a_1 - w_1/w_2 + 1$. Zbog uslova (1) sledi $(w_1/w_2) a_1 < (w_1/w_2) a_1 - w_1/w_2 + 1$, a oblast definisanosti funkcije je poluravan $a_2 \geq (w_1/w_2) a_1 - w_1/w_2 + 1$. Iz uslova (2) i (3) dobija se funkcija $C = w_2 a_2 / [w_1(1-a_1) + w_2 a_2]$, a iz nje i konačna funkcija $a_2 = f(a_1, w, C)$: $a_2 = -(w_1/w_2)[C/(1-C)] a_1 + (w_1/w_2)[C/(1-C)]$, izraz a) u tabeli 6.

Na isti način dobijaju se i vrednosti funkcije prema izmenjenim uslovima (1), (2) i (3), tabela 6. Za $C = (0,25; 0,50; 0,75)$, $w_1 = 0,4$, $w_2 = 0,6$ i $p = 1,2, \infty$, funkcije $a_2 = f(a_1, w, C)$ prikazane su na slici 2.

Rangiranje varijanata prema VSI. Na osnovu izraza (11) dobija se vektor $S = \{s(i); i = 1, m\}$ sa elementima koji predstavljaju rastojanja varijanata V_i od antiideala V^- . Za varijantu V_1 je:

$$s(1) = d^-(1) / [d^*(1) + d^-(1)] = 0,407 / (0,398 + 0,407) = 0,505 .$$

Tabela 6 – Vrednosti funkcije $a_2 = f(a_1, w_1, w_2, C)$ za $s_{\infty}(i) = C$ i dva kriterijuma

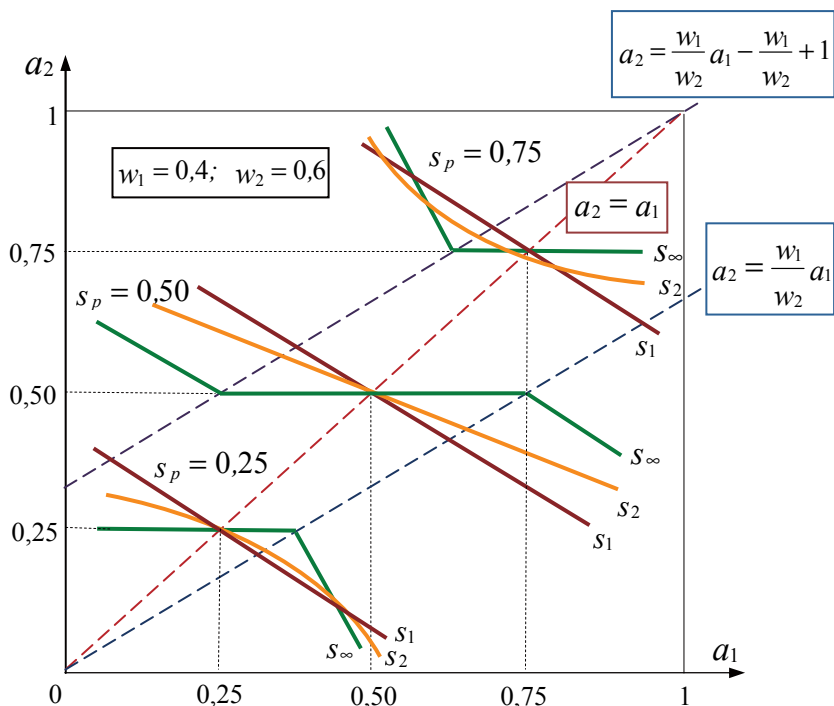
Таблица 6 – Значения функции $a_2 = f(a_1, w_1, w_2, C)$ для $s_{\infty}(i) = C$ с двумя критериями

Table 6 – Values of the function $a_2 = f(a_1, w_1, w_2, C)$ for $s_{\infty}(i) = C$ and two criteria

$w_1; w_2$	Oblast definisanosti funkcije	Funkcije $a_2 = f(a_1, w, C)$ za $s_{\infty}(i) = C$
$w_1 < w_2$	a) $a_2 \geq \frac{w_1}{w_2} a_1 - \frac{w_1}{w_2} + 1$	$a_2 = -\frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{C}{1-C} a_1 + \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{C}{1-C}$
	b) $\frac{w_1}{w_2} a_1 < a_2 < \frac{w_1}{w_2} a_1 - \frac{w_1}{w_2} + 1$	$a_2 = C$
	c) $a_2 \leq \frac{w_1}{w_2} a_1$	$a_2 = -\frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{1-C}{C} a_1 + 1$
$w_1 \geq w_2$	d) $a_2 > \frac{w_1}{w_2} a_1$	$a_2 = -\frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{C}{1-C} a_1 + \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{C}{1-C}$
	e) $\frac{w_1}{w_2} a_1 - \frac{w_1}{w_2} + 1 \leq a_2 \leq \frac{w_1}{w_2} a_1$	$a_1 = C$
	f) $a_2 < \frac{w_1}{w_2} a_1 - \frac{w_1}{w_2} + 1$	$a_2 = -\frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{1-C}{C} a_1 + 1$

Pošto je $s(1) > 0,5$, varijanta V_1 je da je pod „kontrolom” ideala V^* . Vrednosti KSI za referentne tačke su $s(V^*) = 1$ i $s(V^-) = 0$ i predstavljaju rastojanja tačaka V^* i V^- od tačke V^- prema meri $s(i)$.

Prema kriterijumu (12), dobija se rešenje primarnog problema VAO ($V_3; s(3) = 0,528$) i rang-lista varijanata $V_3 - V_1 - V_2 - V_4$ (tabela 5). KSI za najbolju varijantu, predstavlja stepen ispunjenja najpovoljnijih realnih vrednosti kriterijuma (vrednosti za V^*). Kako je $s(3) > 0,5$, smatra se da je V_3 , kao najbolja u smislu predloženog postupka, dovoljno blizu idealu i da je pod njegovom „kontrolom”. KSI varijanata V_2 i V_4 su $s(i) < 0,5$ i pokazuju da su te varijante izvan kontrole ideala (pod kontrolom antiideala) i rizične za prihvatanje i realizaciju. Središte primarnog PV $X = \{x_j\}$ zadržalo je svoj početni središnji položaj ($s(X) = 0,5$), što navodi na zaključak da se položaj veštačke varijante X ne menja tokom postupka i da se može koristiti kao nova referentna tačka, posebno u analizi odnosa PPV i SPV.



Slika 2 – Funkcije $a_2 = f(a_1, w, C)$ za $s_p(i) = C$ za dva kriterijuma
 Рис. 2 – Функция $a_2 = f(a_1, w, C)$ для $s_p(i) = C$ с двумя критериями
 Figure 2 – Functions $a_2 = f(a_1, w, C)$ for $s_p(i) = C$ for two criteria

Metod VSI daje mogućnost za primenu različitih koeficijenata linearnih kombinacija λ_p , bez obzira na dimenzije problema γ , kako bi se prednost dala varijantama koje obezbeđuju veću ukupnu korist ili varijantama sa manjim maksimalnim odstupanjima kriterijumskih vrednosti od ideala i/ili većim maksimalnim odstupanjima kriterijumskih vrednosti od antiideala. Izborom drugih vrednosti za λ_p dobijaju se i druga kompromisna rešenja. Primenom izraza (8) i (11) dobijena su rešenja za različite kombinacije λ_p ($\sum_p \lambda_p = 1$ za $p = 1, 2, \infty$) (tabela 7).

Tabela 7 – Vektor sličnosti varijanata idealu za različite vrednosti koeficijenta λ_p
 Таблица 7 – Вектор сходства вариантов с идеальным при разных значениях
 коэффициента λ_p
 Table 7 – Similarity to ideal vector of alternatives for different values of the coefficients λ_p

Koefic. linearne kombinacije λ_p			Koeficijenti sličnosti varijanata idealu $s(i)$							Rang varijanata $R^s(i)$
			varijante				referentne tačke			
λ_1	λ_2	λ_∞	V_1	V_2	V_3	V_4	X	V^*	V^-	
1	0	0	0,494	0,460	0,559	0,369	0,500	1,000	0,000	3-1-2-4
0,8	0,1	0,1	0,499	0,457	0,547	0,381	0,500	1,000	0,000	3-1-2-4
0,544	0,275	0,181	0,505	0,452	0,528	0,400	0,500	1,000	0,000	3-1-2-4
0,4	0,3	0,3	0,512	0,448	0,510	0,417	0,500	1,000	0,000	1-3-2-4
0	1	0	0,511	0,444	0,494	0,437	0,500	1,000	0,000	1-3-2-4
0	0	1	0,560	0,417	0,365	0,549	0,500	1,000	0,000	1-4-2-3

Kada su $\lambda_{p,\gamma}$ izabrani prema dimenziji problema $\gamma = 5$ (broj kriterijuma) iz tabele 4, dobijeno je osnovno rešenje V_3 , koje prema tabeli 3 ima najbolje vrednosti: $d_1^*(3) = \min_i \{d_1^*(i)\} = 0,441$, $d_2^*(3) = 0,271$ i $d_1^-(3) = 0,559$, dok prema ostalim vrednostima $d_p^*(i)$ i $d_p^-(i)$ varijanta V_3 nije najbolja.

Promena vrednosti $\lambda_p \in [0,1]$ za $\sum_p \lambda_p = 1$ sa izabranim korakom promena (npr: $\Delta\lambda_p = 0,05$) i ako je $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_\infty$, već za $A = \{0,4; 0,3; 0,3\}$, dobija se drugo kompromisno rešenje ($V_1; s(1) = 0,512$) zbog većeg uticaja čistih rastojanja $d_2^*(1)$, $d_2^-(1)$, $d_\infty^*(1)$ i $d_\infty^-(1)$ (tabela 3), dok je istovremeno $s(3) = 0,510$. Prednost dobija varijanta V_1 čije kriterijumske vrednosti imaju manje maksimalno odstupanje od ideala i veće maksimalno odstupanje od antiideala nego varijanta V_3 , a ukupna korisnost je manje značajna. Sa povećanjem λ_1 raste uticaj $d_1^*(i)$ i $d_1^-(i)$ i preferira se veća ukupna korisnost, pa je pri tome osnovno rešenje V_3 najbolje zbog najpovoljnijih vrednosti čistih rastojanja za $p = 1$.

Vrednosti $s(i)$ za pojedinačne vrednosti $\lambda_p = 1$ jednake su $s_p(i)$ za isti p , što proizlazi iz izraza (8,11,13,15), tako da su vrednosti $s(i)$ za $A = \{1; 0; 0\}$ iz tabele 7 jednake vrednostima $s_1(i)$, jer prema (13) za V_1

sledi $s_1(1) = d_1^-(1) / [d_1^*(1) + d_1^-(1)] = 0,494 / (0,506 + 0,494) = 0,494$. Isto važi i za vrednosti $p = 2, \infty$. Inače je i $s_1(i) = d_1^-(i)$ zbog $d_1^-(i) + d_1^*(i) = 1$ (ovo rastojanje se koristi i u drugim metodima VAO). Na osnovu vrednosti parcijalnih KSI $s_p(i)$ i prema izrazu (15) dobijene su jedinstvene vrednosti KSI $s'(i) = \sum_p \lambda_{p,\gamma} s_p(i)$ i određen rang varijanata (tabela 5).

Ovakav pristup problemu daje određene slobode DO da utiče na konačno rešenje, odnosno da formira novi skup kompromisnih rešenja u zavisnosti od koeficijenta λ_p i donese odluku zavisno od toga kakve efekte očekuje od rešenja. Kada postoji dilema oko izbora jednog od dva ili više mogućih rešenja (ovde: V_3 ili V_1) mora se uraditi dodatna analiza kvaliteta rešenja uvođenjem dopunskih kriterijuma, preispitivanjem težina kriterijuma i drugo.

Proširenje područja varijanata. Povoljno je da se problem sagleda i u odnosu kriterijumskih vrednosti prema izmenjenom idealu i antiideal, kada se umanjuje i negativan uticaji transformacije (3), (slika 1). Pretpostavka je da nema promena u kriterijumskim vrednostima realnih varijanata i da je $c_{ij}^S = c_{ij}^N = c_{ij}$; $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$ (indeksi: (N) – primarno PV, (S) – sekundarno PV), tako da je prema (2), odnos elemenata referentnih tačaka PPV i SPV: $c_j^* \leq c_j^{**} \wedge c_j^- \geq c_j^{-}$; $j \in J^+$ i $c_j^* \geq c_j^{**} \wedge c_j^- \leq c_j^{-}$; $j \in J^-$.

Vrednosti elemenata primarnih referentnih tačaka u sekundarnom PV su $a_j^S(V_N^-) = a_j^{S^-} \geq 0$ i $a_j^S(V_N^*) = a_j^{S^*} \leq 1$, a elementa sekundarnih referentnih tačaka: $a_j^S(V_S^{-}) = a_j^{S^{-}} = 0$ i $a_j^S(V_S^{**}) = a_j^{S^{**}} = 1$. Transformacija (3) ima oblik: $a_{ij}^S = (c_{ij} - c_j^{-}) / (c_j^{**} - c_j^{-})$, a veza između a_{ij}^N i a_{ij}^S je linearna: $a_{ij}^S = (a_j^{S^*} - a_j^{S^-}) a_{ij}^N + a_j^{S^-}$.

Za svaki kriterijum definiše se proširenje na osnovu kriterijumskih vrednosti: $e_j = (c_j^{**} - c_j^{-}) / (c_j^* - c_j^-) \geq 1$, a parcijalna proširenja u odnosu na antiideal i ideal su:

$$e_j^- = (c_j^- - c_j^{-}) / (c_j^* - c_j^-) \geq 0; \quad e_j^* = (c_j^{**} - c_j^*) / (c_j^* - c_j^-) \geq 0;$$

$$e_j = 1 + e_j^- + e_j^* \geq 1.$$

Proširenje za kriterijumski sistem je:

$$e_0^- = \sum_{j=1}^n w_j \cdot e_j^-; \quad e_0^* = \sum_{j=1}^m w_j \cdot e_j^*; \quad e_0 = \sum_{j=1}^m w_j \cdot e_j; \quad j \in J \text{ i}$$

$$e_0 = 1 + e_0^- + e_0^* \geq 1.$$

Sledi da je odnos a_{ij}^N i a_{ij}^S izražen preko proširenja:

$$a_{ij}^S = (1/e_j) a_{ij}^N + (e_j^-/e_j); \quad e_j^- \geq 0; \quad e_j \geq 1; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}.$$

Sekundarno PV formira se i kada se određuje samo novi antiideal sa vrednostima izvan PPV ili u kombinaciji sa vrednostima na granici PPV: $V_S^- = \{c_j^-; j = \overline{1, n}\}$. Za većinu monotono rastućih kriterijuma vrednosti $c_j^- = 0; j \in J^*$, kao i za monotono opadajuće kriterijume vrednosti $c_j^{**} = 0; j \in J^-$, nisu realne niti opravdane; tako u primeru: za $K_1; j = 1 \in J^*$ - *godišnji prihod*, nema smisla razmatrati varijantu čiji je prihod jednak 0 ili za $K_2; j = 2 \in J^-$ - *godišnji troškovi održavanja postrojenja*, nema smisla varijanta za koju ne postoje troškovi održavanja.

Ako su vrednosti elemenata ideala ostale nepromenjene: $c_j^{**} = c_j^*$ i $V_S^{**} = V_N^* = \{418; 62; 1134; 36; 154\}$ (prema tabeli 1), a vrednosti elemenata postojećeg antiideala $V_N^- = \{352; 90; 970; 60; 120\}$ zamenjene novim vrednostima koje su određene kao najnepovoljnije kriterijumske vrednosti koje DO može da prihvati (kritične vrednosti kriterijuma): $V_S^- = \{290; 105; 850; 72; 90\}$, proširenja na osnovu kriterijumskih vrednosti i prema pojedinačnim kriterijumima su $e_j = \{1,485; 1,357; 1,366; 1,417; 1,441\}$, parcijalna proširenja $e_j^* = 0; \forall j \in J$ i $e_j^- = \{0,485; 0,357; 0,366; 0,417; 0,441\}$, a ukupno za sistem proširenje PV je $e_0 = 1,402$.

Proširenje PV prema metodi VSI¹ je:

$$\varepsilon_0 = 1 + d^{S^-}(V_N^-) / d^S(V_N^-; V_N^*) + d^{S^*}(V_N^*) / d^S(V_N^-; V_N^*) = 1 + \varepsilon_0^- + \varepsilon_0^*.$$

Između proširenja e_0 i ε_0 postoji nelinearna funkcionalna veza $\varepsilon_0 = f(w_j, e_j, \lambda_{p,\gamma})$. Prema metodi VSI proširenje je $\varepsilon_0 = 1,397$.

¹ Veličine su označene prema slici 1, a odnose se na sekundarno PV; rastojanje $d^S(V_N^-; V_N^*) = \sum_p \lambda_{p,\gamma} d_p^S(V_N^-; V_N^*)$ je ukupno rastojanje za $p = 1, 2, \dots, \infty$ između primarnog antiideala V_N^- i ideala V_N^* u sekundarnom PV; vrednosti $d^{S^-}(V_N^-)$, $d^{S^*}(V_N^*)$ i $d^S(V_N^-; V_N^*)$ su iz intervala [0,1].

Proširenje dobijeno prema vrednostima KSI za primarne i sekundarne referentne tačke daje rezultate bliske već opisanim proširenjima:

$\varepsilon'_0 = [s^S(V_S^{**}) - s^S(V_S^{-})] / [s^S(V_N^*) - s^S(V_N^-)]$; ovde je $\varepsilon_0 = \varepsilon'_0 = 1,397$, zbog $e_j^* = 0; \forall j \in J$. Znači, prema svim primenjenim izrazima, na osnovu novog antiideala, primarno PV je prošireno za oko 40%.

Proširenja e_0 je nezavisno, a proširenja ε_0 i ε'_0 su zavisna od koeficijenata $\lambda_{p,\gamma}$, odakle nastaju i manje vrednosne razlike među njima, nebitne za praktičnu primenu, pa se mogu koristiti sva tri izraza.

Posledica primene antiideala izvan PPV je povećanje raspona kriterijumskih vrednosti prema kojima se vrše transformacije (3) i povećanje vrednosti transformisanih koeficijenata $a_{ij}^S > a_{ij}^N$ (osim za $a_j^{S^*,*} = a_j^{N^*} = 1$), što prividno povećava kvalitet varijanata, jer su vrednosti a_{ij}^S bliže idealu $a_j^{S^*,*} = 1$ i dalje od antiideala $a_j^{S^-,*} = 0$. Za $p=1,2$ smanjene su vrednosti „čistih” rastojanja L_p metrike prema idealu $d_p^{S^*}(i) < d_p^{N^*}(i)$ i povećane vrednosti „čistih” rastojanja L_p metrike prema antiidealima $d_p^{S^-,*}(i) > d_p^{N^-,*}(i)$, a za $p=\infty$ taj odnos može da ostane i nepromenjen $d_\infty^{S^*}(i) \leq d_\infty^{N^*}(i)$ i $d_\infty^{S^-,*}(i) \geq d_\infty^{N^-,*}(i)$.

Za sekundarni problem VSI je $S^S = \{0,669; 0,658; 0,710; 0,640\}$ i rešenje ($V_3; s^S(3) = 0,710$). Vrednosti KSI su znatno veće od vrednosti KSI u osnovnom rešenju $S = S^N = \{0,505; 0,452; 0,528; 0,400\}$, smanjen je raspon KSI $\max\{s^S(i)\} - \min\{s^S(i)\} = 0,710 - 0,640 = 0,070$ u odnosu na osnovno rešenje ($\max\{s^N(i)\} - \min\{s^N(i)\} = 0,128$), čime je smanjena i oštrina ocena među varijantama, ali je zadržan osnovni rang varijanata.

Uvođenjem „realnog” antiideala izvan PPV i formiranjem sekundarnog PV, ima smisla govoriti i o stvarnoj blizini varijante idealu ili njenoj sličnosti sa njim (npr: „varijanta V_3 , prema primenjenom metodu i zbog $s(3) = 0,710$, ispunjava maksimalne zahteve DO u obimu od oko 70%”).

Kompromisna rešenja i na osnovu njih dobijeno jedinstveno rešenje problema VAO treba da predstavljaju polazno stanovište DO pre donošenja svoje konačne odluke za izbor rešenja. Donosilac odluke ima dobru osnovu i argumente za svoju odluku, ali rešenja dobijena primenom metoda VSI (ili drugih metoda) ne moraju da se podudaraju sa njegovim izborom. Konačnu odluku o prihvatanju rešenja za realizaciju ipak donosi DO, a ovaj postupak samo treba da mu pomogne u tome.

Zaključak

U radu je prikazana primena L_p metrike za rešavanje problema VAO. Na osnovu rastojanja između n -dimenzionalnih tačaka koje predstavljaju varijante i referentnih tačaka (ideala i antiideala), za karakteristične vrednosti parametra L_p metrike ($p=1,2,\infty$) dobijeno je šest kompromisnih rešenja. „Pomirenje” takvih rešenja izvršeno je formiranjem dve linearne kombinacije (prema idealu i antiideal) sa koeficijentima koji predstavljaju relativnu verodostojnost rastojanja L_p metrike i na taj način su dobijena još dva kompromisna rešenja. Primena linearnih kombinacija funkcija L_p metrike omogućava DO da izvrše rangiranje varijanata prema zahtevima za ukupnu korist, geometrijsku blizinu ili minimaks odstupanja kriterijumskih vrednosti od ideala i antiideala ili njihovim kombinacijama. U tom postupku, kroz izbor koeficijenata linearnih kombinacija, DO može da izrazi i svoj odnos prema uticaju parametra L_p metrike (p) na rešenja. Konačno rešenje dobijeno je poređenjem varijanata prema vrednostima elemenata vektora sličnosti varijanata idealu, kojim je obuhvaćen i odnos varijanata prema antiideal.

Iako se metodom dobija jedno rešenje kao najbolje, korisno je da se poznaje i više kompromisnih rešenja, posebno u uslovima većeg broja kriterijuma i varijanata. Postojanje više kompromisnih rešenja važno je za DO, kako bi u odnosu na stvarne kriterijumske vrednosti sagledao posledice izbora nekog od tih rešenja.

U radu je izvršena i analiza kompromisnih rešenja, dobijenih na osnovu vrednosti parcijalnih KSI, pri čemu su izvedeni i potrebni izrazi za konstantnu vrednost KSI i $p=1,2,\infty$. Radi otklanjanja negativnosti koje nastaju kao posledica transformacije realnih kriterijumskih vrednosti u bezdimenzionalne parametre (na osnovu dužine intervala vrednosti po kriterijumima), definisan je antiideal izvan PPV i primenom metoda VSI je određeno rešenje. Dobijene vrednosti KSI predstavljaju realniju ocenu kvaliteta varijanata u odnosu na idealno rešenje, pod uslovom da je sekundarni antiideal određen na osnovu sistemske analize problema.

U daljem razvoju metoda VSI, o čemu nije bilo reči u ovom radu, razmatrana je osetljivost rešenja na promenu težina kriterijuma i uticaj proširenja područja varijanata na rešenja problema VAO.

Softverska podrška metodu VSI pruža mogućnosti izbora jedne, dve ili tri funkcije L_p metrike, veliki broj kriterijuma i varijanata i omogućava primenu metoda u realnom vremenu i kada se uslovi primene rešenja brzo menjaju. Ugradnjom testa efikasnosti omogućuje se određivanje efikasnih, dominantnih i dominiranih varijanata. Nadogradnjom softvera elementima različitih oblasti ljudskog delovanja (sistem odbrane, ekologija, obrazovanje, zdravstvo, privreda i dr.), može se poboljšati efikasnost odlučivanja u tim oblastima.

Literatura

- Blagojević, B., Matić-Kekić, S., 2012, Grupno određivanje težina za evaluaciju ergonomskih karakteristika traktora, *Savremena poljoprivredna tehnika*, 38(3), pp.255-266.
- Hwang, C.L., & Yoon, K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making*, New York: Springer-Verlag.
- Milićević, M., Župac, G., 2012a, Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(1), pp.39-56.
- Milićević, M., Župac, G., 2012b, Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma, *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(2), pp.48-70.
- Nikolić, I., Borović, S., 1998, *Višekriterijumska optimizacija*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Opricović, S., 1986, *Višekriterijumska optimizacija*, Beograd; Naučna knjiga.
- Opricović, S., 1998, *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*, Beograd, Građevinski fakultet.
- Yoon, K. 1987. A Reconciliation Among Discrete Compromise Solutions, *Journal of the Operational Research Society*, 38(3), str.277-286. doi:10.1057/jors.1987.44
- Zeleny, M., 1982, *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill.

МЕТОД ВЕКТОРА СХОДСТВА ВАРИАНТОВ С ИДЕАЛЬНЫМ РЕШЕНИЕМ

Радомир Р. Джукич
г. Крушевац

ОБЛАСТЬ: оперативные исследования, мультиатрибутное суждение
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

В работе рассматриваются процессы решения проблем мультиатрибутного суждения на одном из уровней критериев, а также представлен метод компромиссного программирования, L_p матрицы и метод TOPSIS.

В работе представлены рекомендации для создания первичной матрицы суждения и трансформации различных критериев значений. Компромиссные решения выводятся на основании значений функций L_p метрики и их комбинирования с коэффициентом – функций относительной точности, зависящих от характера проблемы.

Полученные решения зависят от параметров p и L_p метрики, являющихся балансным фактор между самым благоприятным решением и решениями с относительными (мин/макс) отклонениями в значениях критериев от идеального и анти-идеального.

В случае, если требуется единое решение, необходимо объединить все функции L_p метрики и применить вектор сходства вариантов идеалу, который включает влияние анти-идеала.

В работе приведен пошаговый процесс принятия компромиссных решений, принятых на основании элементов частично-го сходства с идеалом и влияния на решение субъективно определенного анти-идеала. Для наглядности применения данного метода приведены численные примеры.

Ключевые слова: многокритериальное принятие решений (MCDM) трансформация значений критериев, компромиссное решение, идеальное решение, L_p метрика, вектор сходства с идеалом (VSI).

METHOD OF THE VECTOR OF SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION IN ALTERNATIVES

Radomir R. Đukić
Kruševac

FIELD: Operational research, Multiple-attribute decision-making
ARTICLE TYPE: Original scientific paper
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Summary:

A method for solving multiple-attribute decision-making problems at one criterion level is discussed, followed by a presentation of a method based on compromise programming elements, L_p metrics and the TOPSIS method. Suggestions for forming the initial decision-making matrix have been given as well as for the transformation of multiple criteria values. Compromise solutions are obtained based on the values of L_p metrics functions and their combinations with coefficients – functions of relative credibility depending on solution dimensions. The obtained solutions depend on the parameter p in L_p metrics, parameter p being a balancing factor between the solution with the highest total utility and the solution with minimax deviations of criteria values from the ideal and negative-ideal solutions. If a unique solution is required, it is obtained by encompassing all L_p metrics functions and by applying the vector of similarity to ideal solution, which also includes the negative-ideal solution influence. The article shows a method for obtaining compromise solutions based on the values of elements of partial similarity to ideal vectors and the influence of a subjectively determined negative ideal on solutions. The method application has been illustrated by a numerical example.

Introduction

Problems of multiple-attribute decision-making (MADM) are defined as a class of multiple-criteria decision-making (MCDM) problems for which there is a mathematical model formed but no unique optimal solution. MADM methods ('soft' methods) are used to solve 'poorly structured' MCDM problems. The procedure for solving MADM problems is based on L_p metrics, compromise programming and the TOPSIS method. Compromise solutions obtained by applying L_p metrics parameters (p) further give the final solution (the best alternative) which is obtained using the values of the elements of the vector of similarity to ideal solution (VSIS) which encompasses the parameters of the relation of alternatives with the ideal and negative-ideal solutions.

Decision-making matrix and spaces of alternatives

Initial decision-making matrix

A decision-making matrix for a MADM problem is given by real criterion values, their estimates or estimates of attributes. A preparation of the decision-making matrix for the application of the MADM method requires a systematic preliminary analysis of a problem in question. The initial decision-making matrix is possible to be formed in many ways, but a usual sequence of phases is: preliminary analysis and determination of MADM goals; problem structuring; data collection, and determination of criteria values.

Primary and secondary space of alternatives

Spaces of alternatives are defined with reference to the chosen referent points: the ideal solution and the negative-ideal solution. The primary space of alternatives (PSA) is formed in the range of the 'perceived' ideal solution and the negative-ideal solution while the secondary space of alternatives (SSA) is formed within the limits of the 'preferable' ideal solution and the 'requested' negative-ideal one. By determining the ideal and negative-ideal solutions subjectively, a decision-maker (DM) determines the range of criteria or the interval of acceptable values for each criterion. In reality, it is much more difficult to determine the ideal solution than the negative-ideal solution, so it makes sense to determine also the position of an alternative in relation to the negative-ideal solution. For illustrating the VSIS method with a numerical example, a decision-making matrix with four alternatives and five criteria has been formed.

Transformation of criteria values

Since measurement units are different for different criteria (heterogeneous criteria system), the elements of the initial matrix are transformed into dimensionless parameters in the interval $[0,1]$. In this

article, the author used the transformation based on criteria values range (interval length), i.e. the absolute difference between the best and the worst criterion value: $a_{ij} = (c_{ij} - c_j^-) / (c_j^+ - c_j^-)$, $0 \leq a_{ij} \leq 1$. Such a transformation is possible when the criteria are mutually independent or when their mutual dependence is not taken into account. The transformation is not without flaws, since criteria values for criteria with a narrower range become more prominent than those with a wider range, which is due to the choice of the ideal and negative-ideal solutions from known criteria values ('perceived' values).

Application of Lp metrics in MADM

Lp metrics in MADM is a measure of the distance of alternatives from the ideal solution and the negative-ideal solution; it is the basis for determination of compromise solutions. The application of different values for the Lp metrics parameter $p \in [1, \infty)$ results in more than one solution (solution is the best alternative), i.e. compromise solutions of MADM problems. The most frequently applied parameters are $p = 1, 2, \infty$, for which, regardless of SA, distances of alternatives $V_i = \{a_{ij}\}$ from the ideal $d_p^+(i) = L_p(V^+; V_i)$ and negative-ideal solutions $d_p^-(i) = L_p(V^-; V_i)$ are defined, and based on their values up to six different compromise solutions are obtained (the best alternative and a ranking list of alternatives). Which ranking list the decision-maker is going to accept depends on taking into account the parameter p influence on overall effects. The method enables usage of other parameter p values for obtaining compromise solutions. Two new compromise solutions are obtained by 'reconciling' non-adapted ranks and by applying the linear combination of Lp metrics function values.

Vector of similarity to ideal solution in alternatives

The vector of similarity to ideal solution (VSIS) in alternatives is, according to all criteria, a multidimensional vector $S = \{s(i); i = 1, m\}$, the elements (coefficients of similarity to ideal solution – CSIS) of which are determined based on diverse distances $d^+(i)$ and $d^-(i)$: $s(i) = d^-(i) / [d^+(i) + d^-(i)]$; $0 \leq s(i) \leq 1$. Based on a partial VSIS, compromise solutions based on 'pure' Lp metrics distances are also possible. The application of the VSIS results in a unique solution of an MADM problem, with the influence of the negative-ideal solution taken into account. By a further definition of the secondary negative-ideal solution and a subsequent extension of the PSA, the drawbacks of the applied decision-making matrix transformation are partially eliminated and more realistic parameters of alternatives are obtained. It is also possible to determine the values of the extension of the space of alternatives, as factors influencing new coefficients of similarity to ideal

solutions. The compromise solutions and, based on them, the obtained unique solution of the MADM problem should represent a starting point for decision-makers before they make a final decision. Decision-makers have a good basis as well as arguments for a choice of either one of compromise solutions or a unique solution; however, these solutions do not need to be their final choice. This procedure is to help them in their final decision.

Conclusion

The application of L_p metrics for solving an MADM problem has been shown in the article. Based on the distances between n -dimensional points representing alternatives and referent points (the ideal and negative-ideal solutions), six compromise solutions have been obtained for the characteristic values of the L_p metrics parameter ($p = 1, 2, \infty$). 'Reconciliation' of such solutions has been done by forming two linear combinations (based on the ideal solution and the negative-ideal solution) with coefficients representing relative credibility of the L_p metrics distance, thus resulting in two more compromise solutions. The application of the linear combinations of the L_p metrics functions helps the decision-maker to rank alternatives in accordance with requests for overall utility, geometric proximity or minimax deviations of criteria values from the ideal and negative-ideal solutions or their combinations. During the procedure, while choosing coefficients of linear combinations, decision-makers can express their attitude towards the influence of the parameter p on solutions. The final solution is obtained by ranking alternatives according to the values of the elements of the vector of similarity to ideal solution, which encompasses the relation of alternatives towards the negative-ideal solution as well. Software support to the VSIS method enables a choice of one, two or three functions of L_p metrics, a large number of criteria and subcriteria as well as the application of the method in real time under fast changing external conditions. Updating the software with elements from different human activities (military issues, ecology, education, health systems, economy issues, etc.) can enhance decision-making in these fields.

Key words: multiple-criteria decision- making (MCDM), transformation criterion values, compromise solution, ideal solution, L_p metrics, vector of similarity to ideal solution.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 03. 06. 2015.
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы /
 Manuscript corrections submitted on: 20. 07. 2015.
 Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного
 согласования работы / Paper accepted for publishing on: 22. 07. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ПРИМЕНА ДИНАМИЧКИХ СИМУЛАЦИЈА У АНАЛИЗИ МЕРА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ОБЈЕКТА

Снежана М. Драгићевић

Универзитет у Крагујевцу, Факултет техничких наука у Чачку
e-mail: snezana.dragicevic@ftn.kg.ac.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-6244-0111>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8878

ОБЛАСТ: машинство, енергетска ефикасност

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: српски

Сажетак:

*Једна од најчешће коришћених метода за унапређење енергетских карактеристика објекта – зграда јесте смањење потрошње енергије за грејање. У овом раду извршена је компаративна анализа енергетских потреба зграде за грејање простора, на основу студија случаја у којима су вршене модификације изолационих материјала омотача зграде и врсте прозора. За анализу је изабран јавни вишеспратни објект, који се налази у Београду. За динамичке симулације и анализе ефеката примене мера за унапређење енергетске ефикасности објекта на смањење потрошње енергије за грејање коришћен је програм *DesignBuilder*. Резултати рада показују да се изолацијом зграде и заменом прозора може остварити смањење енергије за грејање до 61% годишње.*

Кључне речи: енергетска ефикасност, динамичке симулације, *DesignBuilder*, изолација, замена прозора.

ЗАХВАЛНИЦА: Аутор се захваљује за финансијску подршку Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. (Рад представља резултат пројекта „Унапређење енергетских карактеристика и квалитета унутрашњег простора у зградама образовних установа у Србији са утицајем на здравље“, III42008, Област: Енергетика и енергетска ефикасност, 2011–2015).

Увод

На глобалном нивоу око 40% од укупне потрошње енергије представља топлотна енергија која се троши у зградама. У Србији преко 60% укупне потрошње финалне енергије користи се у зградама, што је више него у сектору индустрије и транспорта. Поред тога, грађевински сектор је у порасту, што ће довести до повећања потрошње енергије, поготово у стамбеним и комерцијалним зградама које су највећи крајњи потрошачи енергије за грејање, осветљење, као и за потребе рада кућних апарата и опреме (Eftimie, 2015).

Технички потенцијал за побољшање енергетске ефикасности у сектору домаћинства, пословним и јавним зградама је велики. Да би се обезбедила потребна количина енергије неопходно је применити све мере за унапређење енергетске ефикасности зграда. Због тога се при изградњи или ревитализацији зграда морају задовољити, осим архитектонских услова неопходних за изградњу, и услови који омогућавају остваривање енергетски ефикасног објекта.

Нискоенергетски објекти су они чије су годишње потребе за грејање простора између 40 и 60 kWh/m². Главни циљ нискоенергетских објеката јесте да се минимизира количина енергије која се обезбеђује из спољашњих извора енергије, а да се при том обезбеди потребан ниво топлотног комфора корисника објекта, без обзира на годишње доба и спољашње климатске параметре (Flodberg, et al., 2012). Нискоенергетске зграде најчешће имају веома добру изолацију и енергетски ефикасне прозоре, због чега је потребна енергија за грејање и хлађење мала, па су ови објекти енергетски веома ефикасни.

За побољшање енергетске ефикасности зграда мора се применити скуп метода и техника помоћу којих се зграда разматра као објекат за размену енергије са околином. Побољшање енергетских карактеристика зграде може бити постигнуто различитим методама, као што су:

- добра изолација зидова и коришћење прозора са високим степеном термичке заштите, чиме се на нивоу зграде стварају повољни унутрашњи услови комфора;
- побољшање енергетских перформанси система грејања;
- побољшање перформанси система за климатизацију и електричних инсталација.

У раду ће бити анализирани неки од најефикаснијих метода за побољшање енергетских карактеристика зграде. Анализираће се утицај метода ревитализације зграде на грађевинском нивоу и то употребом топлотне изолације спољашњих зидова и прозора са вишеслојним стаклом пуњеним гасом, како би се обезбедило одржавање топлоте у затвореном простору током зиме, али и спречили прекомерни добици енергије у току лета.

Смањење потрошње енергије за грејање и, у новије време, за хлађење објеката, директно смањује и критична вршна оптерећења у електроенергетском систему земље. Истовремено, побољшање енергетске ефикасности пружа велике могућности за смањење емисије гасова стаклене баште.

Циљ рада јесте да се коришћењем динамичких енергетских симулација топлотног понашања зграде израчунају енергетске потребе за грејање, уочавајући разлике између енергетских перформанси зграде у различитим варијантним решењима. У том смислу извршиће се компаративна анализа енергетских потреба добијених коришћењем различитих врста изолационих материјала спољашњих зидова и прозора. Наведене анализе извршиће се на изабраном јавном објекту који се налази на подручју града Београда.

Мере за унапређење енергетске ефикасности објеката

Највећи губици енергије у зградама представљају губици топлотне енергије. Најбољи начин за побољшање енергетске ефикасности зграде, којим се остварује уштеда потрошње енергије, јесте изолација целе зграде, као и крова и подрумског простора код којих се могу остварити велики губици топлотне енергије (Pe´rez-Lombard, et al., 2008). Да би се смањили губици топлотне енергије потребно је применити низ додатних мера које узимају у обзир следеће аспекте:

- топлотни омотач зграде треба да обезбеди потребан унутрашњи климатски комфор уз малу потрошњу енергије, без обзира на годишње доба;

- прозори треба да имају најмањи могући коефицијент пролаза топлоте, да обезбеде максималне добитке енергије од сунца у зимском периоду и да их контролишу у летњем, како би се смањиле потребе за енергијом за грејање, тј. хлађење;

- кров треба да буде правилно изолован.

За анализу енергетског понашања зграда морају се имати прецизни подаци о свим конструктивним елементима објекта, као и о материјалима зидова, таваница, подова, прозора и кровне конструкције (Petrović, Vasić, 2012).

Најчешће коришћена метода која се користи за енергетску ревитализацију зграде јесте изолација спољашњих зидова, тј. омотача зграде (Young, Altan, 2013). Дебљина и квалитет омотача зграде имају значајан утицај на количину топлотне енергије која се губи кроз зидове. У случају некавалитетне изолације настају додатни губици топлотне енергије током зиме, могућност настанка кондензације на унутрашњим зидовима, као и прекомерна потрошња енергије за хлађење у летњем периоду. Најче-

шће коришћени изолациони материјали су експандирани полистирен (EPS) и екструдирани полистирен (XPS).

Да би се извршио правилан избор врсте материјала за спољашњу изолацију зидова потребно је познавати основне карактеристике најчешће коришћених изолационих материјала (Mishra, et al., 2012). Нека основна својства експандираног полистирена су:

- може се успешно користити у зградама које се налазе у подручјима са високим процентом влажности ваздуха;
- отпоран је на утицај влаге, гљивица и бактерија;
- има лоша противпожарна својства и слабу отпорност на утицај високих температура;
- паропропусност материјала, ако је монтиран на спољашњој страни зида, спречава стварање затворених делова који омогућавају развој влаге између плоча експандираног полистирена и зида;
- цена експандираног полистирена није се знатно мењала у последњих неколико година, за разлику од многих других грађевинских материјала.

Основна својства екструдираниог полистирена су:

- омогућава настанак кондензације, јер не дозвољава пролаз паре, па влажност остаје заробљена између зида и изолационог материјала;
- веома је поуздан и има високу отпорност на деструктивне утицаје природе;
- пружа велики отпор пролазу топлоте при паду температуре;
- у поређењу са експандираним полистиреном има већу отпорност на утицај хемијских супстанци, као што су киселине, базе, алкохоли и боје на бази алкохола, слану воду, цемент и асфалт;
- сунчева светлост може утицати на промену боје плоче екструдираниог полистирена, али не утиче на термоизолационе карактеристике изолације.

Поред наведених, данас постоје нови изолациони материјали који могу бити ефикаснији и јефтинији од поменутих, као што су изолациони материјали израђени од полиуретана. Неке од основних карактеристика полиуретанске топлотне изолације су (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Association, 2006):

- коефицијент пролаза топлоте јој је око 0,020 W/mK у зависности од густине материјала и произвођача;
- отпорна је на дејство хемијских супстанци;
- не гори, отпорна је на ватру и не потпомаже сагоревање;
- може се поставити без прекида, чиме се онемогућава настајање топлотних мостова између панела, на целој површини објекта, без обзира на његову величину и облик;
- има знатно бољу звучну изолацију од експандираног полистирена;
- водоотпорна је за разлику од експандираног полистирена који може да апсорбује воду која може довести до одвајања постављеног изолационог материјала.

Изолациони материјали на бази полиуретана ретко се примењују за топлотну изолацију, па због тога неће бити разматрани у приказаним динамичким симулацијама.

У процесу енергетске рехабилитације зграде прозори представљају важан сегмент, јер најчешће заузимају велику површину омотача зграде, што је чест случај код пословних зграда. Данас су све више у употреби веома квалитетни прозори са троструким нискоемисионим стаклом, који омогућавају знатно смањење трошкова за грејање простора (Apte, et al., 2003).

Побољшање термичких карактеристика кровне конструкције је веома ефикасна мера за побољшање енергетске ефикасности објеката, која се може применити како код нових објеката, тако и на постојећим зградама. Правилном изолацијом крова смањују се губици топлоте и омогућава се захтевани топлотни комфор унутар зграде. Уградња додатног изолационог слоја у кровну конструкцију је једноставна за извођење, не представља велику инвестицију, а отплаћује се за веома кратак период.

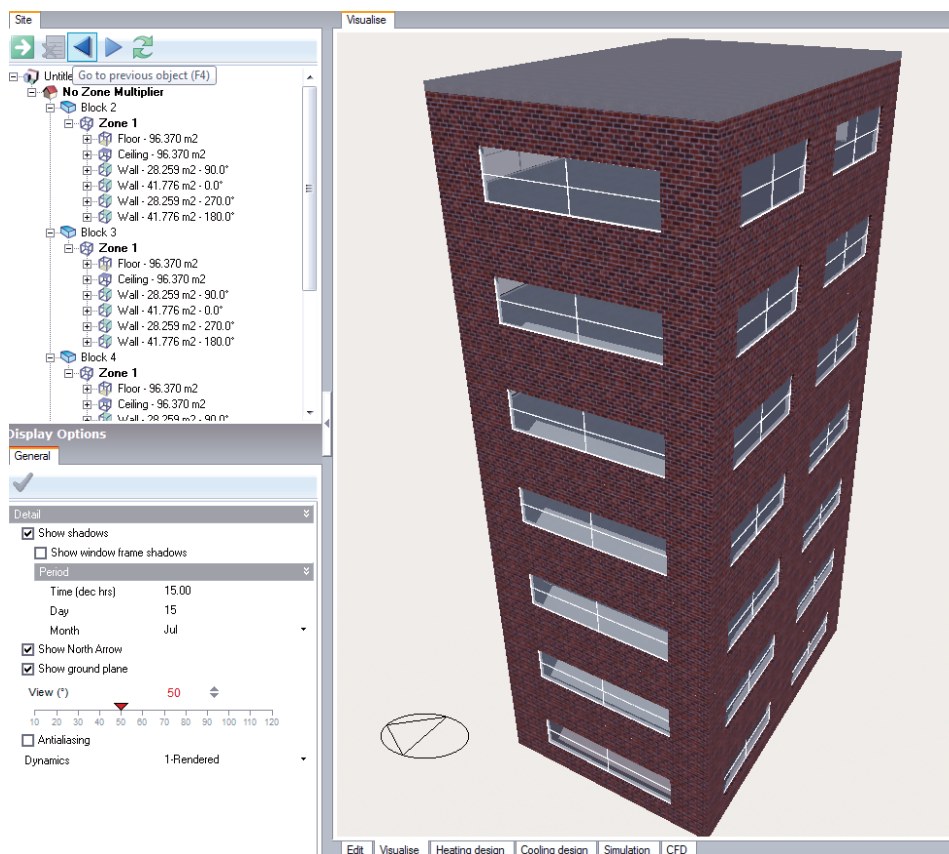
Резултати динамичких симулација

За динамичку симулацију термичког понашања одабраног објекта коришћен је програм DesignBuilder (www.designbuilder.co.uk). Његовом применом реализују се прорачуни топлотног оптерећења објекта и потрошње енергије за грејање и хлађење, који се користи за одређивање енергетских карактеристика зграде (Shetal, Sharples, 2010). Програм омогућава енергетске симулације објеката при њиховом пројектовању, али и при ревитализацији постојећих објеката са могућношћу примене локалних енергетских и грађевинских прописа и стандарда. Уз помоћ овог програма примена мера за побољшање енергетске ефикасности зграда може се квантификовати и вредновати.

Енергетска симулација топлотног понашања зграде извршена је на примеру јавног објекта који се налази у Београду. Зграда има приземље и 6 спратова, укупне површине 675 m^2 (слика 1).

С обзиром на исти топлотни режим који је дефинисан у свим просторијама зграде, цела зграда се посматра као једна топлотна зона. Површина сваког спрата зграде износи $96,37 \text{ m}^2$. На северној и јужној страни налазе се прозори укупне површине $12,5 \text{ m}^2$, а на источној и западној страни постављени су прозори површине $8,5 \text{ m}^2$. На првом спрату налазе се канцеларије са 25 службеника, а на осталима по 10. Корисници користе зграду 5 дана у недељи, од 7.00 до 19.00 часова. У истим терминима предвиђена је и употреба електронских уређаја и осветљења. Температура која се одржава у грејаном простору подешена је на 21°C у периодима када у згради има

много корисника. Проток ваздуха из спољашње средине у унутрашњост зграде дефинисан је инфилтрацијом и усвојен је број измена ваздуха од 0,5 l/h.



Слика 1 – Модел зграде креиран у DesignBuilder-у
 Рис. 1 – Модел зграда, созданная в программе DesignBuilder
 Figure 1 – Building model created in DesignBuilder

Динамичка енергетска симулација у DesignBuilder-у урађена је за климатске услове Београда помоћу базе метеоролошких података која је интегрисана у програм. Симулација је извршена за грејни период од 1. октобра до 31. марта. Као референтни објекат узета је зграда без изолације спољашњих зидова, са прозорима са двоструким нискоемисионим стаклом и кровом са изолацијом од стаклене вуне. Структура спољашњих зидова и равног крова референтне зграде (од унутра ка споља) приказана је у табели 1.

Табела 1 – Состав термичког омотача референтне зграде
 Таблица 1 – Состав термоизоляционного слоя здания
 Table 1 – Elements of the referent building envelope

Део термичког омотача	Структура термичког омотача	Коефицијент пролаза топлоте (W/m^2K)
Спољашњи зид	продужени кречни малтер 2 cm бетонски зид 20 cm цементни малтер 3 cm	2,071
Раван кров	цементни малтер 2 cm бетон 20 cm битуменски премаз 0,1 cm стаклена вуна 15 cm битуменски премаз 0,1 cm шљунак 5 cm	0,249

У табели 2 приказани су резултати реализованих симулација за сва варијантна решења. У симулацијама је вршена анализа потрошње енергије за грејање, коришћењем две врсте изолационих материјала различитих дебљина на спољашњим зидовима и са прозорима са различитим врстама стакла. Предложене симулације извршене су за исту конфигурацију зграде, у истом периоду, али са предложеним изменама. Симулирани модел зграде представља трансформацију постојећег референтног објекта у нискоенергетски објекат, водећи рачуна да добијени коефицијенти пролаза топлоте термичког омотача зграде и прозора не прелазе највеће дозвољене вредности дефинисане Правилником о енергетској ефикасности зграда Републике Србије за постојеће зграде (Sl. glasnik RS br. 61/11).

Табела 2 – Варијанта решења зграде за које су спроведене енергетске симулације
 Таблица 2 – Один из вариантов решений здания, для которого выполнено энергомоделирование
 Table 2 – Building solution variant for which energy simulations were carried out

Варијанта	Карактеристике зграде	Специфична потрошња енергије за грејање ($kWh/m^2/ год.$)
v_0	Референтна зграда: – без изолације спољашњих зидова $U=2,071 W/(m^2K)$ – прозори са двоструким нискоемисионим стаклом, дебљине 6 mm, пуњени аргоном 13 mm, $U=1,322 W/(m^2K)$ – раван кров изолован стакленом минералном вуном, дебљине 15 cm, $U=0,249 W/(m^2K)$	94,19

Варијанта	Карактеристике зграде	Специфична потрошња енергије за грејање (kWh/m ² / год.)
v ₁	Референтна зграда + екструдирани полистирен (XPS) 5 cm дебљине, U=0,512 W/(m ² K) за спољашњи зид	50,34
v ₂	Референтна зграда + екструдирани полистирен (XPS) 8 cm дебљине, U=0,353 W/(m ² K) за спољашњи зид	44,67
v ₃	Референтна зграда + екструдирани полистирен (XPS) 10 cm дебљине, U=0,292 W/(m ² K) за спољашњи зид	42,47
v ₄	Референтна зграда + експандирани полистирен (EPS) 5 cm дебљине, U=0,577 W/(m ² K) за спољашњи зид	52,60
v ₅	Референтна зграда + експандирани полистирен (EPS) 8 cm дебљине, U=0,403 W/(m ² K) за спољашњи зид	46,46
v ₆	Референтна зграда + експандирани полистирен (EPS) 10 cm дебљине, U=0,335 W/(m ² K) за спољашњи зид	44,04
v ₇	Референтна зграда + екструдирани полистирен (XPS) 10 cm дебљине, U=0,292 W/(m ² K) за спољашњи зид + прозори са троструким нискоемисионим стаклом, дебљине 3 mm, пуњени аргоном 13 mm, U=0,786 W/(m ² K)	36,49

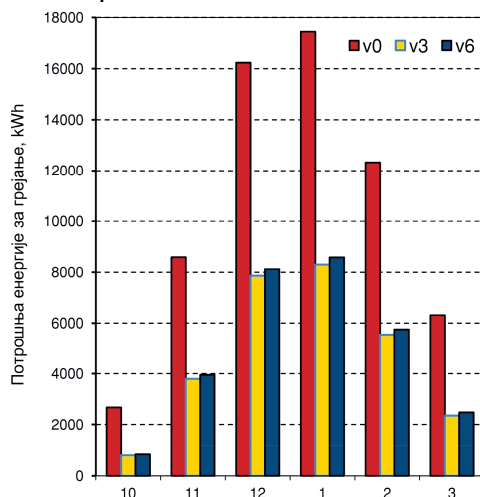
Резултати симулација показују да примена мере за побољшање енергетске ефикасности зграде уградњом изолације дебљине 5 cm на спољашње зидове не даје задовољавајуће резултате, јер су добијени коефицијенти пролаза топлоте за обе врсте изолационог материјала већи од највеће дозвољене вредности $U_{\max}=0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ која је дефинисана Правилником. Исти случај јавља се и ако се примени изолација од експандираног полистирена, дебљине 8 cm, док је за изолацију од екструдираниог полистирена, дебљине 8 cm, вредност коефицијента пролаза топлоте за спољашње зидове нешто испод прописане вредности. На основу добијених резултата види се да се применом изолације од екструдираниог полистирена, дебљине 10 cm, добијају најбољи резултати. Годишња потрошња енергије за грејање за све анализирани случајеве који задовољавају услове Правилника о енергетској ефикасности објеката наведена је у табели 3.

Табела 3 – Годишња потрошња енергије за грејање за сва варијанте решења
 Таблица 3 – Годовое потребление энергии по всем вариантам решений
 Table 3 – Annual heating energy consumption for all variant solutions

Варијанта	Годишња потрошња енергије [kWh]	Годишње смањење потрошње енергије за грејање (%) у односу на v ₀
v ₀	63.578	-
v ₂	30.154	52,57
v ₃	28.665	54,91
v ₆	29.728	53,24
v ₇	24.630	61,26

Поређење потрошње енергије за грејање зграде без изолације спољашњих зидова и са изолацијом од експандираног полистирена и екструдираниог полистирена, дебљине 10 cm, показује да је током године, тј. једне грејне сезоне, могуће остварити знатну уштеду енергије до 55%. Ако се на тако изолованој згради изврши замена прозора могуће је остварити додатних 6% уштеде енергије за грејање. На слици 2 приказана је месечна анализа потрошње енергије референтне зграде и зграде са уграђеном изолацијом од експандираног полистирена и екструдираниог полистирена дебљине 10 cm.

Ако се упореде ефекти примене изолације, дебљине 10 cm, може се уочити да се на годишњем нивоу може уштедети 3,7% више енергије за грејање ако се користи екструдирани полистирен уместо експандираног полистирена.



Слика 2 – Месечна потрошња енергије за грејање: референтна зграда (v₀), референтна+XPS/10cm (v₃) и референтна+EPS/10 cm (v₆)
 Рис. 2 – Месячное потребление энергии за отопление: референтное здание (v₀), референтное+XPS/10cm (v₃) и референтное+EPS/10 cm (v₆)
 Figure 2 – Monthly space heating consumption for: reference building (v₀), reference+XPS/10cm (v₃) and reference+EPS/10cm (v₆)

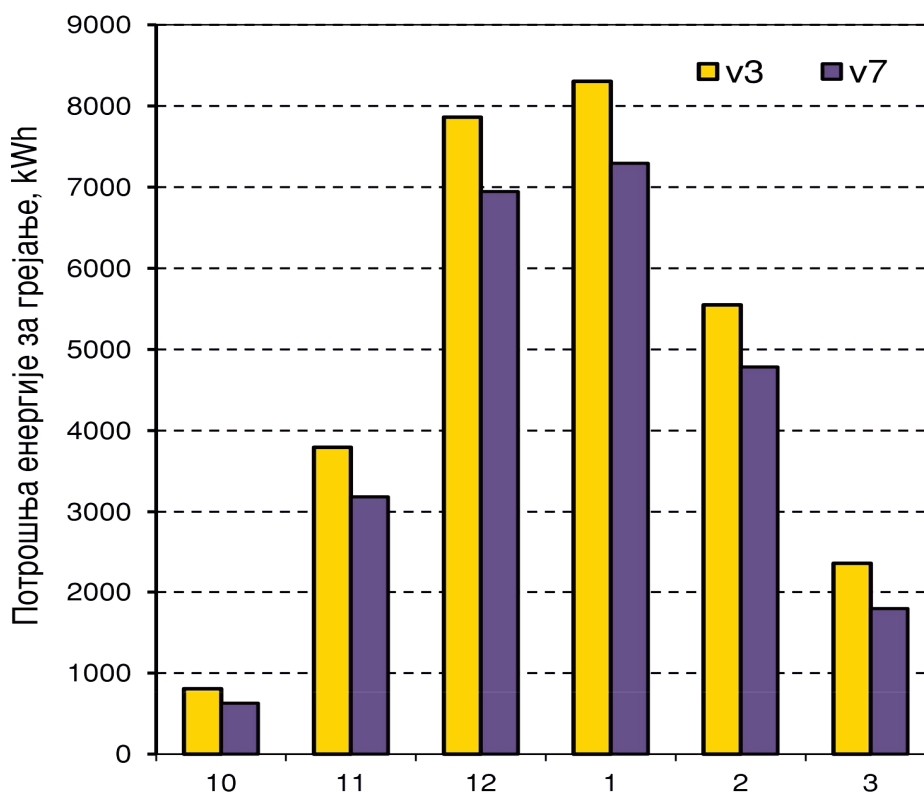
Поређење различитих изолационих материјала могуће је извршити на основу коефицијената топлотне проводљивости. Основне карактеристике изолационих материјала који налазе примену у пракси наведене су у табели 4. Ако се упореде коефицијенти топлотне проводљивости експандираног полистирена, односно екструдирани полистирена и полиуретанске пене, која је у смислу односа коефицијената топлотне проводљивости са 26,5% боља у односу на екструдирани полистирен, тј. са 37,5% у односу на експандирани полистирен, добијају се проценти који не приказују однос у разликама између потребне топлоте за грејање када се користе анализирани материјали. Због тога се за правилан избор изолационог материјала препоручује компаративна анализа потребне топлоте за грејање за различите врсте и дебљине изолационих материјала. На тај начин узимају се у обзир и остали битни фактори, као што су оријентација и комплетна структура зграде, климатски услови и др.

Табела 4 – Основни параметри изолационих материјала
Таблица 4 – Основные параметры изоляционных материалов
Table 4 – Parameters of insulation materials

Изолациони материјал	Коефицијент топлотне проводљивости λ (W/mK)	Густина ρ (kg/m ³)	Специфична топлота c (kJ/kgK)
Екструдирани полистирен	0,034	35	1400
Експандирани полистирен	0,040	15	1400
Полиуретан пена	0,025	10	1500

Друга мера која је примењена за побољшање енергетске ефикасности зграде је замена прозора. Према Правилнику о енергетској ефикасности објеката максималне дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте за прозоре и балконска врата грејаних просторија за постојеће и нове зграде је исти и износи $U_{\max}=1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. У спроведеним анализама коришћени су двоструки и троструки прозори пуњени аргоном, чији коефицијенти пролаза топлоте не прелазе максималну дозвољену вредност.

На слици 3 приказана је упоредна анализа потрошње енергије за грејање за референтну зграду са уграђеном изолацијом од екструдирани полистирена, дебљине 10 cm за случајеве када се користе двоструки и троструки прозори. На основу добијених резултата може се закључити да се услед замене двоструких прозора са троструким може остварити уштеда од 17% годишње потрошње енергије за грејање.

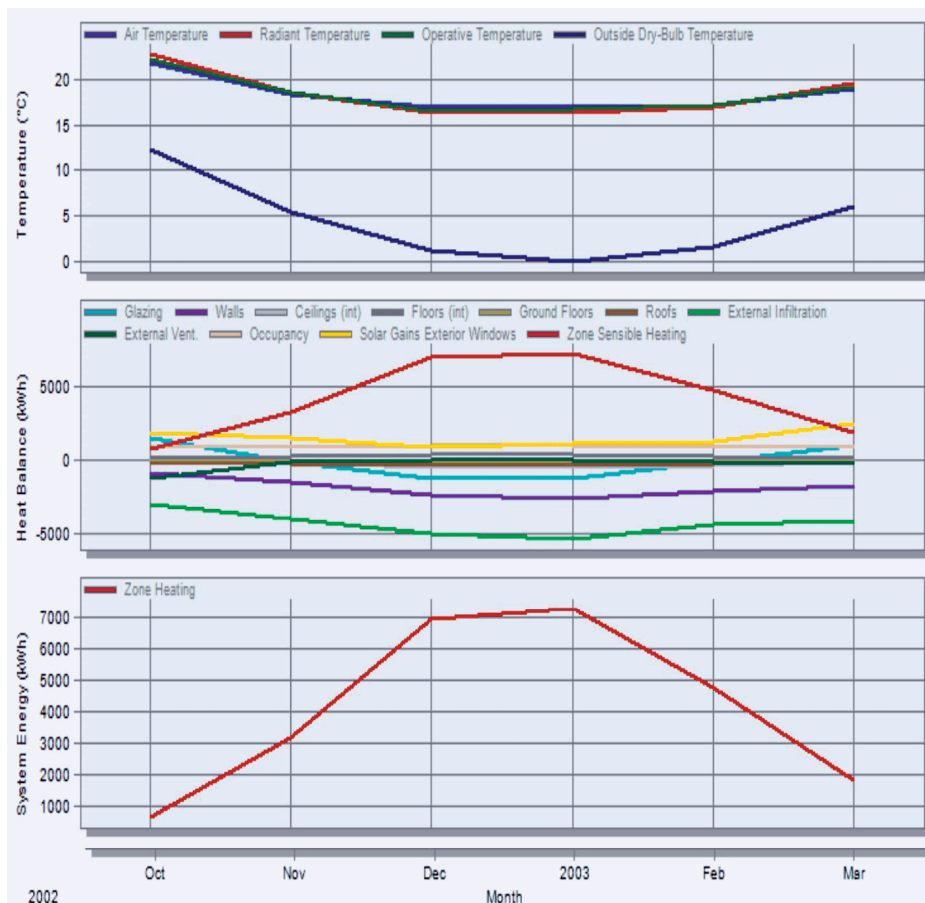


Слика 3 – Месечна потрошња енергије за грејање са двоструким (v_3) и троструким прозорима (v_7)

Рис. 3 – Месячное потребление энергии с зданиях с двойным (v_3) и тройным остеклением (v_7)

Figure 3 – Monthly heating consumption for a building with double (v_3) and triple glazing (v_7)

На слици 4 приказани су резултати динамичке симулације зграде (v_7) као варијантног решења зграде код које је могуће остварити највећу уштеду енергије за грејање. Резултати динамичке симулације показују да су промене добитака и губитака топлоте кроз елементе термичког омотача зграде и осталих елемената конструкције у директној сразмери са променом спољашње температуре ваздуха. Са слике се види да су губици топлоте кроз спољашње зидове и прозоре највећи, због чега се у раду и вршила анализа утицаја њихових топлотних карактеристика на количину топлоте потребну за загревање зграде.



Слика 4 – Резултати динамичке симулације зграде (v₇): температуре, губици и добици топлоте и потрошња енергије за грејање
 Рис. 4 – Резултати динамической симуляции здания (v₇): температура, потеря и экономия тепла и расход энергии для отопления
 Figure 4 – Results of a building (v₇) dynamical simulation: temperatures, heat gains and energy consumption

Закључак

Потрошња енергије за грејање објекта представља значајан удео у укупној потрошњи енергије. Климатски услови у области у којој су лоцирани објекти имају значајан утицај, како на топлотни комфор, тако и на потрошњу енергије. С обзиром на овај аспект, реализоване су динамичке симулације помоћу база метеоролошких параметара које су интегрисане у коришћеном програму DesignBulilder.

Ефекте примене различитих мера за унапређење енергетске ефикасности објеката није могуће прецизно проценити без примене компјутерских симулација. Коришћењем база података грађевинских материјала, прозора, временских података и стандарда за одређивање перформанси зграде, помоћу компјутерских симулација могу се проценити сви параметри који осигуравају побољшање енергетске ефикасности зграде.

У раду су приказане динамичке симулације енергетског понашања анализираних вишеспратног објекта, као и компаративне анализе између референтног објекта и приказаних варијантних решења, која представљају објекат са примењеним различитим мерама за унапређење енергетске ефикасности. На основу добијених резултата може се закључити да се изолацијом спољашњих зидова од експандираног полистирена или екструдираних полистирена, дебљине 10 cm, може остварити уштеда енергије за грејање од око 55% у односу на референтну варијанту зграде. На тако изолованом објекту, ако се изврши замена двоструких прозора енергетски ефикаснијим троструким прозорима, може се остварити уштеда енергије за грејање од око 61% у односу на референтну варијанту зграде. Добијени резултати недвосмислено показују оправданост примене приказаних мера за побољшање енергетске ефикасности разматраног објекта.

Литература / References

- Apte, J., Arasteh, D., & Huang, Y.J. 2003. Future Advanced Windows for Zero-Energy Homes. *ASHRAE Transactions*, 109(2), str. 1-12.
- Eftimie, E. 2015. Costing energy efficiency improvements in buildings Case study: Braşov, Romania. *International Journal of Energy and Environment*, 6(1), str. 47-60.
- Federation of European Rigid Polyurethane Foam Association. 2006. *Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam (PUR/PIR) Report No 1*.
- Flodberg, K., Blomsterberg, A., & Dubois, M.C. 2012. Low-energy office buildings using existing technology: simulations with low internal heat gains. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 3(19). doi:10.1186/2251-6832-3-19
- Mishra, S., Usmani, J.A., & Varshney, S. 2012. Energy Saving Analysis In Building Walls Through Thermal Insulation System. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(5), str. 128-135.
- Pe'rez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. 2008. A review of building energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40, str. 394-398.
- Petrovic Becirovic, S., & Vasic, M. 2012. Energy-efficient refurbishment of public buildings in Serbia. *Rehva Journal*, , str. 40-44. December.
- Shetal, W., & Sharples, S. 2010. A Building Simulation Sustainability Analysis to Assess Dwellings in a New Cairo Development. U: 4th National Conference of IBPSA, New York City, USA. , str. 94-101
- Službeni glasnik Republike Srbije. 2011. Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada. *JP "Službeni glasnik "*, 61.
- Young, K.K., & Altan, H. 2013. Using dynamic simulation for demonstrating the impact of energy consumption by retrofit and behavioural change. U: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France. str. 2451-2457 26-28.
- Preuzeto sa <http://www.designbuilder.com>

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ МЕР ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

Снежана М. Драгичевич

Университет в г.Крагуевац, Факультет технических наук в г.Чачак

ОБЛАСТЬ: машиностроение, энергоэффективность

ТИП СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

Одним из успешных методов повышения энергоэффективности зданий является снижение потребления энергии при отоплении. В данной статье приведен сравнительный анализ нужд для отопления помещений, выполненный на основании исследования объекта, на котором произведена модификация изоляционных материалов и изоляционного слоя здания, а также его остекления. Эксперимент был проведен на многоэтажном здании в городе Белград. При выполнении динамической симуляции и оценке эффекта примененных мер для повышения энергоэффективности объекта, в виде снижения потребления энергии для отопления использовалась программа DesignBuilder. Результаты исследования показали, что благодаря изоляции здания и замене окон годовой расход энергии на отопление уменьшен до 61%.

Ключевые слова: *энергоэффективность, динамическое моделирование, DesignBuilder, изоляция, замена окон.*

APPLICATION OF DYNAMIC SIMULATIONS IN THE ANALYSIS OF MEASURES FOR IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

Snezana M. Dragicevic

University in Kragujevac, Faculty of Technical Sciences in Cacak

FIELD: Mechanical Engineering, Energy Efficiency

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Summary:

One of the most commonly used methods for improving energy performances of buildings is reducing heating energy consumption. This paper shows a comparative analysis of building energy demand for space heating based on case studies in which building modifications were made with insulating materials of building envelopes and with different window types. For the analysis, a public building with 6 floors,

located in Belgrade, was selected. For a dynamical simulation and evaluation of the applied energy efficiency measures to reduce heating energy consumption, the DesignBuilder program was used. The results show that the insulation of the building and the replacement of windows can lead to an annual reduction of heating energy up to 61%.

Introduction

In this paper, some of the most effective methods for improving energy performances of buildings are analyzed. It examines the influence of methods of building revitalization at the building level with the use of:

- Thermal insulation of external walls, and
- Windows with multiple glazing filled with gas in order to ensure keeping heat indoors during winter, but also to prevent excessive energy gains during summer.

The aim of the paper is to show that, with a dynamic building simulation of building thermal behavior, it is possible to calculate energy requirements for heating, recognizing the differences between energy performances of buildings in different variants. In this regard, a comparative analysis of energy needs obtained using different types of external walls insulation and glazing will be carried out. The analysis will be performed in a case study for a public object located in Belgrade.

Measures for improving energy efficiency in buildings

The most commonly used methods for energy revitalization of buildings is the insulation of exterior walls, ie. building envelope (Young, Altan, 2013). The thickness and quality of the building envelope have a significant impact on the amount of heat that is lost through walls. In the case of non-performing insulation, additional heat losses in winter and the possibility of condensation on interior walls occur, as well as excessive consumption of energy for cooling in summer. The most commonly used insulating materials are expanded polystyrene - Styrofoam (EPS) and extruded polystyrene (XPS).

Regardless of which type of exterior walls insulation is used, its thickness has a significant impact on heat losses. Nowadays, the minimum insulation thickness of 10 cm is recommended.

In the process of building energy rehabilitation, windows are an important segment because they usually occupy a large area of the building envelope, which is common in office buildings. Today, high-quality windows with triple low-e glass panes are used more and more, allowing a significant reduction of costs for space heating (Apte et al., 2003).

Results of the dynamic simulation

An energy calculation was applied for a public office building, located in Belgrade. The building has six floors with a space area of 675 m². (Figure 1).

The simulation was performed, followed by calculating heating energy consumption for two types of external walls, insulating materials with different thicknesses and with different types of window glazing. The proposed simulations were performed for the same configuration of the building, in the same period of time, but with a series of successive modifications. The simulated model of the building represents the transformation of an existing reference object into a low-energy building.

The simulation results show that the application of measures to increase the building energy efficiency by installing insulation of a thickness of 5 cm on external walls do not give satisfactory results. The obtained results show that the application of extruded polystyrene of 10 cm in thickness gives the best results. The comparison of the heating energy consumption for the building without insulation and for the building insulated with 10 cm of expanded polystyrene and extruded polystyrene shows that it is possible to achieve annual energy saving up to 55%.

The comparison of the application effects of 10 cm-thick insulation shows that 3.7% of energy could be saved annually for heating if extruded polystyrene is used instead of expanded polystyrene.

Figure 3 presents a comparative analysis of heating energy consumption for the reference building and the building insulated with 10 cm-thick extruded polystyrene, as well as for the cases when the building has double and triple glazing windows. Based on these results, it can be concluded that due to the replacement of double glazing windows with triple ones, saving of 17% of annual heating energy consumption could be obtained.

Conclusion

This paper presents a dynamic simulation of the energy behavior of the analyzed object and a comparative analysis between the reference object and the presented alternative solutions, which represent an object with applied various measures to improve its energy efficiency. Based on these results, it can be concluded that the insulation of external walls with 10 cm-thick expanded polystyrene or extruded polystyrene results in energy saving of about 55% compared to the reference variant of the building. For such an insulated object, if double-glazing windows are replaced with energy-efficient triple-glazing windows, energy saving of about 61% compared to the reference variant of the building can be achieved. The results clearly show the validity of the presented measures to increase the energy efficiency of the object in question.

Key words: energy efficiency, dynamic simulation, DesignBuilder, insulation, window replacement.

Датум пријема чланка / Дата получения работы / Paper received on: 21. 08. 2015.
Датум достављања исправки рукописа / Дата получения исправленной версии
работы / Manuscript corrections submitted on: 25. 10. 2015.
Датум коначног прихватања чланка за објављивање / Дата окончательного
согласования работы / Paper accepted for publishing on: 27. 10. 2015.

© 2016 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs,
втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative
Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons"
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the
terms and conditions of the Creative Commons Attribution license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).




ISKUSTVA U RAZVOJU PRONALASKA SA ASPEKTA NAUČNE VERIFIKACIJE I STVARANJA TRŽIŠTA

Nikola P. Žegarac

Srpska akademija izumitelja i naučnika, Beograd

e-mail: zegaracnikola@vektor.net,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9315

OBLAST: mašinstvo, pronalazaštvo

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

Rezime:

U radu su prikazana iskustva u razvoju pronalaska, patenata i naučnih dela sa aspekta naučne verifikacije i plasmana na tržištu. Opisani su problemi koji se uobičajeno javljaju u procesu razvoja pronalaska, kao i druga vrsta problema, koji prate pronalaska za vreme plasmana na tržište.

Ključne reči: pronalazak, patent, monitoring sistemi, tehnička dijagnostika, dijagnostički parametri, klizni ležajevi, motori sa unutrašnjim sagorevanjem, hidroelektrane, termoelektrane, uređaj za demontažu i montažu teško rastavljivih sklopova, metoda proračuna vibracione i udarne zaštite, pogonski sistem radarske antene.

ZAHVALNICA: Veliku zahvalnost izražavam generalu u penziji, opitnom i borbenom pilotu-lovcu Branku Bilbiji, koji je za vreme mog rada u Saveznoj upravi za kontrolu letanja bio direktor te ustanove i pružio mi sveobuhvatnu podršku u naučnoistraživačkom i stručnom radu. U tom periodu objavio sam nekoliko svetski priznatih patenata, izvršio projektovanje sistema, uveo nova tehnička rešenja i tehnološke inovacije u procesu modernizacije, opremanja i održavanja tehničkih sistema kontrole letanja. General Bilbija je u svojoj bogatoj karijeri leteo na mnogim savremenim borbenim avionima u našoj zemlji i u svetu. Aktivno je doprineo odluci da se u sistem odbrane naše zemlje uvede borbeni avion MIG-29. Poseban doprinos dao je Republici Srbiji kao visoki državni i vojni funkcioner, kako u mirnodopskim uslovima, tako i u uslovima NATO agresije 1999. godine. U tom periodu je, zahvaljujući izuzetnom smislu za organizaciju rada, umeću u rukovođenju i komandovanju u Vojsci, sistem kontrole letanja održan na visokom nivou, uprkos brojnim ljudskim žrtvama i ogromnim neprijateljskim razaranjima.

Uvod

U radu su prikazana iskustva u razvoju pronalaska, patenata i naučnih dela, koja pripadaju oblasti mašinstva, brodogradnje i avio-industriji. Prikazani su i određeni problemi koji prate stvaranje novog pronalaska. Pronalazač ne može predvideti sve detalje u momentu pojavljivanja ideje.

Posebno je važno da se utvrdi šta je suština pronalaska, stanje tehnike, ko su potencijalni korisnici, mogućnosti realizacije pronalaska, uslovi rada za stvaranje pronalaska, odnosno novog proizvoda, finansijski troškovi i drugo.

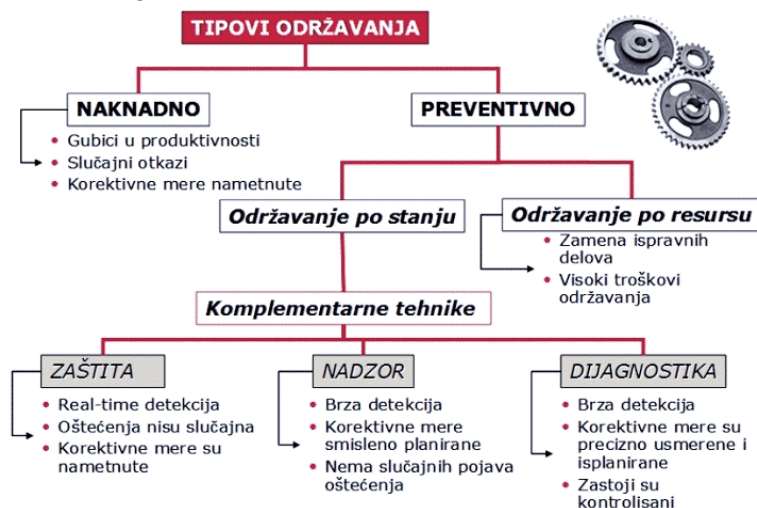
U toku stvaranja pronalaska posebno su prikazani korisni momenti, prekretnice – kako ići dalje u stvaranju pronalaska. Ponekad se pojavljuju situacije da li uopšte uspeti u svemu tome?

U radu su pronalasci podeljeni i opisani po određenim grupama iz raznih naučnih oblasti. Rad će biti koristan svima koji se bave tehnikom, naučnoistraživačkim radom, projektovanjem sistema, nastavnim osoblju, studentima, a posebno tehničkom osoblju koje se bavi održavanjem tehničkih sistema i krajnjim korisnicima tehnike.

Monitoring sistemi na mašinskim postrojenjima

Definisanje cilja

Na osnovu prikazane šeme tehničkog održavanja (slika 1) mogu se odrediti ciljevi istraživanja. Posebna pažnja posvećena je preventivnom održavanju: održavanje po stanju, održavanje po resursu i komplementarne tehnike (Žegarac, 1989a).



Slika 1 – Šema tehničkog održavnja sistema

Рис. 1 – Схема технической поддержки системы

Figure 1 – Schematic presentation of the system technical maintenance

Ponalazak-patent pod nazivom „Monitoring sistemi na mašinskim postrojenjima”, ima prevashodni cilj da se blagovremenim reagovanjem spreče havarije na mašinskim sklopovima ili kompletnim postrojenjima.

Krajnjem korisniku nudi se kompletno rešenje za monitoring mašinskih postrojenja bez rastavljanja; samo kod nekih postrojenja potrebno je izvršiti delimično rastavljanje radi montaže monitoring sistema. Patent je zaštićen kod Zavoda za inelktualnu svojinu-Beograd br. 48216-P-640/93, pod nazivom: „*Postupak i uređaj za određivanje zazora u kliznim ležajevima, merenjem dinamičke putanje glavnih rukavaca kolenastog vratila motora sa unutrašnjim sagorevanjem*”.

Novi monitoring sistemi treba da omoguće brzo i pouzdano merenje veličine stepena istrošenja, odnosno zazora u kliznim ležajevima, merenje vibracionih parametara i moćnu analizu vibracija, merenje brzine vrtnje, merenje temperature ulja za podmazivanje ili temperature tečnosti za hlađenje, analizu ulja za podmazivanje, pozicioniranje gornje mrtve tačke, ako se radi o motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. Pošto se radi o višekanalnim sistemima može se pratiti i meriti veliki broj dijagnostičkih parametara.

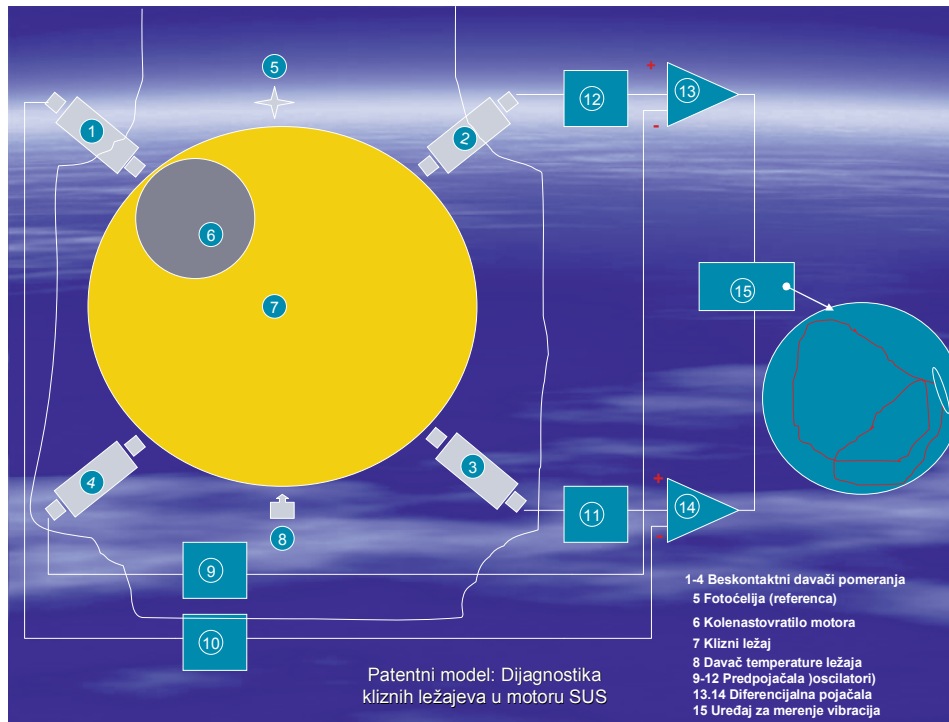
Na osnovu izmerenih veličina vrši se dijagnostika stanja mašinskih postrojenja. Dobijaju se podaci o stepenu istrošenja i oštećenju mašinskih elemenata (zupčanika, rukavaca vratila i osovina, kliznih i kotrljajnih ležajeva), podaci o debalansu, koji su veoma važni da se izvrši balansiranje sistema u jednoj ili dve ravni balansiranja.

Odabrani simptomi kvarova markiraju relevantne frekvencijske linije i stvaraju veličine simptoma kvarova čiji se trend može pratiti. Uslovi alarmiranja mogu biti zasnovani i na statističkim procenama odabranih parametara.

Monitoring sistem kliznih ležajeva na motorima sa unutrašnjim sagorevanjem

Na slici 2 prikazan je monitoring sistem kliznih ležajeva na motorima sa unutrašnjim sagorevanjem.

U toku razvoja pronalaska trebalo je rešiti problem da merni sistem ne zavisi od toga da li je motor sa unutrašnjim sagorevanjem 2-taktni ili 4-taktni, koju vrstu pogonskog goriva troši, da ne zavisi od načina gradnje motora tj. da li je motor linijske ili V-izvedbe i da se uređaj može koristiti i za dijagnostiku kliznih ležajeva na drugim mašinskim postrojenjima. Važno je napomenuti da se za realizaciju ovog pronalaska morao konstruisati poseban mehanički uređaj za centraciju davača pomaka (senzora) i kalibraciju mernog sistema pre merenja (Žegarac, 1989b).

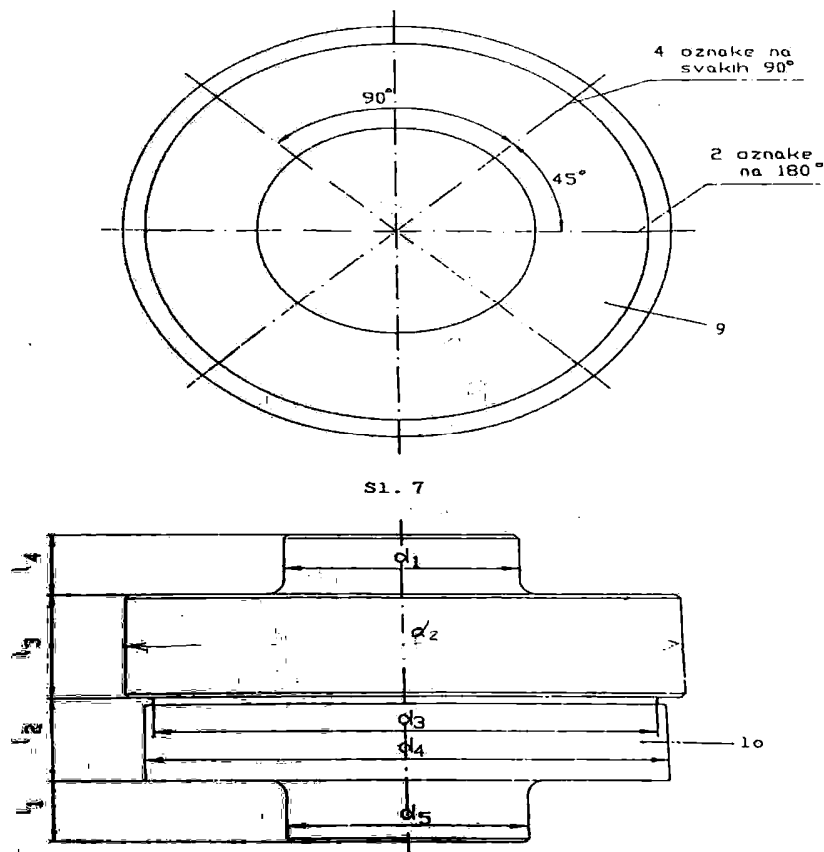


Slika 2 – Prikaz monitoring sistema kliznih ležajeva
 Puc. 2 – Изображение системы мониторинга подшипников скольжения
 Figure 2 – Plain bearings monitoring system

Ovaj uređaj (slika 3) takođe predstavlja patent.

U toku razvoja novih dijagnostičkih metoda i uređaja veliki je problem da se odrede kritična merna mesta. Veliki broj mernih mesta značajno usložava merni sistem i onemogućava da se prate ostali važni dijagnostički parametri. U ovom slučaju, pronašao sam da su merenja dinamičkih parametara (dinamičke putanje rukavaca u kliznom ležaju) vršena na najopterećenijem kliznom ležaju, a da su merenja vibracionih parametara vršena na određenim mernim mestima na spoljašnjim površinama postrojenja gde se mogu registrovati najveći stepeni istrošenja kliznih ležaja.

Na osnovu ovih merenja formiraju se baze podataka za svako postrojenje: vrednosti parametara koje pokazuju da li se radi o novom postrojenju (početne vrednosti parametara), izmerene vrednosti parametara koje pokazuju da li su vrednosti u propisanim granicama nakon određenog vremena rada, izmerene vrednosti parametra kada su u blizini graničnih vrednosti, kao i da li treba postrojenje planirati za remont ili ga isključiti iz dalje upotrebe.



Slika 3 – Uređaj za centraciju davača pomaka i kalibraciju mernog sistema
 Рис. 3 – Прибор для позиционирования датчика перемещения движения и калибровки измерительной установки

Figure 3 – Device for displacement sensor positioning and measurement system calibration

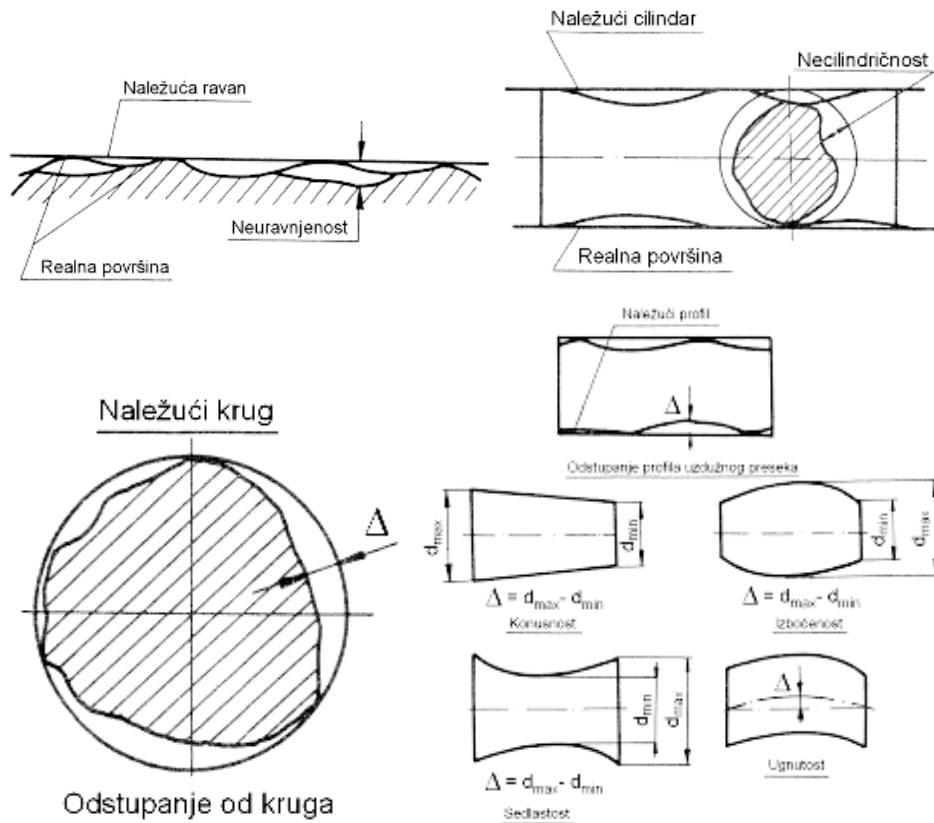
U toku razvoja nove dijagnostičke metode i monitoring sistema za klizne ležajeve, bilo je potrebno izvršiti kompletna dinamička modeliranja mašinskih postrojenja. Ako je u pitanju motor sa unutrašnjim sagorevanjem, trebalo je sačiniti kompletan dinamički model motora sa svim ulaznim veličinama, izvršiti dinamički proračun, izvršiti hidrodinamičke proračune u kliznim ležajevima, a zatim proračune dinamičkih putanja rukavaca kolenastog vratila motora.

U početku istraživanja dobijeni rezultati proračuna i merenja uopšte se nisu slagali. Detaljnim analizama utvrđeno je u kojoj meri nije dovoljno opisan dinamički model motora, pa su u proračune naknadno uzete u obzir i te komponente.

Kod merenja se pokazalo da se za korekciju izmerenih veličina moraju uzeti nepravilnosti oblika rukavca (geometrijska odstupanja na rukavcu kolenastog vratila motora prikazana su na slici 4), pošto se radi o

mikronskim mernim veličinama. Nakon toga dobijen je visoki stepen podudaranja rezultata proračuna i merenja u granicama od 5%, što je veoma precizno i pouzdano za određivanje stepena istrošenja kliznih ležaja.

To je bila prekretnica na ovom polju istraživanja i razvoja novog pronalaska.



Slika 4 – Prikaz geometrijskih odstupanja na rukavcu kolenastog vratila motora
 Рис. 4 – Изображение геометрических отклонений на шейке коленчатого вала двигателя
 Figure 4 – Presentation of geometrical deviations on the engine crankshaft sleeve

Nova dijagnostička metoda ima osnovno rešenje izvođenja, da se merenje dinamičkih parametara vrši sa 4 davača i varijantna rešenja, da se merenja mogu vršiti sa 2 beskontaktna ili sa jednim beskontaktnim davačem pomeraja (pomaka).

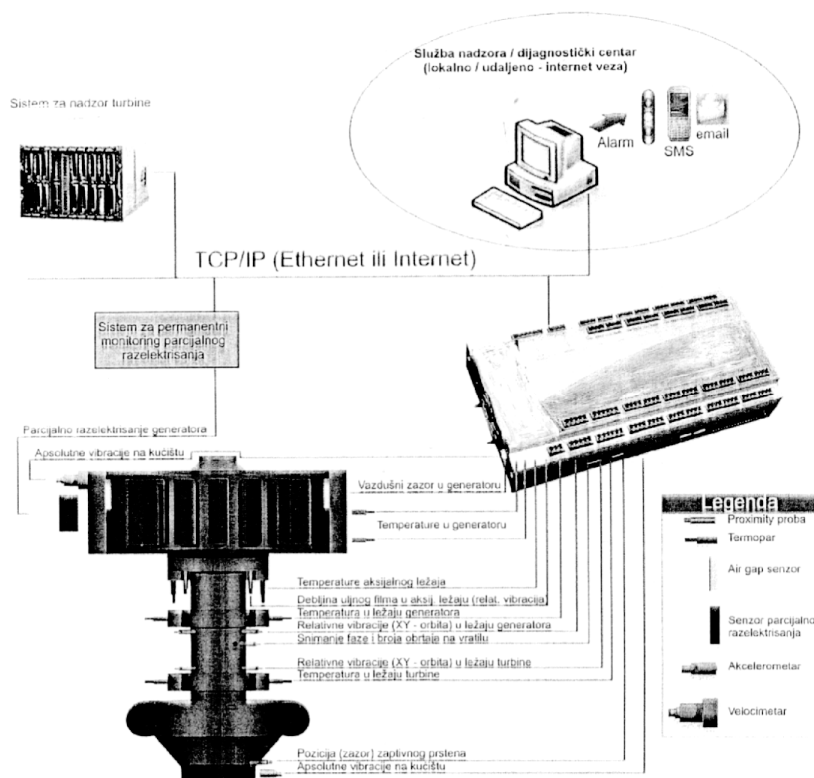
Postupak i uređaj za određivanje zazora u kliznim ležajevima motora sa unutrašnjim sagorevanjem je specijalizovana i uspešna tehnika monitoringa kliznih ležajeva. Ona pokazuje stvarne informacije tehničkog stanja ležaja kroz njegov eksploatacioni period. To znači da je pronalazak u

potpunosti pripremljen za tržište i jednostavno se može koristiti. Jedini trud koji treba uložiti jeste instalacija dijagnostičkog sistema na odabrano mašinsko postrojenje čiji će parametri biti praćeni tokom eksploatacije. Patent se koristi na brodskim motorima u inostranstvu

Monitoring sistem na rotoru hidroagregata (hidroelektrane)

Monitoring sistem na rotoru hidroagregata prikazan je na slici 5. Obuhvata čitav niz novih rešenja i postupaka u toku dijagnosticiranja. Novi izum sadrži nove metode merenja dinamičkih veličina (vibracijagnostiku, merenje relativnih i apsolutnih vibracija sistema) u 3D sistemu i po tome se razlikuje od drugih proizvođača uređaja i opreme.

Posebno je određena pozicija mernih mesta, što takođe predstavlja novu metodologiju u merenju, analizu i obradu izmerenih veličina. Na slici 5 prikazan je primer on-line monitoring sistema (Ličen, 2003).



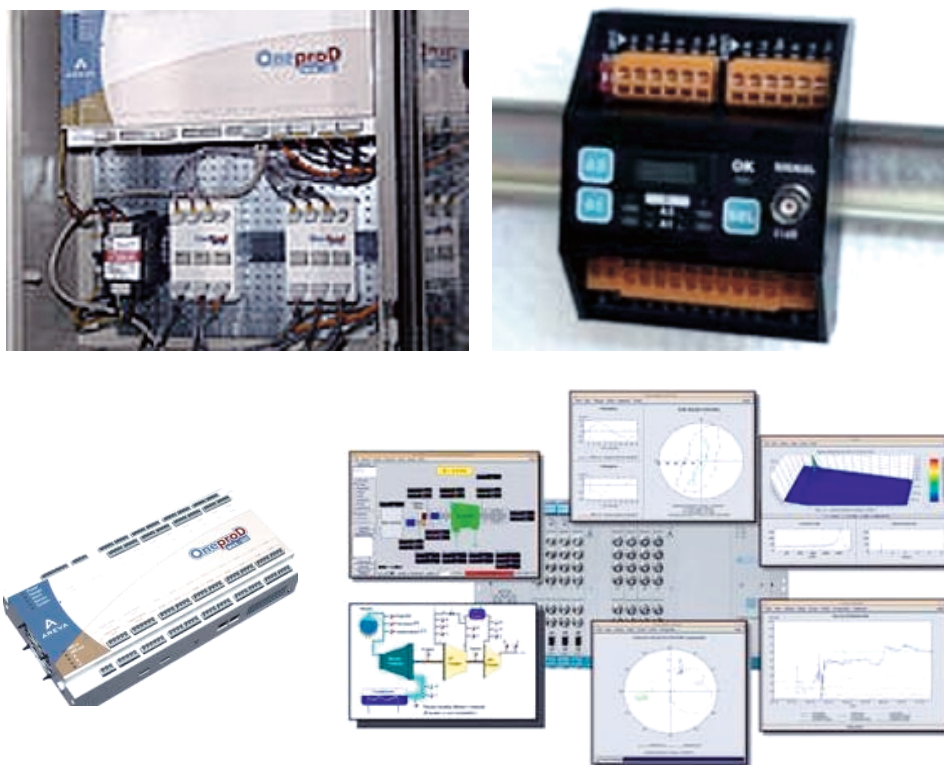
Slika 5 – Prikaz monitoring sistema na rotoru hidroagregata
 Рис. 5 – Изображение системы мониторинга ротора гидрогенератора
 Figure 5 – Presentation of the monitoring system on the hydrogenerator rotor

Ako se radi o monitoring sistemu na parnim turbinama, kao što su termoelektrane, veoma je bitan izbor dijagnostičkih parametara u delu niskog pritiska, srednjeg i visokog pritiska turbine.

Od posebne je važnosti dijagnostički parametar, toplotna dilatacija rotora turbine u toku rada, čija vrednost može biti i do 25 mm. Na osnovu toga može se zaključiti u kakvom su stanju klizni ležajevi, uravnoteženost turbinskog rotora zbog oštećenja turbinskih lopatica u toku rada, koja prouzrokuju povišene nivoe vibracija i temperature ležajeva i remete druge radne parametre sistema.

Trebalo je rešiti problem kompatibilnosti novih sistema (hardver i softver) sa postojećim koncepcijama monitoring sistema:

1. *on-line monitoring sistem* – služi za kontinualno merenje i analizu stanja na mašinskim postrojenjima. Merni senzori (davači) i merni sistem ugrađeni su na mašinsko postrojenje (slika 6.)(Ličen, 2003);



Slika 6 – On-line monitoring sistem na mašinskim postrojenjima
Рис. 6 – On-line система мониторинга на механизации
Figure 6 – On-line monitoring system on mechanical systems

2. *off-line monitoring sistem* – namenjen je za periodična merenja i analize tehničkog stanja mašina. Neki senzori ugrađeni su u sistem (zavisi koje veličine merimo), a drugi se postavljaju zajedno sa prenosivim delom monitoring sistema kada želimo vršiti merenje (slika 7).



Slika 7 – Off-line monitoring sistem na mašinskim postrojenjima
 Рус. 7 – Off-line система мониторинга на механизации
 Figure 7 – Off-line monitoring system on mechanical systems

Inteligentni prenosivi sistemi za vibrodijagnostiku

Ovi instrumenti, koji mogu da stanu u džep, imaju moćne performanse koje olakšavaju svakodnevni rad vibrodijagnostičara.

Monitoring sistemi mogu se koristiti za daljinsko upravljanje i nadzor, što je vrlo korisno kod sistema koji se nadziru bez prisustva posade, na primer dizel električni agregati i drugi sistemi.

Posebnu pogodnost i ekonomsku opravdanost primene pronalaska imaju veliki pogonski sistemi (veći gabariti motora omogućuju lakšu ugradnju mernog sistema), kao što su brodski motori, motori koji se koriste u vojnim vozilima, tenkovima, transporterima, tegljačima, građevinskim mašinama, naftne platforme, posebno dizel električni agregati koji poseduju automatiku za praćenje funkcionalnih parametara, ali nemaju opciju praćenja istrošenja kliznih ležajeva radi zaštite motora. Mnogi navedeni sistemi rade bez prisustva posade, tako da u slučaju nastanka havarije motora štete mogu biti velike.

Pronalazak je visoko ocenjen u zemlji i inostranstvu. *Savez pronalazača i autora tehničkih unapređenja – Beograd dodelio je autoru zlatnu medalju „Nikola Tesla” za izuzetna ostvarenja u razvoju i unapređenju pronalazaštva.*

KORAK 1. Šta je bilo potrebno za razvoj novog pronalaska – proizvoda?

U okviru ovog dela ukazujemo da je:

- prvenstveno trebalo razviti novu dijagnostičku metodu, a zatim uređaj za merenje zazora u kliznim ležajevima. U okviru toga treba izvršiti potrebna testiranja i pripremiti uređaj za isporuku kupcima.

KORAK 2. TRŽIŠTE

Koja je veličina i potencijalni rast izabranih ciljnih segmenata?

<p><i>Za nadzor hidroenergetskih sistema kupuju se:</i></p> <p>- on-line monitoring sistem 50+30+5 kom., - do sada su koristili komercijalne uređaje za vibracije</p>	<p><i>Za nadzor termoenergetskih sistema kupuje se:</i></p> <p>- on-line monitoring sistem 26+30 kom., - do sada su koristili komercijalne uređaje za vibracije</p>	<p><i>Za potrebe brodograđevne industrije, nadzor motora u plovnim objektima (brodovi i veći čamci) kupuje se:</i></p> <p>- on-line monitoring sistem 30+80 kom., - do sada su koristili komercijalne uređaje za vibracije</p>	<p><i>Za potrebe motorne industrije, vlasnika motornih vozila i elektroagregata kupuje se:</i></p> <p>- on-line monitoring sistem 400 kom., i off-line monitoring sistem 400 kom., -do sada su koristili komercijalne uređaje za vibracije</p>
---	---	--	--

Uređaj za demontažu i montažu delova teško rastavljivih mašinskih sklopova na mašinskim postrojenjima

Zbog potreba održavanja i remonta na velikim i malim hidroelektrama u Srbiji i Crnoj Gori razvijen je uređaj za demontažu i montažu teško rastavljivih sklopova na mašinskim postrojenjima.

Poseban problem predstavljali su radovi na izvođenju demontaže i montaže sistema koji su na terenu, gde ne postoji mogućnost korišćenja radioničke i fabričke opreme, uređaja i mašina za demontažu i montažu.

Vreme za remont nije dozvoljavalo da se sklopovi odvoze sa lokacije u radionice višeg stepena. Remont je trebalo obaviti u što kraćem roku kako bi se sistemi uključili u pogon i proizvodili električnu energiju.

Zbog toga je bilo potrebno da se osmisli i razvije specijalan uređaj. U ovom slučaju koristi se isti uređaj za demontažu i montažu na svih 16 elektrana u Elektroprivredi Crne Gore. U toku korišćenja uređaja, menjaju se njegovi sastavni delovi, odnosno prilagođavaju se veličini sklopova koji se demontiraju, a nakon toga montiraju na prvobitno mesto.

Na slici 8 prikazani su takvi sklopovi nemačke firme Flender, koji se ugrađuju u sistem malih hidroelektrana. Nemačka firma Flender proizvodi određene pribore i naprave, alate i uređaje za demontažu i montažu sklopova, ali nema takav univerzalni uređaj, što je velika prednost i odlika ovog uređaja.

Novi uređaj korisnicima omogućava laku, brzu i kvalitetnu demontažu i montažu teško rastavljivih delova, prikazanih na slici 9 (Tehnishe dokumentationelastischekupplung). Nema mogućnosti da se oštete delovi tokom rastavljanja i ponovne montaže.

Uređaj za demontažu i montažu teško rastavljivih sklopova na mašinskim postrojenjima visoko je ocenjen kod nas i u svetu.

...wenn Sie elastische oder hochelastische, drehstare oder gelenkige, schaltbare oder nichtschaltbare Wellenkupplungen für Drehmomente von 20 Nm bis 10.000.000 Nm aus Stahl oder Gußeisen einsetzen.

ist Ihr Ansprechpartner...

FLENDER

A. FRIEDR. FLENDER GMBH
Kupplungswerk Müssum

Industriepark Bocholt
Schlavenhorst 100, DE- 46395 Bocholt
Tel.: (0 28 71) 92 - 28 68; Fax: (0 28 71) 92 - 25 79
E-mail: anja.blits@flender.com
Internet: http://www.flender.com

VERTRIEBSZENTRUM HANNOVER
DE- 30839 Langenhagen
Marktplatz 3, DE- 30853 Langenhagen
Tel.: (05 11) 7 71 89 - 0
Fax: (05 11) 7 71 89 - 89
E-mail: vz.hannover@flender.com

VERTRIEBSZENTRUM MÜNCHEN
DE- 85750 Karlsfeld
Liebigstrasse 14, DE- 85757 Karlsfeld
Tel.: (0 81 31) 90 03 - 0
Fax: (0 81 31) 90 03 - 33
E-mail: vz.muenchen@flender.com

VERTRIEBSZENTRUM HERNE
DE- 44607 Herne
Westring 303, DE- 44629 Herne
Tel.: (0 23 23) 4 97 - 0
Fax: (0 23 23) 4 97 - 2 50
E-mail: vz.herne@flender.com

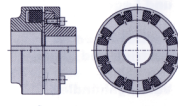
VERTRIEBSZENTRUM BERLIN
Schlossallee 8, DE- 13156 Berlin
Tel.: (0 30) 91 42 50 58
Fax: (0 30) 47 48 79 30
E-mail: vz.berlin@flender.com

VERTRIEBSZENTRUM STUTTGART
DE- 70472 Stuttgart
Friedricher Strasse 3, DE- 70499 Stuttgart
Tel.: (07 11) 7 80 54 - 51
Fax: (07 11) 7 80 54 - 50
E-mail: vz.stuttgart@flender.com

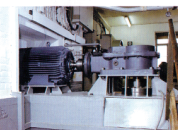


N-EUPEX
Elastische Nockenkupplung
Katalog K 420

- universell einsetzbare Nockenkupplung zum Ausgleich von Wellenverlagerungen
- größtmögliche Betriebsbreite durch "durchschlagssicher"
- geeignet für Steckmontage und vereinfachte Montage bei dreibettiger Ausführung
- Drehmomentbereich von 19 Nm bis 62.000 Nm bei 23 Größen und 10 verschiedenen Bauarten
- geeignet für den Einsatz in Ex-Schutz Bereichen. Zertifiziert gemäß 94/9/EG (ATEX 100a)



N-EUPEX-Kupplungen bestehen aus hochwertigem Gußeisen GG-25. Die elastischen Elemente aus synthetischem Gummi (Perbunan) sind gegen viele Medien beständig. Metallnocken und elastische Elemente sind so aufeinander abgestimmt, daß bei zulässiger Verlagerung kein Verschleiß auftritt.

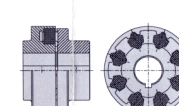


Einsatzgebiete:
Weit verbreiteter Einsatz im gesamten Maschinenbau sowohl motorisiert als schmelzenergie Kupplung (z.B. Pumpenantriebe oder Stromerzeugungsaggregate) als auch bei hohen Drehmomenten zur Verbindung von Getriebe und Arbeitsmaschine (z.B. Mühle).



N-EUPEX-DS
ohne Durchschlagsicherung
Katalog K 420

- trennen von An- und Abtrieb bei Ausfall der elastischen Elemente (ohne Durchschlagsicherung)
- universell einsetzbar, da mit allen Teilen des N-EUPEX-Programms kombinierbar
- Drehmomentbereich von 69 Nm bis 21.200 Nm bei 19 Größen und gleichen Nennmomenten wie bisher
- geeignet für den Einsatz in Ex-Schutz Bereichen. Zertifiziert gemäß 94/9/EG (ATEX 100a)
- wartungsfrei auch bei Einsatz in explosionsfähiger Umgebung



Metallteile aus Gußeisen GG-25. Die elastischen Elemente sind aus Polyurethan oder Perbunan.



Einsatzgebiete:
N-EUPEX-DS-Kupplungen werden als universelle Kupplungen im gesamten Maschinenbau eingesetzt. Man bevorzugt sie besonders dort, wo bei Ausfall der elastischen Elemente An- und Abtrieb getrennt werden müssen, bzw. die Kupplung wartungsfrei sein soll.



- elastische, durchschlagssicher
- sehr kompakte Konstruktion
- bestens geeignet für Steckmontage
- in 13 Größen ab Vorwahlbereich von 13,5 Nm bis 3,3
- Bauart BWT mit Taper-Buche und Bohrungsausgleich



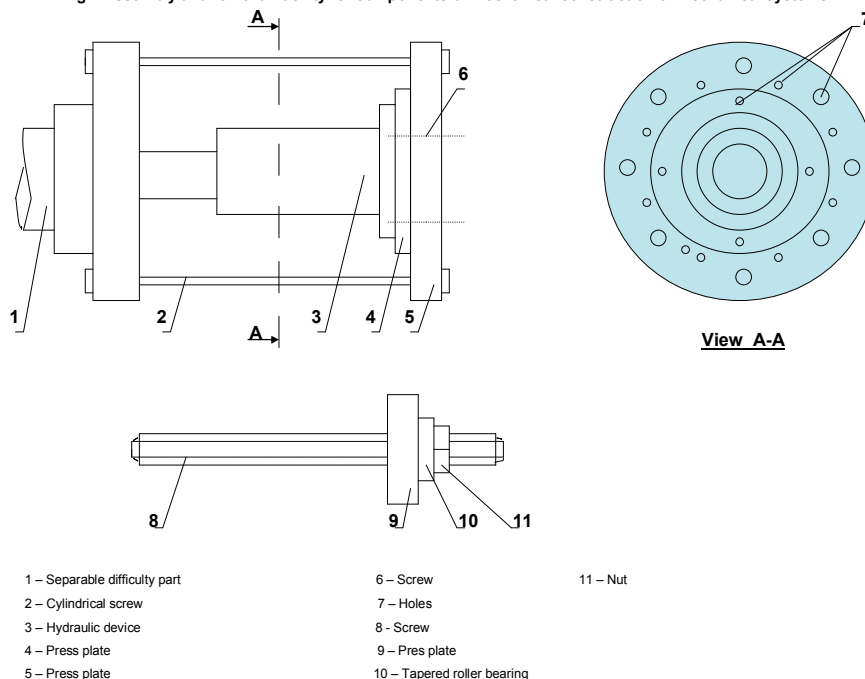
BIPEX-Kupplungen bestehen ohne BWN aus zwei gleich aus Werkstoff GG-25. Die elastischen Nockenringe aus Metallnocken sind in einer Gabel bei zulässiger Auslenkung kein BIPEX-Kupplungen besitzen dreihäufig und können mit Nachlicher Elastizität geliefert werden.



Einsatzgebiete:
Allgemeiner Maschinenbau, in seiner schmalen Kuppelbauart, z.B. in Hydraulik- und Pumpenantrieben und Bahnantrieben.

Slika 8 – Prikaz teško rastavljivih mašinskih sklopova nemačke firme Flender
Puc. 8 – Изображение сложных узлов на механизации, немецкого производителя Flender
Figure 8 – Presentation of not easily separable mechanical assemblies of the German Flender company

Fig.1 Assembly and removal facility for components of mechanical construction of mechanical systems



Slika 9 – Uređaj za demontažu i montažu teško rastavljivih sklopova na mašinskim postrojenjima
 Рис. 9 – Установка для монтажа и демонтажа сложных узлов на механизации
 Figure 9 – Device for mounting and demounting not easily separable assemblies on mechanical systems

Metoda proračuna vibracione i udarne zaštite pogonskih sistema, uređaja i opreme

Patent pod nazivom Metoda proračuna vibracione i udarne zaštite pogonskih sistema, uređaja i opreme, predstavlja naučno delo. Može se primeniti u mašinstvu, brodogradnji i ostalim granama industrije.

Razvijene su vlastite metode proračuna vibracione i udarne zaštite, koje su korišćene prilikom projektovanja i proračuna brodskih pogonskih sistema. Metode proračuna vibracione i udarne zaštite brodskih sistema, usled podvodnih eksplozija na moru, dale su izuzetne rezultate u proizvodnji novih brodova, na primer veliki patrolni brodovi i novi minolovac.

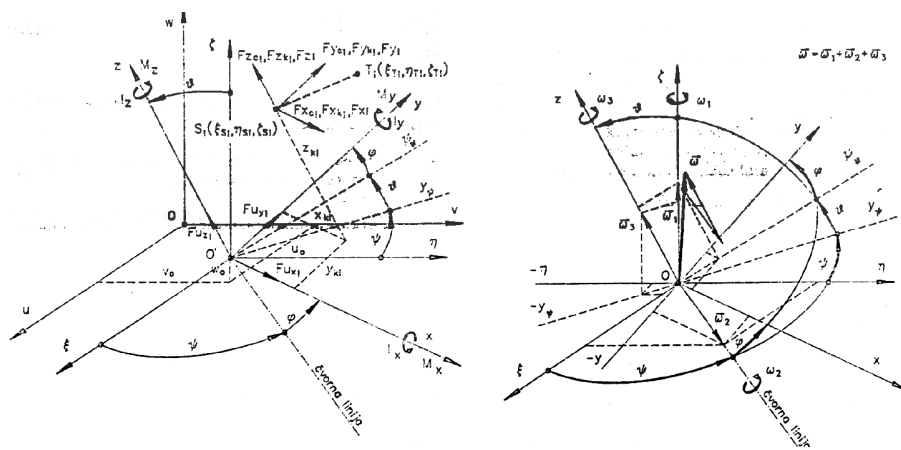
Novi minolovac imao je praktično spoljašnji i unutrašnji trup broda ugrađen jedan u drugi, a između njih nalazili su se elementi vibracione i udarne zaštite. Nova metoda omogućava optimizaciju nivoa parametara vibracija i udara, s obzirom na karakteristike, odnosno vrstu elastičnih elemenata (gumeni, žičani ili hidraulični elementi), njihov broj i raspored.

Može se primeniti za proračune dinamičkih parametara za sisteme ugradnje, ako se uređaji ugrađuju na temelje, odnosno patose ili za slučajeve viseće ili bočne ugradnje. Verifikacija metode proračuna izvršena je na mnogim primerima rezultata merenja, gde je dobijena podudarnost rezultata proračuna i merenja.

Nova metoda proračuna ima velike mogućnosti primene za rešavanje brojnih problema prilikom eksploatacije postojećih brodova.

Metoda ima niz prednosti u primeni u odnosu postojeće metode proračuna CAD/CAM.

Dinamički model vibracione i udarne zaštite prikazan je na slici 10 (Žegarac, 1994).



Slika 10 – Dinamički model vibracione i udarne zaštite pogonskih sistema, uređaja i opreme
Рис. 10 – Динамическая модель виброзащиты, защиты от ударов энергосистем, оборудования и механизмов

Figure 10 – Dynamic model of the vibration and impact protection of power systems, devices and equipment

Novi pogonski sistem radarske antene

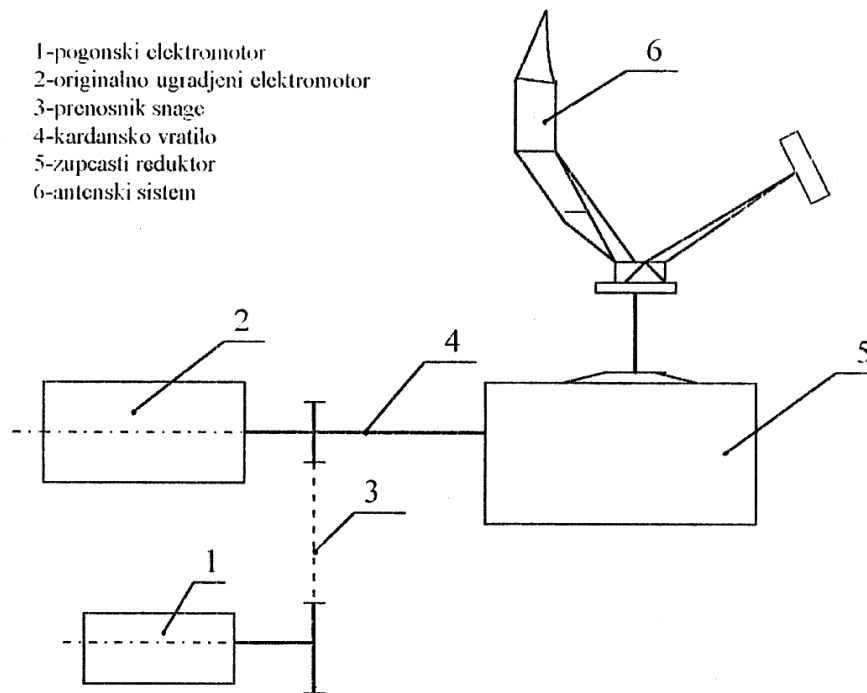
Na osnovu zahteva koji su postavili korisnici radarskih stanica, trebalo je projektovati i osmisliti novi sistem pogona radarske antene, kako bi se postigao pouzdan rad i bezbednost vazdušnog saobraćaja u sistemu kontrole letenja.

Ideja da se osmisli novi pogonski sistem radarske antene nastala je zbog potrebe da se reše brojni tehnički problemi postojećih pogona na radarskim sistemima. Poznato je da u svetu postoji nekoliko proizvođača radarskih sistema koji se koriste za potrebe kontrole letenja i za vojne potrebe. Svaki proizvođač radara ima svoje konstrukcije pogonskih sistema

koji se međusobno razlikuju. Koliko god izgleda da je neka konstrukcija savršena, kroz dugogodišnju eksploataciju pokažu se stvarne karakteristike – prednosti i nedostaci. Upravo je to bio problem na našim radarima u Kontroli letenja Srbije i Crne Gore. Novim rešenjem pogona postignuta je značajna ušteda električne energije. Antenski sistem pokreće se elektromotorom snage 3 kW, umesto 30 kW.

Realizovan je sistem dupleks pogona radarske antene. Pogon antene sa elektromotorom snage 30 kW koristi se ako radarska stanica nema kupolu, a pogon sa elektromotorom snage 3 kW vrši se kada je sistem sa kupolom, kao što je prikazano na slici 11 (Žegarac, 1999).

Novi obrtni mehanizam ima mnoge prednosti u odnosu na dosadašnje sisteme. Pored novog sistema pogona, problem je da se reši sistem centracije postolja elektromotora u odnosu na pogonsko vratilo. Patentiran je novi sistem centracije elektromotora u odnosu na pogonsko i gonjeno vratilo antenskog sistema. Pokazalo se da je sistem vrlo kvalitetno izveden. U sistemu neprekidnog pogona antene, za više od godinu dana bilo je potrebno izvršiti blago podešavanje pogonskog remena. Nisu uočeni tragovi trošenja na ostalim elementima u pogonu.



Slika 11 – Kinematska šema pogona antenskog sistema radara
 Рис. 11 – Кинематическая схема привода радиолокационной антенны
 Figure 11 – Kinematic scheme of the radar antenna drivesystem

Zaključak

Naučni i stručni radovi, autorska dela, pronalasci, patenti i drugi radovi nastali su kao rezultat dugogodišnjeg rada i iskustva u remontnim zavodima, proizvodnim firmama, naučnim institutima: Brodarski institut – Zagreb, Vazduhoplovnotehnički institut – Beograd, Vojnotehnički institut – Beograd i drugim renomiranim kompanijama kod nas i u svetu.

U radu su prikazana vlastita iskustva u razvoju pronalaska, patenata, naučnih dela sa aspekta naučne verifikacije i stvaranja tržišta. Mnogi problemi pojavili su se u procesu stvaranja i realizacije pronalaska; jedan deo problema vezan je za struku, a ostali su komercijalnog karaktera: plasman na tržištu, potencijalni kupci, finansijski troškovi, administrativni problemi – prijava, odnosno zaštita pronalazaka u zemlji i inostranstvu.

Tehnička dijagnostika je nedovoljno istraženo područje i privlači pažnju mnogih stručnjaka. Izum koji se odnosi na monitoring sistem na mašinskim postrojenjima omogućava ocenu kvaliteta rada i stanja rotirajućih mašina praćenjem različitih parametara, koji se mogu oceniti kao:

- *osrednji* (ocenjene promene u načinu rada mašine u skladu sa propisanim standardima za svaku vrstu mašine za ovakvo tehničko stanje i ostale subjektivne metode),
- *dobri* (procesne veličine izmerenih parametara, vibracije i buka, gubici, električne veličine, u skladu sa propisanim standardima za ovaj nivo vrednosti parametara) i
- *odlični* (nivoi vibracija i buke, porast radne temperature, vreme zaletanja, broj obrtaja, vreme zaustavljanja, snaga, obrtni moment u skladu sa propisanim standardima za ovaj nivo vrednosti parametara).

Pokazalo se da je razvijeni monitoring sistem na mašinskim postrojenjima ekonomičan, nadogradiv i univerzalan.

U radu su ukratko opisani i prikazani ostali pronalasci: nova tehnička rešenja, sa svim pratećim problemima koji su uspešno rešavani, a odnose se na uređaj za demontažu i montažu teško rastavljivih sklopova, nove metode proračuna vibracione i udarne zaštite, kao i nove konstrukcije i rešenja pogona antenskih sistema i sistema centracije postolja pogona.

Nova rešenja za centraciju postolja, koja su primenjena u obrtnom sistemu radarske antene, mogu se uspešno primenjivati u svim pogonima gde su ugrađeni mehanički sklopovi, reduktori, multiplikatori i sl.

Pronalazači i naučni radnici susreću se sa brojnim problemima koji utiču na plasman novih rešenja i proizvoda. Veoma je teško stvarati nove vrednosti u sredini i okruženju gde su ugašene mnoge proizvodnje i gotovo da nema mogućnosti za razvoj i primenu pronalazaka u mnogim privrednim granama. Stvaraoci su prepušteni sami sebi, nemaju podršku od nadležnih državnih struktura i institucija. Trebalo bi sami da finansiraju izume i proizvodnju, što je nemoguće. Jedina mogućnost za uspeh jeste

da se sami pojave na inostranom tržištu, što je u današnjim uslovima veoma teško, skoro nemoguće.

Svedoci smo vrlo loših primera da čak pojedini strani kvazistučnjaci i trgovačke firme plasiraju na naše tržište proizvode koji su mnogo lošijeg kvaliteta od pronalazaka i proizvoda koje mi nudimo. U svemu tome pomažu im ljudi koji su na pozicijama vlasti.

Postoje brojni problemi u vezi sa prijavama i zaštitom патената kod Zavoda za intelektualnu svojinu u Srbiji. U Zavodu su zaposlena lica koja ne poznaju dovoljno struku i procedure zaštite intelektualne svojine, što otvara mogućnost za krađu intelektualne svojine.

Za naučnoistraživački rad, odnosno stvaranje novih pronalazaka i novih vrednosti neophodno je da istraživači i pronalazači imaju uslove za rad: odgovarajuće okruženje, „zdravo društvo”, timski rad sa naučnicima iz raznih oblasti, tehničku opremljenost, saradnju sa proizvodnim firmama, institutima i raznim laboratorijama, kao i mogućnosti ispitivanja novih proizvoda u stvarnim uslovima primene pre plasmana na tržište.

Literatura

Tehnische dokumentation elastische kupplung. Bocholt, Deutschland: Flender, Frieder, GmbH.

Ličen, H. 2003. Vibrodijagnostika kao element osiguranja kvaliteta i pouzdanosti. U: Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem, Kvalitet, Zenica, B&H.

Žegarac, N. 1989a. *Dijagnostika kliznih ležajeva u dizel motorima.* Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu. Doktorska disertacija.

Žegarac, N. 1989b. Dijagnostika stanja kliznih ležajeva merenjem dinamičkih putanja glavnih rukavaca kolenastog vratila dizel motora. U: IFTOM, Treći znanstveno-stručni skup Vibracije rotacionih strojeva i i sistema, Karlovac.

Žegarac, N. 1994. Metoda proračuna vibracione i udarne zaštite pogonskih sistema, uređaja i opreme. *Naučno-tehnički pregled (Scientific Technical Review)*, 4.

Žegarac, N. 1999. Rekonstrukcija pogona antenskog sistema radara u cilju smanjenja potrošnje električne energije i povećanja bezbednosti u vazdušnom saobraćaju. *Tehnika-Savez inženjera i tehničara Jugoslavije*, 5. novembar, II Kongres o saobraćaju, Beograd.

ОПЫТ В РАЗВИТИИ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВА С АСПЕКТА НАУЧНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ И СОЗДАНИЯ РЫНКА

Никола П. Жегарац
Сербская академия изобретателей и ученых, Белград

ОБЛАСТЬ: машиностроение, изобретательство
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме

В данной работе описывается личный опыт в развитии изобретательства, патентов и научных работ с аспекта научной верификации и размещения на рынке изобретений. В работе рассматриваются частые проблемы, возникающие в процессе развития изобретательства и размещения изобретений на рынок.

Ключевые слова: изобретение, патент, система мониторинга, техническая диагностика, диагностические параметры, подшипники скольжения, двигатель внутреннего сгорания, ГЭС, ТЭС, установки для монтажа и демонтажа сложных узлов, метод расчета виброустойчивости и защиты от ударов, привод антенны радиолокационной системы.

EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE INVENTION FROM THE ASPECT OF SCIENTIFIC VERIFICATION AND MARKET CREATION

Nikola P. Žegarac

Serbian Academy of inventors and scientists, Belgrade

FIELD: Mechanical Engineering, Invention

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Abstract:

The paper presents experiences in the development of inventions, patents and scientific work in terms of scientific verification and marketing. It also describes common problems in the invention development process as well as those regarding invention marketing and introduction to market.

Keywords: invention, patent, monitoring systems, technical diagnostics, diagnostic parameters, plain bearings, internal combustion engines, hydropower plants, thermalpower plants, device for mounting and demounting not easily separable assemblies, methods of calculating vibration and impact protection, radar antenna drive system.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 20. 10. 2015.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 28. 11. 2015.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 30. 11. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ
ОБОЗОРНЫЕ СТАТЬИ
REVIEW PAPERS

REPAIRABLE SPARE PARTS FLOW IN A MULTI-ECHELON INVENTORY SYSTEM

Milić R. Milićević^a, Vlada S. Sokolović^b, Marjan A. Milenković^c,
University of Defence in Belgrade, Military Academy

^a e-mail: milic.milicevic@mod.gov.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-9405-4151>

^b e-mail: vlada.sokolovic@va.mod.gov.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-0782-0506>

^c e-mail: marjan.milenkov@va.mod.gov.rs

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-2054-0525>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8204

FIELD: Computer Sciences, Decision Theory & Quantitative Methods

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

This paper considers the problem of changing the value of selected characteristics for the operation of a two-level inventory system of maintainable parts depending on the flow of regenerated components in the inventory system. We analyzed the influence of the flow of regenerated components on the value of the coefficient of peripheral storage fill-rate, total costs and the average waiting time in the queue in peripheral warehouses, at different nominal values of the stocks in central and peripheral warehouses. The demand for spare parts in the peripheral warehouses is dependent on seasonal changes, modeled with an appropriate probability distribution.

Key words: modeling, multi-echelon inventory system, repairable spare parts, simulation, spare parts.

ACKNOWLEDGEMENT: This work has been supported by the University of Defence in Belgrade, Ministry of Defence, of the Republic of Serbia under project VA-TT/6/13-15.

Introduction

Repairable assemblies are parts of complex technical systems that can be repaired after failure. Repairable assemblies, the repair of which is cost-effective, have a special significance within the inventory spare parts system for a number of reasons. Some of the reasons are: the price of assembly recovery is in most cases lower than the price of a new one, the aggregation principle of maintenance is possible, highly qualified personnel at lower maintenance levels is reduced, the time of the assembly not in use is reduced, the amount of spare parts for the repair of components that must be kept in the inventory is also reduced, etc. (Milićević, 2000).

In a complex spare parts inventory system, repairable assemblies are commonly deployed into a few hierarchically organized levels. At the top of the hierarchy, there is one central warehouse that supplies more peripheral warehouses at the lower levels of hierarchy.

Depending on a system organization, communication and exchange of repairable parts between warehouses at the same level of hierarchical organization is either allowed or forbidden. Repairable assemblies, after failure, if it is cost-effective, are sent for repair to a workshop. After repair, assemblies are returned to the system in the central warehouse, in the peripheral warehouse, or combined, within the both hierarchical levels.

For a successful management of a multi-echelon inventory of maintainable parts, it is necessary to know the characteristics of system functioning and the intensity of changes in the inventories, depending on the changes in conditions of system functioning. Of all the conditions in which the system works, possibilities of replenishment and disorders of demand are most commonly of crucial importance. The characteristics of system functioning are also affected by a nominal level of inventories in a warehouse. Predicting management actions depends on the changes in system characteristics as well as on the changes in the conditions of system functioning. The following characteristics of the inventory system can be identified as relevant: the fill-rate of storage, the number of requests and the waiting time, the cost of the system and the probability of waiting in line until a certain time. Also, the characteristics of system functioning are affected by the flow of repaired components, and the place of their return into the system.

Determining the relationship between the properties of the system and the change in the intensity of demand for a repairable assembly and the change in the flow of repaired parts is very difficult to describe analytically and solve. One possible way of solving this kind of problems is the use of modeling and simulation.

The paper is structured as follows: there is an overview of the relevant literature in the area of repairable parts inventory management,

and the application of simulation to solve the problem with the stock of repairable parts, followed by a brief explanation of operating parameters of a multi-echelon inventory system of maintainable parts. After the model and simulation description, the results of the simulation are given as well as their analysis. The paper also includes a brief conclusion.

Models of inventory management of maintainable parts have attracted the attention of many scientists and researchers who, in addition to theoretical considerations of the problem, have dealt with their practical applications in many fields. In a pioneering study in this area, Sherbrooke has developed a well-known METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) model for inventory management of multicomponent (multi-item) two-level inventory systems of maintainable parts (Sherbrooke, 1968). The demand for parts represents a complex Poisson process. In their books, Sherbrooke (2004), and Muckstadt (2005) gave a detailed review of the literature and developed models of inventory management of maintainable parts. The original METRIC model experienced a variety of modifications and extensions, such as in (Wang, et. al. 2000), (Wong, et. al. 2005), (Lau, et. al. 2006), (Huang, et. al. 2011). In order to test the validity and impact of modeling, a simulation model is used.

Simulations, as one of the most used techniques in the field of operations research, have been successfully applied for the analysis and solution of various problems in the area of inventory management of spare parts. A comprehensive review of the application of simulation techniques in the production and business is given by (Jahangirian, et. al. 2010). In (De Smidt-Destombes, et. al. 2011), the authors present a variant of a spare parts inventory model with cold stand-by redundancy on a system level. The model analysis of inventory management of spare parts, in one level or multilevel systems, based on the simulation is shown in (Lu, et. al. 2012), (Curtis, et. al. 2013), (Tako, 2012), (Klingebiel, 2012). Rossetti et. al., discussed the development and implementation of an object-oriented framework for simulating multi-echelon inventory systems (Rossetti, et. al. 2006). Two examples demonstrate a possibility of applying the developed object-oriented model.

Djordjevic et al, present the material and information flows in a two-level inventory system of repairable assemblies with the aim of choosing the best variant of repaired assemblies flow (Djordjević, et. al. 2013). Applying the simulation technique to the inventory management model, the authors determined the values of the characteristics of inventory management functioning. The demand for repairable parts is modeled as a simple Poisson process, i.e. the time between two requests for assemblies is modeled by an exponential law of probability distribution with the parameter λ . The best solution for the flow of repaired assemblies was selected using the method of analytic hierarchy processes.

Characteristics of multi-echelon inventory system functioning

This paper considers a two-level inventory system of repairable spare parts systems. The first level of supply consists of spare parts stored in peripheral warehouses, while the second level of supply consists of spare parts stored in a central warehouse. There is a workshop for the repair of defective repairable spare parts, located outside the central and peripheral warehouses. The peripheral warehouses are not connected to each other and can be filled only from the central warehouse. The central warehouse is filled from an inexhaustible source of supply. Requests for repairable spare parts by the user are sent only to the peripheral warehouses. The peripheral warehouses distribute repaired spare parts to the user, but only through the exchange with the defective spare parts. If some spare parts cannot be repaired, they are discarded. The defective spare parts that meet the requirements for repair are sent to the workshop and after repair, they are returned to the supply system. If in the peripheral warehouse, a required spare part is not in stock, unrealized demand is recorded and a backlog is formed. The central warehouse provides the peripheral warehouses with the specified assortment and a number of spare parts, where the partial delivery is permitted. The unrealized demand in the central warehouse is recorded and a backlog is formed.

As relevant for the functioning of the defined supply system of repairable spare parts, the following characteristics are distinguished:

- coefficient of peripheral storage fill-rate,
- the average waiting of demand,
- total costs in the supply system.

In this study, we analyzed a one-component supply system of repairable spare parts. Based on this constraint these characteristics are determined.

The coefficient of storage filling is the ratio of the number of requests fulfilled without delay, relative to the total number of requests and it is given as:

$$K_p = \frac{B_1}{B}, \tag{1}$$

where B_1 – the number of requests fulfilled without delay, and B - the total number of requests. The average time of waiting in a queue is the ratio of the total waiting time and the number of requests in the queue. The average waiting time is calculated as:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n}, \tag{2}$$

where W_i - waiting time of the i th request, n - the number of requests in the queue. Total costs in the spare parts supply system are the sum of the costs of purchase of spare parts from an inexhaustible source, transport costs, storage costs and repair costs. The cost is suitable to be shown on an annual basis, and can be counted per structure for each element of the system. The total annual cost of the system (L_g) is calculated as:

$$L_g = L_{cg} + \sum_{j=1}^n L_{p,jg} + L_{rg} \left[\frac{NJ}{year} \right], \quad (3)$$

where L_{cg} - total annual costs of the central warehouse, $L_{p,jg}$ - total annual cost of the j th peripheral warehouse, L_{rg} - the total annual cost of repair of spare parts.

Description of the model

The model consists of a central warehouse, four peripheral warehouses that keep repairable spare parts of a certain type and a workshop for the repair of defective parts. The peripheral warehouses operate on the model (s, Q). When the stock level drops to the value of s, a Q value of the parts will be purchased. The time when the request is sent to the central warehouse is a random variable and is described by the probability distribution. Based on requirements, the peripheral warehouses deliver spare parts to the users if they are in stock. An unsatisfied demand is queued. The realization of requests in the queue is done on the principle of first - in first - out. At the same time with the delivery of the correct parts, defective parts are also received. Defective parts which meet the repair conditions to some extent are sent to the workshop for repair; if not, they are discharged. The time when defective spare parts are sent to the workshop is a random variable described by the probability distribution. On receiving the repaired spare parts or those from the central warehouse, if there is a queue, it is completely or partially emptied.

The workshop for repair does diagnostics and then, with a certain probability, repairs defective parts that are received from the peripheral warehouses. The time period of repair of a spare part is a random variable described by the probability distribution. Repaired spare parts are returned to the central warehouse or the peripheral ones, depending on the defined options for sending the repaired parts. The time of return of the repaired part from the workshop is a random variable described by the probability density distribution.

The central warehouse operates on the model (S, T) for stock management. During the time period T, the level of inventories is controlled. If at the time of control the inventory level is higher than the nominal level of

S, then there is no order. If at the time of control there is a queue, the order of size $Y=S+R_2$ (R_2 is the length of the queue) is given to an inexhaustible source. If there is no queue, and the current inventory level is lower than the nominal one, the order of size $Y=S-X_0(T)$ is given, where $X_0(T)$ is the current inventory level. Filling the central warehouse from inexhaustible sources is complete, and the time to fill out is a random value described by the probability distribution. Upon receipt of assemblies by an inexhaustible source, the queue is emptied completely or partially. The central warehouse, on request, delivers assemblies to the peripheral storage, where there is a possibility of partial delivery. An unmet demand is placed in the queue. The queue is emptied by the FIFO principle. The exact time for sending the assemblies to the peripheral storage is a random variable described by the probability distribution. The central warehouse can also receive assemblies from the workshop, where the procedure is the same as when receiving parts from an inexhaustible source.

For a description of the model of a complex supply system of repairable assemblies, a form of an object-oriented model can be used, which uses the classes of models for describing the structure of the system and dynamic behaviour of the system - a description of the interdependence and interaction of some objects and a description of the internal "dynamics" of each object (Pejanovic, 2011).

For a description of the structure of the model, it is suitable to apply a class diagram. A class diagram for the defined model of the supply system of repairable assemblies is shown in Fig. 1. The diagram shows the class of objects with associated attributes and operations and relationships between the classes.

For a description of the interdependence and interaction of objects in the model, it is possible to apply the collaboration diagrams, which include a description of the context - the static structure of objects that are important to show the dynamics of operations and a description of the sequences of messages exchanged between objects, to realize the operation. An example of a collaboration diagram, which describes the receipt of parts in central and peripheral storage, is given in Fig 2.

For a description of the internal dynamics of these objects, state transitions diagrams are used, representing the state of objects, events and conditions that produce changes in conditions and actions that can "trigger," or messages that are generated during the transition from one state to another. As an example, Fig. 3 shows the state transition diagram for a workshop that repairs spare parts.

The experiments were performed on a model implemented in the software package MODSIM III (The Modular Simulation Language, today SIMSCRIPT). "The software package, MODSIM III is a modular language of block-structure and general purpose, which provides support for object-oriented programming, discrete-event simulation and animated graphics. It

is intended for use in development of large-scale process-based models of discrete events simulation, through modular and object-oriented development techniques” (MODSIM III Reference manual, 1997).

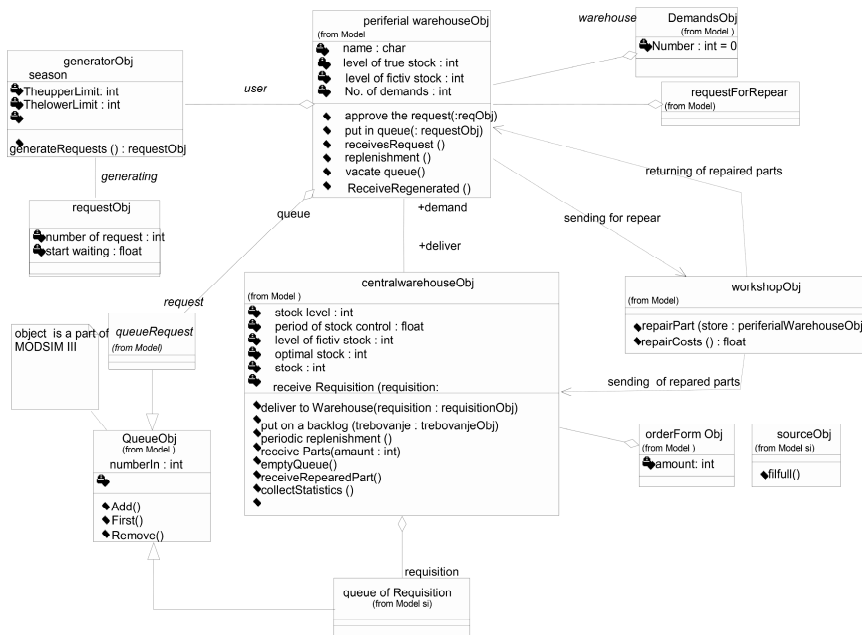


Figure 1 – Class diagram for the model of an inventory system of repairable parts
 Puc. 1 – Структурная диаграмма модели системы снабжения ремонтных запчастей
 Slika 1 – Strukturni dijagram modela sistema snabdevanja popravljivim delovima

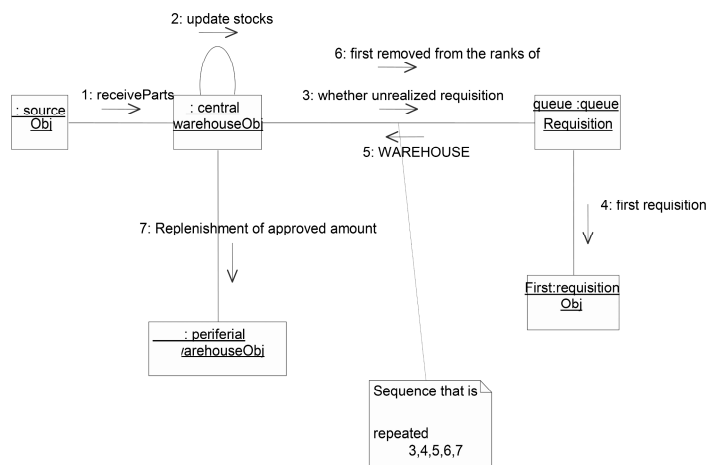


Figure 2 – Collaborative diagram: receipt of parts in central and peripheral storage
 Puc. 2 – Диаграмма кооперации: прием запчастей на центральный и периферийные склады
 Slika 2 – Kolaboracioni dijagram: prijem delova u centralno i periferno skladište skladi

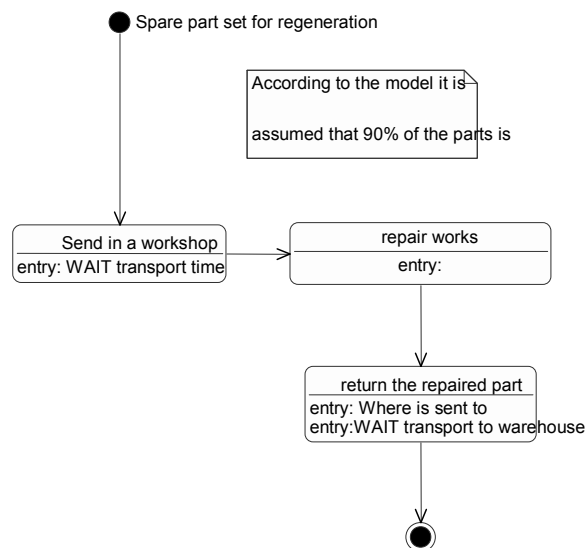


Figure 3 – State transition diagram for a workshop
 Рус. 3 – Диаграмма изменений наличия запчастей в цехе
 Slika 3 – Dijagram promene stanja u radionici

Simulation experiment

Prior to the experiment, it is necessary to do some preparations on the model and to plan experiments. The preparation includes calculation and determination of qualitative indicators for certain parameters. It is necessary to calculate and determine the values of the parameters so that the system is balanced and gives valid results. The following values of the parameters are defined:

The values of inventory levels in the central warehouse S2 vary between 7 and 23 with step 4,

The values of inventory levels in the peripheral warehouse S1 vary between: 4 and 12 with step 2,

Reordering point from the peripheral warehouse $s=1$,

Period of ordering from the central warehouse $T=15$ [day],

Price of the spare part $c=10000$ [NJ/pc],

Fixed costs of ordering $T=500$ [NJ/orders],

Cost of transport $c_{tr}=16$ [NJ/km],

The cost of storage $i=0.2$ [NJ/year],

Cost of repair $c_r=(0.3-0.6)c$ [NJ/pc],

Probability that the spare part will be sent for repair $Pr=0.9$,

Probability that the spare part will be repaired $Po=0.75$,

The distances between the central and peripheral warehouses as well as the distance between the workshop and the central or peripheral warehouse is 50 [km],

The time of sending orders from the peripheral to the central warehouse is subject to a normal probability distribution with parameters TNPC-N (2;0.5),

The time of sending spare parts from the central to peripheral warehouse is subject to a normal probability distribution with parameters TSCP-N (3, 0.5),

The time of sending spare parts for repair is subject to a normal probability distribution with parameters TSPR-N (3, 0.5),

The time of spare parts repair is described by normal probability distribution with parameters TSR-N (5, 1),

The time of return the spare parts after repair is subject to a normal probability distribution with parameters TSRPC-N (2, 0.5),

The time of filling in the central warehouse is subject to a normal probability distribution with parameters TNIC-N (15;2).

The variants for return of repaired spare parts are as follows:

- Variant V1 – all repaired parts are returned to the peripheral warehouse, from which they were sent for repair,
- Variant V2 – all repaired parts are sent to the central warehouse,
- Variant V3 – half of repaired spare parts are returned to the peripheral warehouse, from where it was sent for repair and the other half is sent to the central warehouse.

The size of demand in the first version Q1 is 3,5,7,9 and 11 spare parts. The second option is $Q2=0.37Q1$. In the third variant, the size is $Q3=0.685Q1$.

Demands for assemblies have a stream of seasonal changes. The time picture of the intensity of demands for assemblies has the following form:

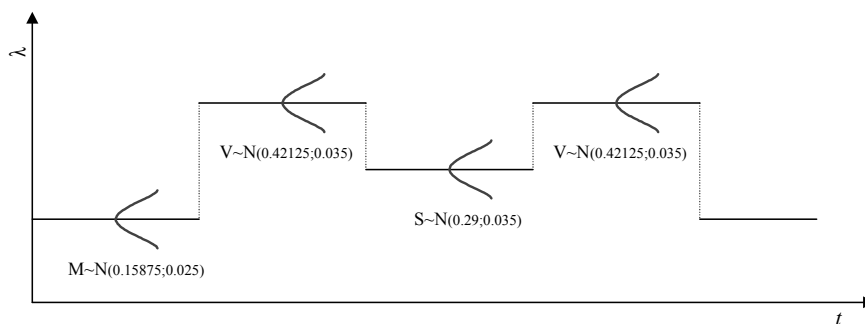


Figure 4 – Stream of requests for repairable parts
 Рус. 4 – Вероятность заявки на ремонтные запчасти
 Slika 4 – Verovatnoća pojave zahteva za popravljivim delovima

Analysis of experimental results

The changes in the mean values of the coefficient of availability of the peripheral storage K_p depending on the value of the nominal level of inventories in the central (S2) and peripheral (S1) stores for all three variants of the flow of repaired components are shown in Figs. 5, 6, 7, 8 and 9.

In all graphs, it can be clearly observed that the mean value of the coefficient of availability of peripheral storage is greatest in the first option of sending repairable assemblies, or when repaired assemblies are returned into the peripheral warehouse from which they were sent for repair. Somewhat lower are the mean values, K_p in the third option, while in the second option of sending repairable assemblies the K_p mean values are the smallest. The results are logical, and they are an expected consequence of specific variants of the flow of repaired components. This is an indication of the validity of the functioning of the process model.

In variant V1, the mean value of K_p shows a slight deviation for all combinations of the nominal value of inventory levels in the peripheral (S1) and the central warehouse (S2). The difference between the maximum and minimum values of K_p is 6.15 %. Also, the increase in the nominal level of stock in the central warehouse does not lead to a significant increase in the coefficient of availability of the peripheral storage. For all values of S2, the increase in the value of S1 leads to an increase of the availability coefficient.

As noted above, the return of repaired components from the workshop to the central warehouse (variant V2) causes the least mean values of the coefficient of availability of peripheral warehouses. Reducing the value of the nominal level of the stock in the central warehouse, for low values of the nominal stock levels in the peripheral storage (S1=4), causes a significant reduction in the mean value of the availability coefficient, K_p . The difference between the maximum and minimum values of K_p amounts to 32.29 %.

The third variant for the flow of repaired components gives the value of the coefficient of availability which is always between the value of K_p for the variants V1 and V2. By increasing the value of S2, the values of K_p slightly increase. A larger increase in K_p is achieved by increasing the nominal value of inventory levels in the peripheral warehouses S1. The difference between the maximum and minimum values of K_p amounts to 15.42 %.

Dependencies of the total annual cost on the change in the value of nominal stock levels in the central and peripheral storage is given in Figs. 10, 11, 12, 13 and 14. The variant of flow of repaired components from the workshop to peripheral warehouses V1 always gives the lowest value of the total annual cost of L_g . Sending all repaired components from the workshop to the central warehouse (variant V2) gives the highest total annual cost of L_g . It is not possible to draw a clear conclusion about the impact of changes in the value of nominal stock levels, S1 and S2, on the cost, L_g .

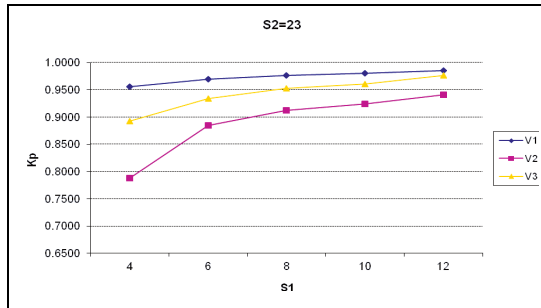


Figure 5 – Values of K_p for $S_2=23$
 Рис. 5 – Значение K_p за $S_2=23$
 Slika 5 – Vrednost K_p za $S_2=23$

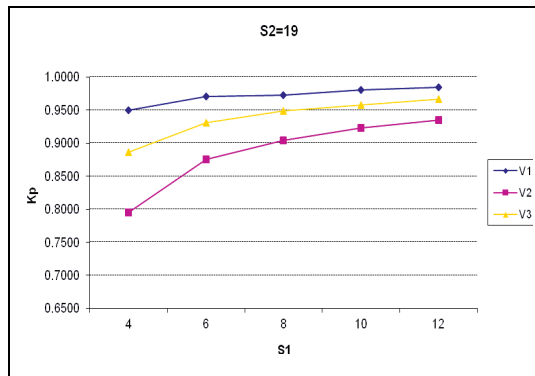


Figure 6 – Values of K_p for $S_2=19$
 Рис. 6 – Значение K_p за $S_2=19$
 Slika 6 – Vrednost K_p za $S_2=19$

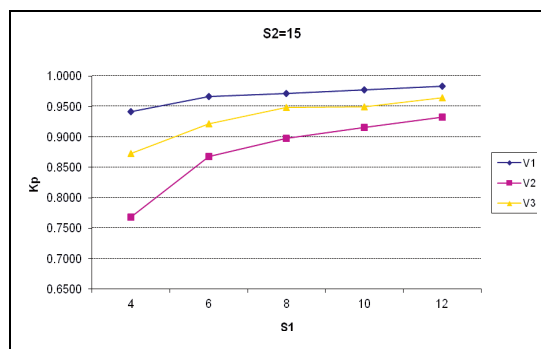


Figure 7 – Values of K_p for $S_2=15$
 Рис. 7 – Значение K_p за $S_2=15$
 Slika 7 – Vrednost K_p za $S_2=15$

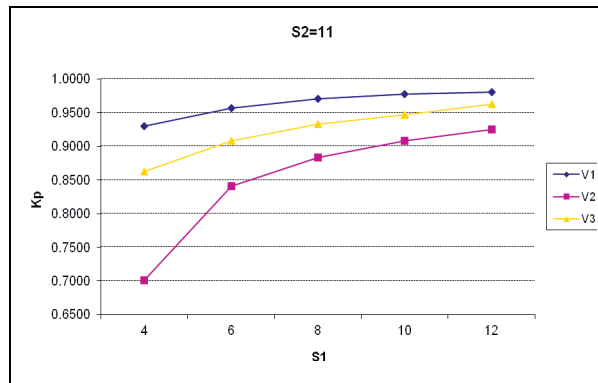


Figure 8 – Values of K_p for $S_2=11$
 Рус. 8 – Значение K_p за $S_2=11$
 Slika 8 – Vrednost K_p za $S_2=11$

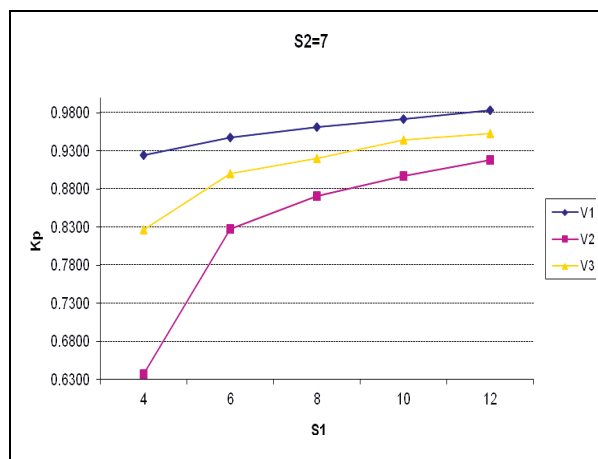


Figure 9 – Values of K_p for $S_2=7$
 Рус. 9 – Значение K_p за $S_2=7$
 Slika 9 – Vrednost K_p za $S_2=7$

However, the greatest overall cost of the system for any variation in the flow of repaired components and for all the selected values of S_2 is obtained for the value of $S_1=4$. It is only for variant V2 that, with the increase in the value of S_1 , for all values of S_2 , the value of total annual costs declines. The difference between the maximum and minimum values of the total annual cost for the variant V1 is 2.26 %, the variant V2 is 4.14 %, and the variant V3 is 2.28 %.

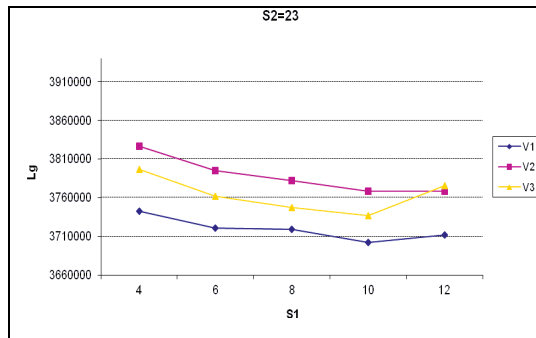


Figure 10 – Values of L for S2=23
 Рис.10 – Значение L для S2=23
 Slika 10 - Vrednost L za S2=23

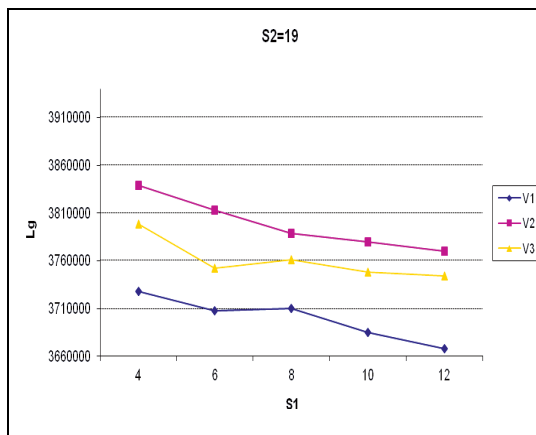


Figure 11 – Values of L for S2=19
 Рис.11 – Значение L для S2=19
 Slika 11 - Vrednost L za S2=19

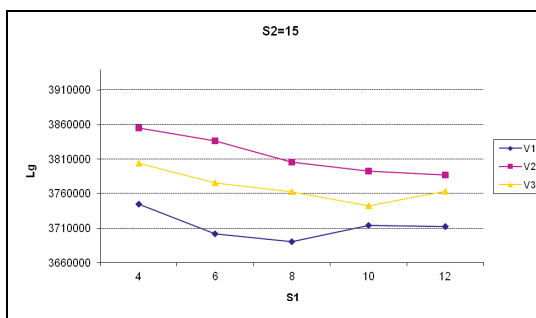


Figure 12 – Values of L for S2=15
 Рис. 12 – Значение L для S2=15
 Slika 12 - Vrednost L za S2=15

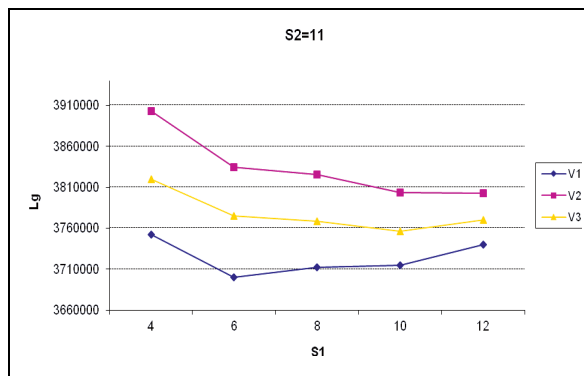


Figure 13 – Values of L for S2=11
 Рус. 13 – Значение L для S2=11
 Slika 13 – Vrednost L za S2=11

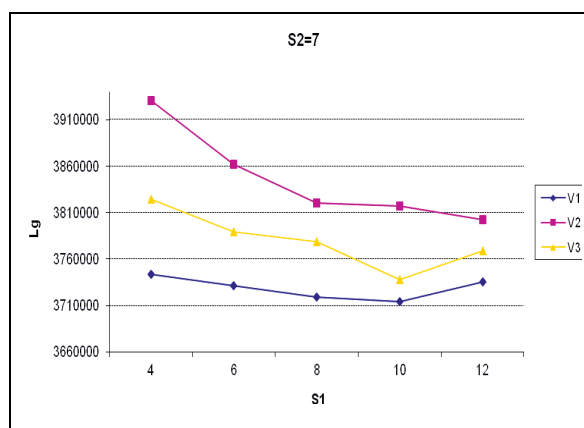


Figure 14 – Values of L for S2=7
 Рус. 14 – Значение L для S2=7
 Slika 14 – Vrednost L za S2=7

In Figs.15, 16, 17, 18 and 19, the change of the mean waiting time for the requests in the peripheral storage W , depending on the level of the nominal stock in the central and peripheral storage, is shown. Based on these results, it is not easy to draw a clear conclusion about the impact of variations in the flow of repaired components on the mean time queuing W . The values of W range from 1.76 to 4 days, except for the variant V2 where, at low values of the nominal stock level $S2=11$ and $S2=7$ and low values $S1=4$, the values of W amount to 4,3 and 8 days, respectively. If the mentioned values are exceptions, it can be concluded that customers will wait for a spare part up to 4 days maximum.

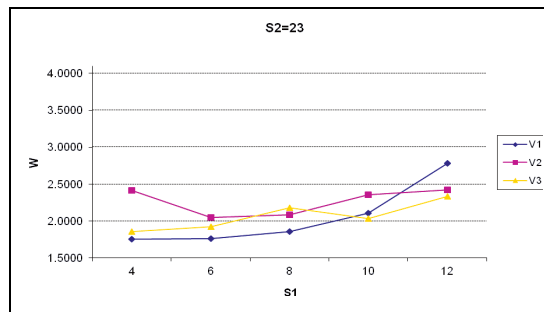


Figure 15 – Values of W for $S2=23$
 Рис. 15 – Значение W для $S2=23$
 Slika 15 – Vrednost W za $S2=23$

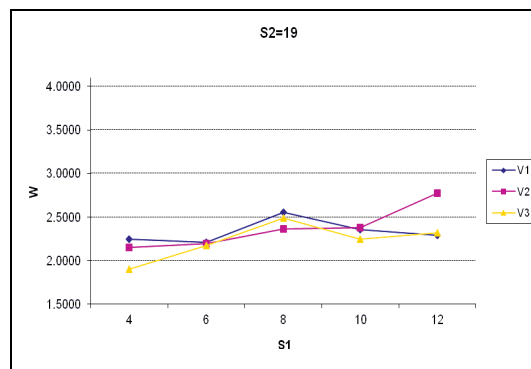


Figure 16 – Values of W for $S2=19$
 Рис. 16 – Значение W для $S2=19$
 Slika 16 – Vrednost W za $S2=19$

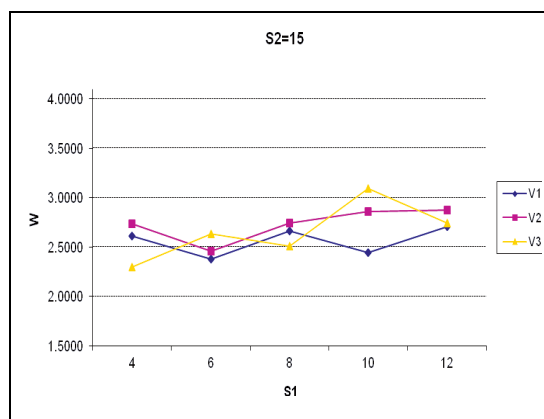


Figure 17 – Values of W for $S2=15$
 Рис. 17 – Значение W для $S2=15$
 Slika 17 – Vrednost W za $S2=15$

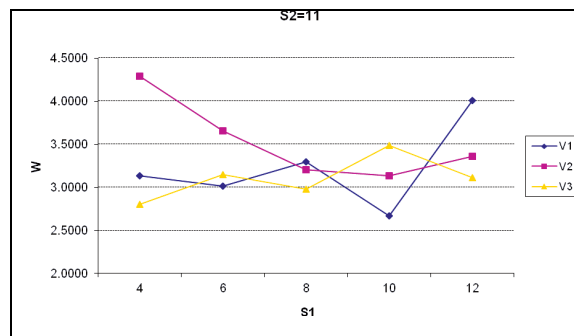


Figure 18 – Values of W for S2=11
 Рус. 18 – Значение W для S2=11
 Slika 18 – Vrednost W za S2=11

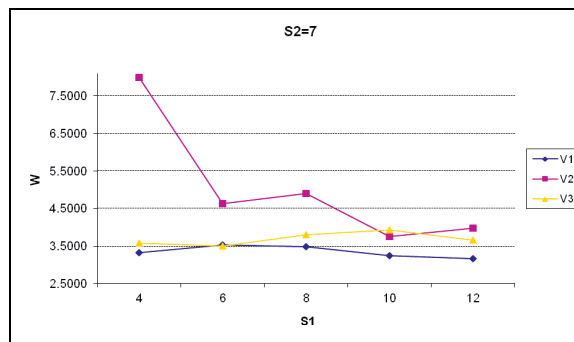


Figure 19 – Values of W for S2=7
 Рус. 19 – Значение W для S2=7
 Slika 19 – Vrednost W za S2=7

The mean values of the inventory levels in the warehouses Y_{pi} ($i=1, \dots, 4$), Y_c , and Y_s of the system, are given in Tab. 1. The return of repaired components to peripheral storage leads to an increase in the mean value of the stock in the peripheral warehouses, which is the expected result. This, however, results in an increase in the mean value of the total inventory of the system which, for all combinations of the values S_1 and S_2 , is greater than the value obtained by the variants of V1 and V2. The return of repaired components to the central storage results in the lowest average value of stocks in the stock system of repairable parts. The increase in the nominal value of the stock at the central warehouse S_2 does not necessarily lead to an increase in the mean value of inventory in the system Y_s . There is no statistically significant difference between the mean values of the stocks in the peripheral warehouses, Y_{pi} ($i = 1, \dots, 4$) for any value of S_2 and the variation of flow of repaired components.

Table 1 – Average levels of inventory in the central warehouse, the peripheral warehouse, and in the whole system

Таблица 1 – Средний уровень запасов на центральном и периферийном складах и в общей системе

Tabela 1 – Srednji nivo zaliha u centralnom i perifernom skladištu, i u celokupnom sistemu

S2	S1	V1						V2						V3					
		Y _{p1}	Y _{p2}	Y _{p3}	Y _{p4}	Y _c	Y _s	Y _{p1}	Y _{p2}	Y _{p3}	Y _{p4}	Y _c	Y _s	Y _{p1}	Y _{p2}	Y _{p3}	Y _{p4}	Y _c	Y _s
23	4	5	5	5	5	20	40	2	2	2	2	20	28	3	3	3	3	20	32
	6	7	7	7	7	22	50	3	3	3	3	21	33	5	5	5	5	22	42
	8	9	10	10	9	26	64	5	5	5	5	24	44	7	7	7	6	26	53
	10	11	13	13	11	27	75	6	6	6	6	24	48	8	8	8	8	28	60
	12	14	16	14	13	31	88	8	8	7	8	31	62	11	11	11	10	32	75
19	4	5	6	6	6	19	42	2	2	2	2	17	25	3	3	3	3	18	30
	6	7	8	8	8	21	52	3	3	3	3	17	29	5	5	5	5	18	38
	8	10	10	11	9	21	61	5	5	5	5	21	41	6	7	6	7	23	49
	10	12	13	13	11	26	75	6	6	6	6	20	44	9	9	8	9	26	61
	12	14	15	14	15	28	86	8	8	7	8	29	60	11	11	11	10	29	72
15	4	6	5	6	6	16	39	2	2	2	2	13	21	3	3	3	3	15	27
	6	8	8	8	8	17	49	3	3	3	3	17	29	5	5	5	5	21	41
	8	9	11	12	9	17	58	5	5	5	5	21	41	7	7	7	7	20	48
	10	11	14	13	13	23	74	6	7	6	6	22	47	9	9	8	9	24	59
	12	13	19	17	15	29	93	8	8	8	8	24	56	12	11	10	11	30	74
11	4	5	6	6	6	13	36	2	2	1	2	11	18	3	3	3	3	15	27
	6	8	8	8	8	16	48	3	3	3	3	14	26	5	5	5	5	18	38
	8	12	10	12	11	19	64	5	5	5	5	16	36	7	7	7	7	18	46
	10	14	15	14	12	15	70	6	6	6	6	17	41	8	8	9	10	21	56
	12	13	16	16	14	19	78	8	8	8	9	24	57	11	11	11	11	20	64
7	4	6	7	6	6	12	37	1	2	2	2	8	15	3	3	3	3	11	23
	6	9	8	9	8	11	45	3	3	3	3	14	26	5	6	5	6	17	39
	8	11	12	12	11	15	61	5	5	5	5	17	37	8	7	7	8	19	49
	10	13	16	16	12	17	74	6	7	7	7	19	46	10	9	9	10	21	59
	12	14	19	16	15	17	81	8	8	8	8	19	51	13	13	11	11	23	71

Conclusion

Knowledge of the operating parameters for a multi-echelon repairable parts inventory system is necessary for managing such a system. Determining the values of the operating parameters and testing the impact of changes in certain parameters on the parameter values is a

complex problem that can be solved by using modeling and simulation. Object-oriented models allow the description of a multi-echelon inventory system, suitable for the development of a process simulation model.

In the considered two-echelon, one-component inventory system of repairable parts, one can clearly see the influence of the flow of repaired components on the mean availability ratio of the peripheral storage K_p , and the value of the total annual cost of the system L_g . However, it is not possible to draw a clear conclusion regarding the impact of the flow of repaired components on the mean waiting time W , but it is possible to assume the mean value of maximum waiting time for spares.

Taking into account the results obtained by the simulation, and from the standpoint of rational management of the monitored supply system, a logical choice is a selection of an optimum flow of repaired components from the workshop to the peripheral warehouse V_1 .

References

- de Smidt-Destombes, K.S., van Elst, N.P., Barros, A.I., Mulder, H., & Hontelez, J.A.M. 2011. A spare parts model with cold-standby redundancy on system level. *Computers & Operations Research*, 38(7), pp.985-991. doi:10.1016/j.cor.2010.09.006
- Djordjevic, S.M., Zrnic, Đ.N., Milicevic, R.M., & Miskovic, V.V. 2013. Information and Material Flow Modeling in System of Parts Regeneration In Multi-level Supply System. *Technical Gazette*, 20(5), pp.861-896.
- Huang, Q., & Hu, B. 2011. Simulation Model of Multi-Echelon Closed Supply Chain for Spare Parts, Intelligent Systems and Applications (ISA). In: *Proceedings of 3rd International Workshop on IEEE*.
- Iwata, C., & Mavris, D. 2013. Object-Oriented Discrete Event Simulation Modeling Environment for Aerospace Vehicle Maintenance and Logistics Process. *Procedia Computer Science*, 16, pp.187-196. doi:10.1016/j.procs.2013.01.020
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L.K., & Young, T. 2010. Simulation in manufacturing and business: A review. *European Journal of Operational Research*, 203(1), pp.1-13. doi:10.1016/j.ejor.2009.06.004
- Klingebiel, K., & Li, C. 2012. In *Advances in Intelligent Modelling and Simulation*. Berlin: Springer., pp.165-197.
- Lau, H.C., Song, H., See, C.T., & Cheng, S.Y. 2006. Evaluation of time-varying availability in multi-echelon spare parts systems with passivation. *European Journal of Operational Research*, 170(1), pp.91-105. doi:10.1016/j.ejor.2004.06.022
- Lei, L., & Jiangping, Y. 2012. An Inventory Model for Allocating Repairable Spares Based on Three-echelon Supply Relationship. Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (ICQR2MSE). In: *Proceedings of the International Conference on IEEE*.
- Milićević, M. 2000. *Management of Spare Parts Supply in Hierarchical Organizations*. Belgrade: Military Technical Academy.
- MODSIM III Reference Manual 1997. CACI Products Company.
- Muckstadt, J. 2005. *Analysis and Algorithms for Service Parts Supply Chains*. USA: Springer.
- Pejanovic, J.M. 2011. Razvoj informacionih sistema u internet okruženju korišćenjem softverskih komponenti sa posebnim osvrtom na primenu u vojnoj organizaciji. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 59(1), pp.121-148.

Rossetti, M., Miman, M., Varghese, V., & Xiang, Y. 2006. An Object-Oriented Framework for Simulating Multi-echelon Inventory Systems. In: Proceedings of the 2006 Simulation Conference. Monterey, USA.

Sherbrooke, C.C. 1968. Metric: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control. *Operations Research*, 16(1), pp.122-141. doi:10.1287/opre.16.1.122

Sherbrooke, C. 2004. *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques*, 2nd. Boston: Kluwer.

Tako, A.A., & Robinson, S. 2012. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 52(4), pp.802-815. doi:10.1016/j.dss.2011.11.015

Wang, Y., Cohen, M.A., & Zheng, Y. 2000. Two-Echelon Repairable Inventory System with Stocking-Center-Dependent Depot Replenishment Lead Times. *Management Science*, 46(11), pp.1441-1453. doi:10.1287/mnsc.46.11.1441.12081

Wong, H., van Houtum, G.J., Cattrysse, D., & van Oudheusden, D. 2005. Simple, efficient heuristics for multi-item multi-location spare parts systems with lateral transshipments and waiting time constraints. *Journal of the Operational Research Society*, 56(12), pp.1419-1430. doi:10.1057/palgrave.jors.2601952

ПОТОК РЕМОНТНЫХ ЗАПЧАСТЕЙ В МУЛЬТИЭШЕЛОННОЙ СИСТЕМЕ СНАБЖЕНИЯ

Милич Р. Миличевич, Влада С. Соколович, Марьян А. Миленков
Университет обороны в г. Белград, Военная академия

ОБЛАСТЬ: вычислительная техника, информатика, теория принятия решений и количественные методы

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной работе рассматривается проблема, касающаяся изменений стоимости закупок в работе двухуровневой системы снабжения запчастей, в зависимости от оборота запчастей в системе снабжения.

Проведен анализ влияния на поток регенерированных компонентов, в зависимости от значения коэффициента заполнения периферийных складов, общих затрат и среднего времени ожидания на периферийных складах, относительно номинальной стоимости размещения в центральном и периферийном складах.

Спрос на запчасти в периферийных складах зависит от сезонных изменений, которые моделируются в соответствии с функцией вероятности.

Ключевые слова: моделирование, мультиэшелонная система снабжения, ремонтные запчасти, симуляция, запчасти.

TOK POPRAVLJIVIH REZERVNIH DELOVA U MULTIEŠELONSKOM SISTEMU SNABDEVANJA

Milić R. Milićević, Vlada S. Sokolović, Marjan A. Milenkov
Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija

OBLAST: računarstvo i informatika, teorija odlučivanja i kvantitativne metode
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak
JEZIK ČLANKA: engleski

Sažetak:

U radu se razmatra problem promene vrednosti odabranih parametara na rad dvonivovskog sistema snabdevanja rezervnim delovima, zavisno od protoka rezervnih delova u sistemu snabdevanja. Analiziran je uticaj na tok regenerisanih komponenti u zavisnosti od vrednosti koeficijenta popunjenosti perifernih skladišta, ukupnih troškova i prosečnog vremena čekanja u redu u perifernim skladištima, za različite nominalne vrednosti stoka u centralnom i perifernom skladištu. Potražnja za rezervnim delovima u perifernim skladištima zavisi od sezonskih promena, koje su modelovane sa odgovarajućom funkcijom verovatnoće.

Ključne reči: *modeliranje, multiešelonski sistem snabdevanja, popravljivi rezervni delovi, simulacija, rezervni delovi.*

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 30. 04. 2015.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 04. 06. 2015.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 06. 06. 2015.

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



KOROZIJA U VAZDUHOPLOVNIM KONSTRUKCIJAMA

Zoran C. Petrović

ViPVO, 204. vazduhoplovna brigada, Batajnica

e-mail: pzoran.pele@gmail.com

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0001-8053-4034>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8573

OBLAST: materijali, hemijske tehnologije

VRSTA ČLANKA: pregledni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

Rezime:

Uzimajući u obzir da su, zbog odsustva jedinstvene klasifikacije i nomenklature korozivnih procesa, postojeće klasifikacije nepotpune i neprecizne, kategorizacija korozivnih procesa u ovom radu izvršena je na osnovu strukturno-elektrohemijske teorije, prema kojoj na elektrohemijski proces korozije utiče prisustvo heterogenosti na površini materijala. U zavisnosti od prirode i dimenzije ove neuniformnosti, definisane su tri različite kategorije korozije: uniformna, selektivna i lokalizovana i prikazani njihovi oblici.

Razmotreni su i uslovi koji dovode do pojave određenih vidova korozije u različitim korozivnim sredinama. Navedeni su primeri odvijanja korozivnih procesa i ukratko opisani njihovi mehanizmi.

Ključne reči: korozija, vazduhoplovna konstrukcija, uniformna, selektivna, lokalizovana, naponska korozija, korozivni zamor.

Uvod

Pod korozijom se podrazumeva neželjeno razaranje materijala koje nastaje pri fizičko-hemijskom ili elektrohemijom dejstvu sa okolnom sredinom. Reč korozija potiče od latinske reči „*corrodere*“, što znači nagrizzati. Problemu korozivnog oštećenja i razaranja metalnih materijala već godinama se posvećuje ogromna pažnja. Iskustvo pokazuje da su otkazi usled problema sa korozijom veoma značajni, a statistika na svetskom nivou pokazuje da je šteta koja nastaje usled delovanja različitih oblika korozije ogromna i da, na primer, u industrijski razvijenim zemljama dostiže 4-5% nacionalnog dohotka (Korozija, nd).

Po verovatno najboljoj i najširoj definiciji korozije ona predstavlja degradaciju mehaničkih svojstava materijala u interakciji sa okolinom. U vazduhoplovnim konstrukcijama korozija se mora posmatrati kao veliki problem, jer direktno utiče, kako na bezbednost, tako i na ekonomiju i logistiku.

S obzirom na različite materijale, okruženja i mehanička naprezanja, vazduhoplovstvo predstavlja jednu od oblasti u kojoj se posmatra najveći spektar tipova korozije (Halsne, 2004).

Cilj ovog rada jeste da se predstave najčešći oblici korozije, a na osnovu iskustava iz prošlosti, kako bi se sagledao širok spektar problema od neznatnih do katastrofalnih oštećenja. Posebna pažnja biće posvećena aspektima korozije u vezi sa pitanjima starenja vazduhoplova.

Iako je korozija vazduhoplovnih konstrukcija stari problem i mnogi pomoci su već urađeni u njoj prevenciji i selekciji materijala (nerđajući čelici, aluminijumske legure, titanijum, itd.), ipak se čini da je rešenje daleko. Na primer, pitanje korozije, koja predstavlja ozbiljan problem za svaki visokoprojektovani sistem, u slučaju vazduhoplovnih konstrukcija postalo je još važnije u poslednjoj deceniji XX veka, kada je do starenja vazduhoplova dolazilo zbog različitih faktora (<http://www.udruzenjepilota.org/arhiva/08/07/080726qantas.htm>, nd).



Slika 1 – Oštećenja nastala pod dejstvom korozije: a) oštećenje oplata aviona Boeing 747-400 kompanije "Qantas", 25. jula 2008.godine; b) oštećenje noge stajnog trapa aviona; c) oštećenje aviona Aloha Airlines Flight 243, 28. april 1988.godine

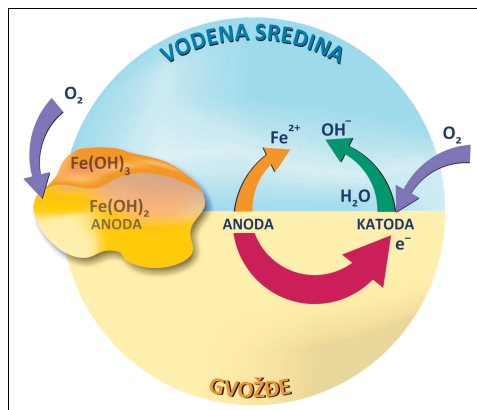
Рис. 1 – Повреждения под воздействием коррозии: в) повреждения обшивки самолета Boeing 747-400 авиакомпании "Qantas", 25 июля 2008 года; б) повреждение шасси самолета; а) повреждение самолета Aloha Airlines Flight 243, от 28 апреля 1988 года.

Figure 1 – Damage caused under the influence of corrosion: a) damage to the skin of the aircraft Qantas Boeing 747-400, July 25, 2008; b) damage to the landing gear; c) damage to the aircraft Aloha Airlines Flight 243, April 28, 1988.

Nedavno je procenjeno da proces korozije u troškovima starenja vazduhoplova učestvuje do 80%. Sa druge strane, korozija ima veliki uticaj i na bezbednost, tako da se oko 45% oštećenja vazduhoplovnih konstrukcija može pripisati koroziji (<http://www.tailstrike.com/280488.htm>, nd).

Korozija može da bude izazvana različitim uzročnicima i može imati više pojava oblika, zbog čega se u literaturi sreće veliki broj različitih klasifikacija korozije, najčešće po mehanizmu i uslovima odvijanja.

Kod vazduhoplovnih konstrukcija korozija uglavnom predstavlja destrukciju metala i legura usled elektrohemijske reakcije sa okolnom sredinom (slika 2).



Slika 2 – Mehanizam korozije čelika u vodi
 Рус. 2 – Механизм коррозии стали в воде
 Figure 2 – The mechanism of corrosion of steel in water

Elektrohemijska korozija je posledica odigravanja elektrohemijskih reakcija i podleže zakonitostima elektrohemijske kinetike. Bitan uslov nje-
 ne pojave je dodir metala sa drugom fazom koja ima osobine elektrolita, pri čemu na metalu dolazi do stvaranja tankog sloja sa osobinama elek-
 trohemijskog dvosloja. Elektrohemijska korozija nastaje u vodi (prirodnoj i
 tehničkoj), u vodenim rastvorima kiselina, baza i soli, u zemljištu i atmos-
 feri. Atmosfera nije elektrolit, ali se u atmosferskim uslovima korozija od-
 vija u vodenom kondenzatu koji, zbog vlažnosti vazduha, nastaje na me-
 talnoj površini i ima osobine elektrolita. Ovde spadaju svi slučajevi korozije
 u vlažnoj atmosferi (Rajaković–Ognjanović, 2011).



Slika 3 – Olupina aviona Curtiss P-40 Kittyhawk nađena u Sahari 70 godina nakon pada
 Рус. 3 – Останки самолета Curtiss P-40 Kittyhawk, найденного в Сахаре спустя
 70 лет после крушения
 Figure 3 – The wreck of the aircraft Curtiss P-40 Kittyhawk found in the Sahara desert
 70 years after the fall

Kakvu ulogu ima prisustvo vlage, odnosno njeno odsustvo, na pojavu i širenje korozije pokazuje slučaj odlično očuvane olupine lovca "Curtiss P-40 Kittyhawk" britanskog Kraljevskog vazduhoplovstva, otkrivene 2012. godine, 70 godina posle pada u Sahari (Harris). Avetinjski, ali savršeno očuvani ostaci aviona pronađeni su u zapadnom delu pustinje u Egiptu (slika 3).

Postojeće klasifikacije, u zavisnosti od uzroka pojave korozije i oblika oštećenja, nepotpune su i nedovoljno precizne, što se objašnjava odsustvom jedinstvene klasifikacije i nomenklature korozivnih procesa.

Uprkos ovim ograničenjima, jedna od najkorisnijih teorija koja se može koristiti za kategorizaciju korozije je strukturno-elektrohemijska. U skladu sa ovom teorijom, pokretačku snagu elektrohemijskog procesa korozije čini prisustvo heterogenosti na površini metala. U zavisnosti od prirode i dimenzije ove neuniformnosti razlikujemo tri različite kategorije korozije. To su:

– **uniformna (opšta) korozija**, koju karakterišu podmikrostrukturne heterogenosti, što je uporedivo sa dimenzijama kristalne grafičke rešetke (tj. razlika u položaju atoma, termičke fluktuacije metalnih jona u rastvoru, itd),

– **selektivna korozija**, koju karakteriše prisustvo mikroskopske nehomogenosti od 0,1 mm do 1 mm, što je uporedivo sa veličinom kristalne grafičke strukture metala (tj. granicama zrna, druge faze u legurama, itd.),

– **lokalna korozija**, koju karakteriše prisustvo makroskopskih nehomogenosti većih od 1 mm (The Research and Technology Organisation of NATO, 2011).

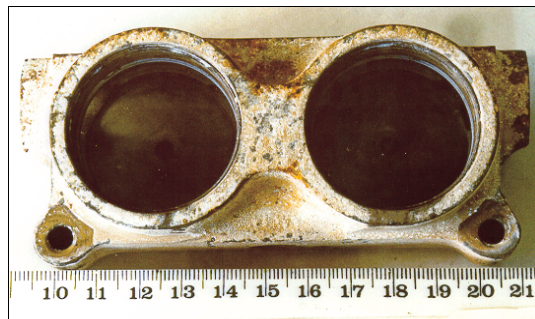
Uniformna (opšta) korozija

Nehomogenosti na površini metala, u interakciji sa agresivnim okruženjem, toliko su male po dimenziji i potencijalu da će ista površina stalno menjati uloge – ulogu anode i ulogu katode (The Research and Technology Organisation of NATO, 2011).

Iako je to vrlo čest mehanizam u mnogim korodiranim sistemima, on se na vazduhoplovnim konstrukcijama ne posmatra tako često, jer izabrani vazduhoplovni materijali uvek su manje podložni tome.

Uniformna korozija je uobičajena za rđajući čelik i gvožđe, gde se može lako prepoznati po crvenoj rđi. S obzirom na lako prognoziranje i otkrivanje, uniformna korozija ne može se smatrati njenim opasnim oblikom.

Opšti napad obično se javlja na delovima gde je originalni zaštitni sloj propao iz bilo kog razloga. Kao jedan od karakterističnih slučajeva je pojava korozije na čeliku obloženom kadmijumom nakon što je anodna prevlaka potpuno uništena (slika 4).



Slika 4 – Uniformna korozija na kadmijumom obloženoj komori za sagorevanje aviona AM-X
Рис. 4 – Равномерная коррозия кадмиевого покрытия на камере сгорания самолета AM-X
Figure 4 – Uniform corrosion on a cadmium plated AM-X Air combustion chamber

Erozija izazvana delovanjem tečnosti koja se brzo kreće takođe može dovesti do uniformnog ili kvaziuniformnog napada. Ovaj specifičan mehanizam, nazvan erozija–korozija, postaje ozbiljniji na avionima koji lete u uslovima visoke temperature, gde je visok sadržaj vlage, posebno u noćnim časovima i gde ima peska (čvrsta čestica, obogaćena solju, deluje kao izuzetno abrazivan medij koji uklanja boju i proizvode korozije, nudeći agresivnom okruženju novu metalnu površinu).

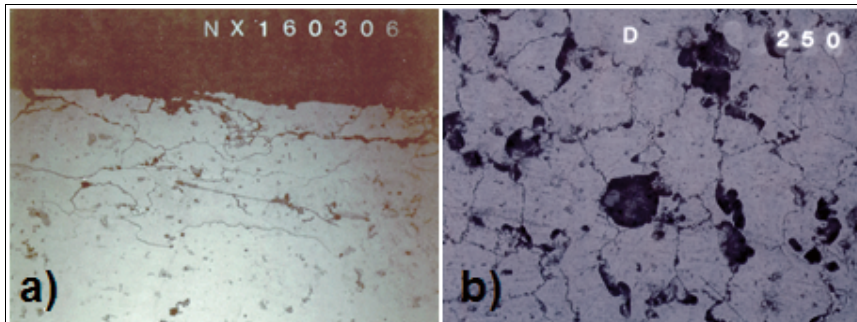
Starenje aviona pogoršava probleme uniformne korozije na električnoj i elektronskoj opremi gde su, radi dobijanja zahtevanih performansi, materijali kao što su aluminijum, čelik ili mesing, često inferiorni u pogledu otpornosti na koroziju.

Selektivna korozija

U selektivnu koroziju uključeni su svi fenomeni koji zavise od heterogenosti hemijskog sastava. U tom smislu, možemo govoriti o elektrohemijском napadu izazvanom unutrašnjom heterogenošću materijala. Selektivna korozija različitom brzinom napada pojedine komponente, odnosno faze višekomponentnih ili višefaznih metala (mesing, sivi liv, aluminijumska bronza).

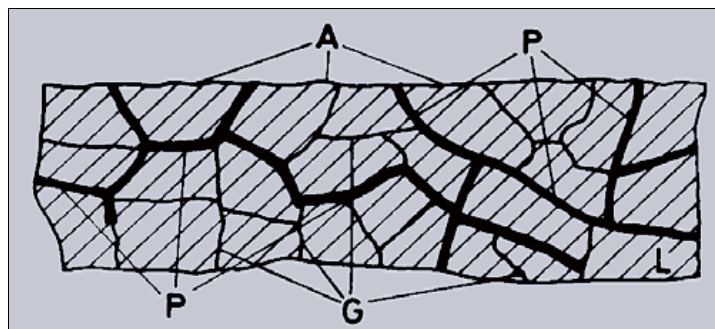
Interkristalna korozija

Na vazduhoplovnim konstrukcijama interkristalna korozija (slika 5) mnogo je češće posmatran mehanizam ove klase korozije s obzirom na to da je karakterističan za legure aluminijuma, i Al-Cu (2xxx) i Al-Zn (7xxx) legure, gde je pokretačka snaga elektrohemijского procesa u razlici potencijala između druge faze (bogatija bakrom – više plemenita ili bogatija cinkom – manje plemenita) i aluminijuma.



Slika 5 – Interkristalna korozija: a) na AA2024 (160x); b) na Mg leguri AZ-91C (250x)
 Рис. 5 – Межкристаллитная коррозия а) на AA2024 (160x); б) на Mg alloy AZ-91C (250x)
 Figure 5 – Intergranular corrosion: a) on AA2024 (160x); b) on Mg alloy AZ-91C (250x)

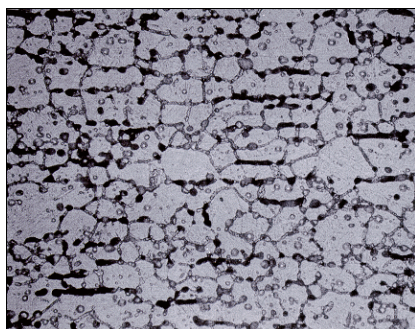
U ovom slučaju korozija napreduje uzduž granica zrna u unutrašnjost metala (slika 6) i mora se smatrati veoma opasnom, jer, uprkos minimalnom gubitku materijala, mehaničke osobine drastično degradiraju. Pri ovoj vrsti korozije nema vidljivih promena spoljašnjeg izgleda metala. Međutim, pri napredovanju interkristalne korozije metal postaje krh, pa relativno lako može da dođe do razaranja i pri neznatnim statičkim, a posebno dinamičkim opterećenjima. Interkristalna korozija se teško otkriva metodama ispitivanja bez razaranja.



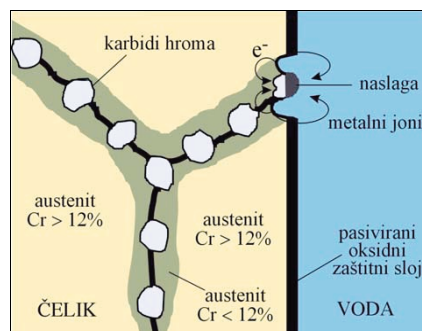
Slika 6 – Interkristalna korozija: A – površina legure; L – legura, G – granica zrna, P – produkti korozije po granicama zrna.
 Рис. 6 – Межкристаллитная коррозия: А - поверхность сплава; L - сплав, G - границы зерен, P - продукты коррозии на границах зерен.
 Figure 6 – Intergranular corrosion: A - surface of alloy; L – alloy, G – grain boundaries, P - products of corrosion at the grain boundaries.

Visokolegirani nerđajući čelici osetljivi su na interkristalnu koroziju, koja je posebno zastupljena kod nerđajućih čelika na bazi hroma, bez obzira na njegovo povoljno dejstvo na povećanje otpornosti na koroziju

(>12%Cr), jer se površina ovih čelika prevlači pasivizirajućim filmom Cr_2O_3 . Međutim, tokom neodgovarajuće termičke obrade ovih čelika ili njihove eksploatacije u nedozvoljenom temperaturno-vremenskom intervalu, dolazi do migracije atoma hroma iz pograničnih oblasti u granice zrna gde se izdvajaju u vidu karbida $Cr_{23}C_6$. Usled osiromašenja pograničnih oblasti na hromu (<<12%Cr) one više nisu zaštićene pasivnim oksidnim filmom, pa postaju anodne u odnosu na unutrašnjost zrna i sklone interkristalnoj koroziji. Sklonost nerđajućih čelika interkristalnoj koroziji, odnosno njihova osetljivost na lokalnu promenu u sadržaju hroma koja se odvija u određenom temperaturnom intervalu ($450\pm 480^\circ C$) poznata je kao senzitivizacija. Pojava senzitivizacije česta je posledica zavarivanja (Korozija, nd).



Slika 7 – Niskotemperaturna senzitivizacija PH 17-7 nerđajućeg čelika
 Рус. 7 – Сенситивизация PH 17-7 нержавеющей стали при низкой температуре
 Figure 7 – Low temperature sensitization on PH 17-7 stainless steel



Slika 8 – Šematski prikaz procesa senzitivizacije
 Рус.8 – Схематическое изображение процесса сенситивизации
 Figure 8 – Schematic representation of the process of sensitization

Lokalizovana korozija

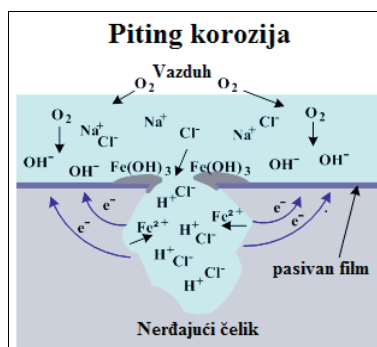
Kod lokalizovane korozije posmatra se najveći broj mehanizama korozije. Zajednički faktor kod svih različitih oblika korozije u slučaju lokalnog napada je prisustvo stabilnih i jasno odvojenih katodnih i anodnih oblasti.

Pri lokalnoj koroziji rastvaranje metala može da se odvija na jednom mestu, redukcija na drugom, a stvaranje korozivnih produkata na trećem mestu. U tom slučaju korozivni produkti neće predstavljati zaštitu metala od dalje korozije.

Lokalna elektrohemijska korozija dovodi do mestimičnog nagrizanja koje se manifestuje pojavom prskotina, jamica, itd.

Piting (tačkasta) korozija

Piting korozija je izrazito lokalizovan korozivni napad pri kojem dolazi do stvaranja korozivnih jamica (pitova). Tačkastoj (piting) koroziji podložne su veoma male (ograničene) površine metala (ostatak površine je u stabilnom, pasivnom stanju), pri čemu dolazi do stvaranja oštećenja – tačkica, rupica, jamica i kratera (slika 9).



Slika 9 – Mehanizam piting korozije
 Рус. 9 – Механизм точечной коррозии
 Figure 9 – The mechanism of pitting corrosion

Piting korozija po elektrohemijском mehanizmu se, po pravilu, javlja u rastvorima koji sadrže oksidanse (to može da bude i kiseonik iz vazduha) i aktivne anjone (Cl^- , Br^- , I^- , itd.). Osnovni uslov nastajanja pitinga je pomeranje elektrohemijского potencijala u prisustvu oksidansa u rastvoru (anodna polarizacija) i približavanje kritičnoj vrednosti. Površina pitinga je anoda i razara se velikom brzinom na račun kontakta sa ostatkom površine koja se nalazi u pasivnom stanju – nepolarizovana katoda. Pošto je istovremeno postojanje pasivne katode i aktivne anode na površini jednog istog metala, bez ikakvih dopunskih uslova, nemoguće, takav sistem je elektrohemijский nestabilan.



Slika 10 – Piting korozija na HH-3F kompresorskoj lopatici
 Рус. 10 – Точечная коррозия на компрессорной лопатке HH-3F
 Figure 10 – Pitting corrosion on a HH-3F compressor blade

Na odvijanje piting korozije, pored već pomenutih uzroka, utiču i hemijski sastav materijala, njegova struktura i termička obrada, temperatura, stanje površine i nemetalni uključci. Pitovi se formiraju na mestima razaranja pasivnog filma na površini metala, u prisustvu jona.

Stepen zaštite koju pruža pasivni film zavisi od njegove debljine, kontinuiteta, koherentnosti i adhezije za metal, itd. Ako se film ošteti mehanički ili hemijski, može doći do njegovog ponovnog formiranja (repasivizacije) ili do daljeg odvijanja korozivnih procesa.

Tačkasta korozija razvija se u tri stadijuma koji obuhvataju:

- inicijalno stvaranje jamice (nukleacija),
- početni rast jamice (u određenim uslovima može da se okonča repasivizacijom) i

- stabilni rast jamice.

Kod tačkaste korozije pojavi vidljivih jamica prethodi dug inicijalni period. Ovaj interval podrazumeva period od nekoliko meseci do godinu dana, u zavisnosti od toga o kojem je materijalu i kakvoj korozionoj sredini reč. Kada jednom započne rast, jamice penetrišu u metal stalno rastućom brzinom (ukoliko se ovaj proces ne naruši). Jamice obično rastu u pravcu dejstva gravitacije, pa se zato razvijaju na horizontalnim površinama, rastu nadole. Zabeležen je veoma mali broj slučajeva stvaranja jamica na vertikalnim površinama ili na horizontalnim površinama sa rastom nagore. U slučaju piting korozije gubitak metala (kao jedan od aktuelnih pokazatelja razvoja korozivnih procesa) veoma je mali i ne može da ukaže na dubinu prodiranja jamice.

Piting korozija se vizuelno uočava u drugom stadijumu, i to u vidu oštro definisanih jamica. Međutim, na osnovu površinskog izgleda ne sme da se sudi o stepenu oštećenja, zato što potpovršinsko oštećenje može da bude veće.

Međusobnim spajanjem nekoliko jamica formira se krater. Oblik pitinga menja se od nepravilnog do približno geometrijski pravilnog. Jamice pravilnog geometrijskog oblika koriste se pri analizi mehanizma piting korozije i njenog modeliranja (Korozija, nd).

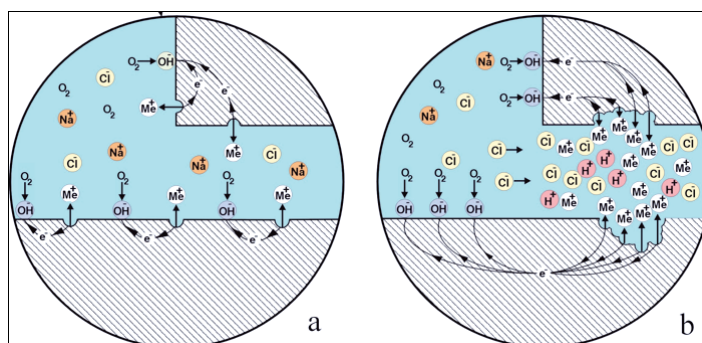
Korozija u pukotinama i zazorima

Tokom eksploatacije metalnih konstrukcija, uključujući i konstrukcije od čelika, može da dođe do pojave lokalizovane korozije koja podrazumeva intenzivno razaranje u zazorima. Zazori su u konstrukcijama neizbežni, nastaju pri spajanju različitih delova koji mogu da budu od istog ili različitog metala. Najveću osetljivost na pojavu korozije u zazorima imaju pasivni metali (korozivno postojane legure, Al-legure), jer u zazorima dolazi do njihove depasivizacije (slika 11).

Karakteristika korozivnih procesa u zazorima je sniženje koncentracije oksidansa (kiseonika i dr.) u poređenju sa njegovom koncentracijom u rastvoru i sporo odstranjivanje produkata korozivne reakcije iz zazora. Lokalna gustina struje rastvorenog metala u zazoru je jako visoka, jer je

preostala površina van zazora znatno veća. Ovakvim mehanizmom objašnjava se lokalno nagrizanje metala u zazorima i odsustvo nagrizanja ili slabo nagrizanje ostale površine metala.

Joni hlora i vodonika ubrzavaju rastvaranje većine metala i legura, odnosno imaju isto dejstvo kao i kod tačkaste korozije metala. Ova vrsta korozije odvija se u gotovo svakoj sredini, ali najintenzivnija je u rastvorima hlora.



Slika 11 – Mehanizam korozije u zazoru
 Рис.11 – Механизм щелевой коррозии
 Figure 11 – The mechanism of corrosion in the crevice

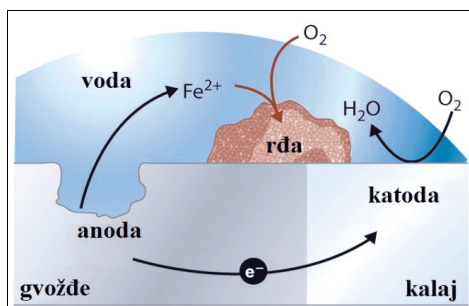
Za razvoj korozije u zazorima, koja je u najvećem stepenu određena difuzionim procesima, važan činiac predstavlja širina zazora. Najveći stepen korozije metala nije utvrđen pri najmanjoj širini zazora (<0,05 mm), kada je dolazak oksidacionih sredstava jako otežan, već pri zazorima srednje širine (0,05÷0,5 mm). Ukoliko je širina zazora manja, narušavanje pasivnog sloja odvija se na većoj površini i narušava pasivnost, pa korozija postaje ravnomerna. U zazorima srednje veličine koncentracija oksidacionog sredstva se u manjoj meri snižava, pasivnost se lokalno narušava, a korozija postaje mestimična, šireći se u dubinu. Tako se npr. pri ispitivanju nerđajućeg čelika sa 13% Cr u morskoj vodi, u prisustvu zazora veličine 0,05 i 0,1 mm, korozija u zazorima pojavila već posle tri, odnosno šest meseci. Kada je veličina zazora povećana na 0,5, odnosno 1 mm, korozija u zazorima nije otkrivena (Korozija, nd).



Slika 12 – Korozija u zazoru na avionu Tornado
 Рис.12 – Щелевая коррозия на самолете Tornado
 Figure 12 – Crevice corrosion on Tornado

Galvanska korozija

Galvanska korozija je najočigledniji oblik lokalizovane korozije, gde su vrlo jasno identifikovana anodna i katodna područja (slika 13).



Slika 13 – Mehanizam galvanske korozije
 Рус. 13 – Механизм гальванической коррозии
 Figure 13 – The mechanism of galvanic corrosion

Ova vrsta korozije nastaje kada su dva metala različitog elektrohemijaskog potencijala u kontaktu u korozivnom medijumu, a nastala oštećenja manje plemenitog metala su ozbiljnija nego da je sam izložen u istom medijumu.

Širenje korodirane oblasti na anodi, kao i brzina korozije, zavisice od razlike elektrohemijaskog potencijala između metala i provodljivosti agresivnog medijuma. U svakom slučaju, napad korozije je više koncentrisan u delu anodnog metala bliže katodi.

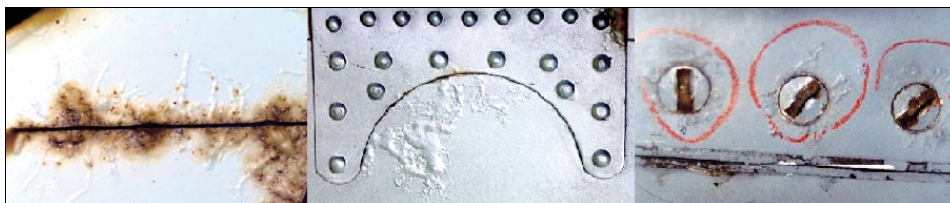


Slika 14 – Galvanska korozija na MB-339 između nosača od Mg legure i zavrtnja od aluminijuma
 Рус. 14 – Гальваническая коррозия на MB-339 между опорой из Mg сплава и алюминиевыми заклепками
 Figure 14 – Galvanic corrosion on the MB-339 between an Mg alloy trim and aluminum rivets

U vazduhoplovnim konstrukcijama često je potrebno koristiti različite metale, tako da se galvanska korozija ne može u potpunosti izbeći. Tipičan primer pojave galvanske korozije je slučaj kada se za zatvaranje otvora u oplati od aluminijumske legure koriste čelični zavrtnji ili nitne (The Research and Technology Organisation of NATO, 2011).

Površinska (filiform) korozija

Filiform korozije (slika 15) mogu se naći pod organskim premazima, kao što su boje, usled prodiranja vlage kroz oblogu pod specifičnim temperaturama ($T \geq 30^{\circ}\text{C}$) i uslovima vlažnosti ($\text{Hr} \geq 85\%$).



Slika 15 – Filiform korozija
Рис. 15 – Нитевидная коррозия
Figure 15 – Filiform corrosion

Naponska korzija i korozivni zamor

Naponska korozija

Naponska korozija je vid razaranja materijala u kojem se javljaju prskotine usled zajedničkog delovanja korozije i deformacije metala zbog zaostalih napona ili pod dejstvom primenjenog napona, što predstavlja definiciju zasnovanu na ISO.

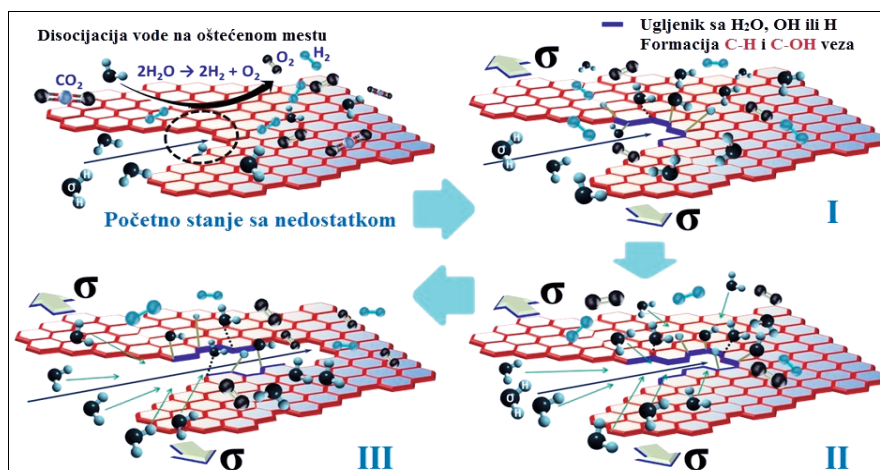
Naponska korozija ne izaziva uvek krti lom (lom praćen malom duktilnošću) i, kao korozivni proces koji nije vidljiv, prouzrokuje značajan pad mehaničkih karakteristika metala uz njegov vrlo mali maseni gubitak. Iako korozivno naponska prskotina, kao oštećenje, ne može da se uoči pri kontroli stanja površine metala, ona može da bude „okidač” brzog mehaničkog loma ili razaranja komponenti i konstrukcija (Korozija, nd).

Prsline i razaranja usled naponske korozije metala mogu da se jave samo ako su istovremeno ostvarena sledeća tri uslova:

- sredina koja ima takve karakteristike da kod konkretnog materijala pogoduje pojavi naponske korozije,
- materijal koji je „osetljiv” na pojavu naponske korozije,
- dovoljan zatezni napon.

Svaki od ovih uslova mora se razmatrati individualno, sa svim detaljima. Na primer, ako se razmatra materijal, on ne može da se posmatra samo sa gledišta hemijskog sastava već i sa gledišta mikrostrukture koja je ostvarena konkretnom termičkom obradom.

Prisutne prsline slabe konstrukciju, smanjujući poprečni presek zida komponenti, pa su moguća iznenadna razaranja. Brzina širenja prsline, u zavisnosti od stepena i inteziteta sadejstva, može da bude veoma velika i da se proces razaranja, od pojave prsline, odvija u kratkom periodu (do nekoliko dana). Naponska korozija širi se u velikom opsegu brzina, od 10^{-3} do 10 mm/h, u zavisnosti od kombinacije legure i radne sredine. Geometrija prsline je takva da kada poraste do određene dužine može da postigne kritičnu dužinu i tada dolazi do prelaska od relativno laganog širenja, koje ima odlike naponske korzije, do širenja velikom brzinom svojstvenom za mehaničko razaranje (Hwangbo, 2014).



Slika 16 – Ilustracija rasta potkritične prskotine u grafenu nastale pod dejstvom naponske korozije. I) adsorpcija vodene pare u ugljenične veze u grafenu; II) transport vodene pare u grafen; III) elektrostatička interakcija vodene pare i grafena.

Рис. 16 – Иллюстрация докритической трещины в графене, возникшей под напряжением коррозии. I) Адсорбция паров воды в углеродной связи в графене; II) Транспорт паров воды в графене; III) Электростатическое взаимодействие паров воды и графена

Figure 16 – Illustration of subcritical crack growth in graphene formed under the influence of stress corrosion. I) adsorption of water vapor to carbon bonds in graphene; II) diffusive transport of water vapor to graphene; III) electrostatic interaction between water vapor and graphene.

Naponska korozija najčešće se javlja na:

- zavarenim spojevima (prelazna oblast/osnovni materijal, posebno u ZUT-u,
- cevnim lukovima,
- na mestima naglih razlika u dimenzijama.

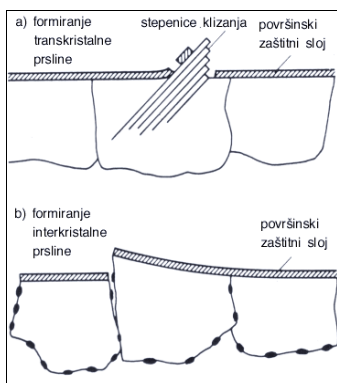
Imajući u vidu da su procesi koji prethode vidljivoj pojavi naponske korozije još uvek nedovoljno istraženi, prema današnjim saznanjima, postoji nekoliko mogućih modela za opisivanje ove vrste korozivnog razaranja.

Oštećenje zaštitnog sloja – stabilizacija

Ovaj model ima nekoliko varijacija, a karakterističan primer prikazan je na slici 17. Konstantni zatezni naponi uzrokuju razaranje površinskog, zaštitnog, oksidnog sloja. Razaranje zaštitnog sloja mogu izazvati klizne trake koje formiraju klizne stepenice na površini metala, ukoliko je sprečeno višestruko klizanje u strukturi metala zbog deformacionih procesa (slika 17. a). Na taj način iniciraju se prskotine koje se šire transkristalno. U ostalim slučajevima stepenicu klizanja na površini metala prave pojedinačna zrna – granica zrna oslabljena taloženjem karbida i nitrida (slika 17.b). Na ovaj način formiraju se prskotine koje se šire interkristalno (Korozija, nd).

Hemijsko rastvaranje metala potpomognuto mehaničkim dejstvom

Ovaj mehanizam prikazan je na slici 18. Rastvaranjem metalne površine pod dejstvom korozivne sredine stvaraju se praznine koje, pod dejstvom polja zateznih sila, migriraju i akumuliraju se pri vrhu prskotine i dovode do njenog rasta.



Slika 17 – Mehaniizam razaranja zaštitnog oksidnog sloja

Рис. 17 – Механизм разрушения защитного оксидного слоя

Figure 17 – The mechanism of destruction of the protective oxide layer

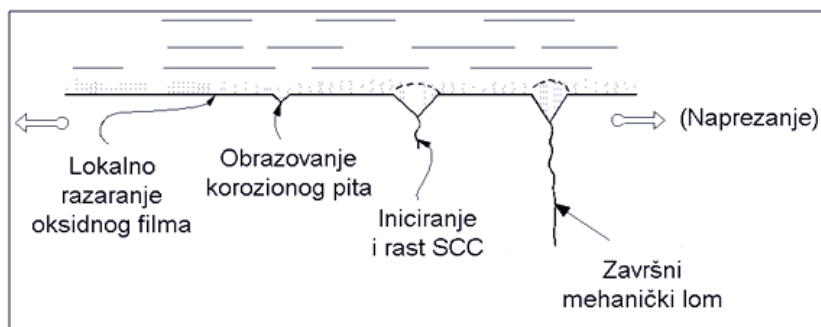


Slika 18 – Šematski prikaz mehanizma rastvaranja metala potpomognutog mehaničkim dejstvom

Рис. 18 – Схематическое изображение механизма растворения металлов под механическим воздействием

Figure 18 – Schematic view of the mechanism of dissolution of metals under mechanical action

Na slici 19 prikazan je način inicijacije korozivno naponskog oštećenja i faze napredovanja naponske korozije.



Slika 19 – Faze napredovanja naponske korozije
 Рис. 19 – Этапы образования коррозии под напряжением
 Figure 19 – Stages of progression of stress corrosion

Prskotina pri naponskoj koroziji može da se širi transkristalno (kroz same kristale) i interkristalno (duž granica kristala).



Slika 20 – Transkristalna prskotina nastala kao posledica naponske korozije (oštra je i prava)
 Рис. 20 – Трещина в результате коррозионного напряжения. Острая трещина с ровными краями.
 Транскристаллитная трещина
 Figure 20 – Crack as a result of stress corrosion. The crack is sharp and straight – transgranular crack



Slika 21 – Interkristalna prskotina nastala usled naponske korozije (x500 Inconel).
 Рис. 21 – Межкристаллитное коррозионное растрескивание под напряжением (x500 Inconel)
 Figure 21 – Intergranular stress corrosion cracking (x500 Inconel).

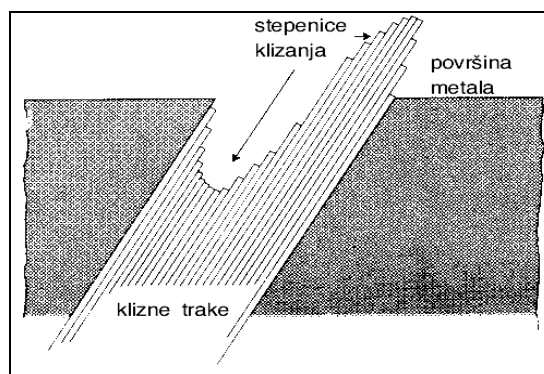
Korozivni zamor

Korozivni zamor je rezultat kombinovanog delovanja promenljivih napona i korozivnog okruženja. Veruje se da usled delovanja zamora dolazi do prekida zaštitnog pasivnog sloja, pa se korozija intenzivira. Pris-

stvo korozivnog okruženja eliminiše postojeću granicu „zamorne čvrstoće” čelika i kreira konačan radni vek nezavisno od napona. Korozivno okruženje utiče na povećanje brzine rasta prskotine ili rast prskotine pri nižim naponima nego u sredini koju čini suv vazduh. Čak i uslovi veoma slabe atmosferske korozije, npr. kod konstrukcija izrađenih od aluminijuma, dovode do smanjenja dinamičke čvrstoće na 25% od vrednosti na vazduhu. Nijedan metal, ako se nalazi u korozivnom okruženju, nije imun od izvesnog smanjenja svoje otpornosti na delovanje promenljivih napona. Kontrola korozivnog zamora može da se izvede ili smanjenjem broja ciklusa ili kontrolom radne sredine.

Na površini metala formiraju se stepenice klizanja (slika 22). Na taj način oštećuje se zaštitni sloj, čime započinje elektrohemijsko anodno rastvaranje metala koji je došao u dodir sa elektrolitom, što dovodi do pojave mikroprskotina.

Broj ciklusa do loma pri korozivnom zamoru zavisi od učestalosti odvijanja ciklusa. Za odvijanje je potrebno vreme, pa je uticaj efekta korozivne sredine veći kada frekvencija ciklusa postaje niža, što ukazuje na to da korozivni zamor pokazuje svoj maksimalni efekat ako su i frekvencija i prisutno opterećenje niski (Korozija, nd).



Slika 22 – Mehanizam formiranja stepenica klizanja na površini metala
 Рус. 22 – Механизм возникновения ступени скольжения на поверхности металла
 Figure 22 – The mechanism of creation of slip steps on the surface of metal

Zaključak

S obzirom na različite materijale, okruženja i mehanička naprezanja, vazduhoplovstvo predstavlja jednu od oblasti u kojoj se posmatra najveći spektar tipova korozije.

Ovaj rad predstavlja sažet pregled najčešćih pojava oblika korozije na vazduhoplovnim strukturama.

Kako su, zbog odsustva jedinstvene klasifikacije i nomenklature korozivnih procesa, postojeće klasifikacije nepotpune i netačne, kategorizacija korozivnih procesa izvršena je na osnovu opšte prihvaćene strukturno-elektrohemijske teorije, prema kojoj na elektrohemijski proces korozije utiče prisustvo heterogenosti na površini materijala. Obzirom na navedeno, a u zavisnosti od prirode i dimenzije ove neuniformnosti, razlikujemo tri osnovne kategorije korozije: uniformna, selektivna i lokalizovana.

Stalno proširivanje znanja o problemima korozije, zasnovano na prethodnim iskustvima i multidisciplinarnom pristupu projektovanju, kao i razvoj metoda analize bez razaranja, od suštinskog su značaja za uspješno suočavanje sa ekonomskim i bezbednosnim izazovima starenja vazduhoplova.

Literatura / References

Cockpit Voice Recorder Database 28 April 1988 - Aloha 243, [internet], Preuzeto sa <http://www.tailstrike.com/280488.htm>.

Dekompresija prouzrokovana otvaranjem rupe na trupu aviona B747 kompanije "Qantas", [internet], Preuzeto sa <http://www.udruzenjepilota.org/arhiva/08/07/080726qantas.htm>.

Halsne, C., 2004, *Defects in aging passenger jets exposed*, [internet], Preuzeto sa http://www.iasa.com.au/folders/Safety_Issues/RiskManagement/AlohaAgain-2.html.

Harris P., *Frozen in the sands of time: Eerie Second World War RAF fighter plane discovered in the Sahara 70 years after it crashed in the desert*, [internet], Preuzeto sa <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2142300/Crashed-plane-Second-World-War-pilot-Dennis-Copping-discovered-Sahara-desert.html>.

Hwangbo, Y., 2014, *Fracture Characteristics of Monolayer CVD-Graphene*, [e-book], Preuzeto sa <http://graphene.yonsei.ac.kr/publications/2014/Fracture%20Characteristics%20of%20Monolayer%20CVD-Graphene.pdf>.

Korozija, [internet], Preuzeto sa <https://www.yumpu.com/hr/document/view/14040635/3-korozija>.

Rajaković–Ognjanović, V., 2011, *Uticaj kvaliteta vode na koroziju čelika*, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, [internet], Preuzeto sa <https://fedorabg.bg.ac.rs/fedora/get/o:6738/bdef:Content/get>.

The Research and Technology Organisation of NATO, 2011, *Corrosion and Maintenance Data Sharing – Final Report of Task Group AVT-137*, [e-book], Preuzeto sa [http://natorto.cbw.pl/uploads/2011/11/\\$TR-AVT-137-ALL.pdf](http://natorto.cbw.pl/uploads/2011/11/$TR-AVT-137-ALL.pdf).

КОРРОЗИЯ В АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Зоран Ц. Петрович
ВПВО, 204. авиационная бригада, Батайница

ОБЛАСТЬ: материалы, химические технологии
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

В вводной главе представлен краткий обзор причин появления коррозии и коррозионных повреждений на авиационных конструкциях.

Учитывая отсутствие единой классификации и номенклатуры коррозионных процессов и то, что существующие классификации неполные и недостаточно точные, категоризация коррозионных процессов в этой работе произведена на основании структурно-электрохимической теории, согласно которой движущей силой электрохимического процесса коррозии является присутствие гетерогенности на поверхности материала. В зависимости от характера и размеров данной неоднородности, выделяются три категории коррозии: равномерная, избирательная и локальная коррозия.

Далее представлены виды коррозии, которые появляются в трёх ранее описанных категориях коррозии. Рассмотрены и обстоятельства, способствующие появлению определённых видов коррозии в различной коррозионной среде. Приведены примеры того, как протекают коррозионные процессы при кратком описании их механизмов.

В последней главе, в качестве заключения, обобщены результаты исследования возможных причин появления коррозии на авиационных конструкциях.

Ключевые слова: коррозия, авиационная конструкция, равномерная, избирательная, локальная, коррозия под напряжением, коррозионная усталость.

CORROSION IN AIRFRAMES

Zoran C. Petrović,
AF and AD, 204th Aviation Brigade, Batajnica

FIELD: Materials, Chemical Technology
ARTICLE TYPE: Review Paper
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Summary:

The introductory chapter provides a brief reference to the issue of corrosion and corrosion damage to aircraft structures. Depending on the nature and dimensions of this nonuniformity, three different categories of corrosion are defined: uniform, selective and localized corrosion.

The following chapters present the forms of corrosion that can occur in three defined categories of corrosion. Conditions that cause certain types of corrosion in various corrosive environments are discussed. Examples of corrosion processes are listed and mechanisms of these processes are briefly described. And, as a conclusion, the last chapter presents the summary of investigations of corrosion and corrosion damage to aircraft structures.

Introduction

Probably the best and broadest definition of corrosion says that corrosion is the degradation of mechanical properties of materials in the interaction with the environment. Corrosion in aeronautical structures must be considered as a significant problem, because it directly affects both the security and the economy-logistics. In view of the variety of materials, environments and mechanical stresses, aviation is one of the areas where the widest range of types of corrosion can be found.

Depending on the nature and the dimensions of this non-uniformity, three different categories of corrosion can be experienced: *Uniform corrosion, Selective corrosion and Localized corrosion.*

Uniform corrosion

Although this is a very common mechanism in many corroded systems, it is not so often observed on airframes because the chosen aeronautical materials are always less prone to it. Uniform corrosion is common for non-stainless steel and iron where it can be easily recognized by red rust. Easily detectable and forecasted uniform corrosion cannot be considered a very dangerous form of corrosion.

Selective corrosion

This category includes all the phenomena depending on the presence of heterogeneities in a chemical composition. In this sense, we can also talk about this electrochemical attack as caused by an intrinsic heterogeneity of the material.

On airframes, intergranular corrosion is a more often observed mechanism of this class because it is a characteristic of aluminium alloys, both Al-Cu (2xxx) and Al-Zn (7xxx) alloys, where the driving force for the electrochemical process is the difference in potential between the second phase (richer in copper – more noble, or richer in zinc – less noble) and aluminium. In this case, a corrosion profile follows the shape of grain boundaries, and must be considered very dangerous because, in spite of minimum material loss, mechanical properties fall dramatically down.

Localized corrosion

This is certainly the class where the widest number of corrosion mechanisms is observed. The common factor among the different forms of corrosion in the case of a localized attack is the presence of stable and clearly separate cathodic and anodic areas.

In the case of local corrosion, dissolution of metals can be done in one place, a reduction in the second place, and the creation of corrosion products in the third; in this case, the corrosion products will not protect the metal from further corrosion.

Pitting corrosion: Pitting corrosion is a dangerous attack which occurs on passive materials when the protective oxide layer breaks. It is often observed on stainless steel and aluminium alloys that spontaneously form a protective film.

Crevice corrosion: During the exploitation of metal structures, including steel structures, there may be the appearance of localized corrosion, which means the intense destruction in crevices (gaps). Crevices in structures are inevitable; they occur at connections of different parts which may be the same or different metals. Passive metals (corrosion resistant alloys, Al-alloys) have the greatest sensitivity to signs of corrosion in gaps.

Galvanic corrosion: Galvanic corrosion is the most evident form of localized attacks, where anodic and cathodic areas are clearly identified.

Filiform corrosion: Filiform corrosion can be found under organic coatings such as paints, due to penetration of moisture through the coated surface under specific temperature ($T \geq 30^\circ\text{C}$) and humidity conditions ($H_r \geq 85\%$).

Stress Corrosion Cracking and Corrosion-Fatigue: Unfortunately, these two dangerous localized corrosion mechanisms are often observed on airframes. Both produce cracks, different in shape and pattern, whose growth is caused by the synergetic action of a moderate corrosive environment and a mechanical stress: a static load (lower than the material's yield tensile stress) in the case of SCC, or a cyclic load in the case of corrosion-fatigue (lower than the material's fatigue limit).

Conclusion

In view of the variety of materials, environments and mechanical stresses, aviation is one of the areas where the widest range of types of corrosion is observed.

Because of the absence of uniform classification and nomenclature of corrosive processes, existing classifications are incomplete and inaccurate. The categorization of corrosive processes in this paper was done on the basis of the structural-electrochemical theory, according to which the driving force of an electrochemical corrosion process is the presence of heterogeneity on the metal surface. Depending on the nature and dimensions of this nonuniformity, three different categories of corrosion are defined: uniform, selective and localized corrosion.

Constantly expanding knowledge about the problems of corrosion, based on previous experiences and multidisciplinary approach to the design, as well as the development of non-destructive methods of analysis are essential for successfully confronting the economic and security challenges of aging aircraft.

Key words: corrosion, aircraft structure, uniform, selective, localized, stress corrosion, corrosion fatigue.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 21. 06. 2015.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы /
Manuscript corrections submitted on: 28. 07. 2015.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного
согласования работы / Paper accepted for publishing on: 30. 07. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs,
втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons
licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military
Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и
распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons"
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier
(www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the
terms and conditions of the Creative Commons Attribution license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ВОПРОСЫ МОДЕРНИЗАЦИИ КОРАБЛЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Сергей А. Аргунов,
Кандидат военных наук, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: asa@mnsspb.ru,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>

DOI: 10.5937/vojtehg64-9546

ОБЛАСТЬ: вооружение и военная техника
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: русский

Резюме:

В настоящее время одними из основных вопросов в кораблестроении определяющих скрытность сил флота, являются: уменьшение шумности, следности, заметности кораблей и подводных лодок, что в свою очередь, достигается применением при строительстве специальных материалов и сплавов, а также уменьшением их водоизмещения.

Большое внимание уделяется оснащению кораблей современными комплексами ракетного и артиллерийского вооружения, средствами ПВО (противовоздушной обороны) и РЭБ (радиоэлектронной борьбы) для решения широкого круга задач. Основным критерием боевого использования кораблей ВМФ становится их многофункциональность.

Ключевые слова: высокоточное оружие, Военно-морской флот, кораблестроение, противовоздушная оборона.

Введение

Сравнительный анализ мирового корабельного состава, за период первого десятилетия нового века, показывает, что одним из важнейших направлений развития флотов становится замена специа-

лизированных кораблей многоцелевыми с тем, чтобы меньшим составом можно было решать более широкий круг боевых задач (Мозговой, 2015).

В настоящее время перед военными моряками и проектантами боевых надводных кораблей и подводных лодок поставлены задачи значительного расширения возлагаемых на эти корабли функций. Помимо традиционных задач: борьба с надводными кораблями, подводными лодками, противовоздушная оборона, огневая поддержка сил высадки десанта – они должны осуществлять: уничтожение объектов противника в дальней морской и океанской зоне и при проведении операций сухопутными частями, поиск и уничтожение мин, наблюдение и патрулирование в экономической зоне, обеспечение охраны районов нефтедобычи и рыболовства, защиту судоходства, ведение поисково-спасательных работ, оказание помощи жертвам бедствий и другие миссии.

Основные направления кораблестроения в России

Учитывая современные требования по ограничению водоизмещения, стоимости постройки и эксплуатации кораблей, центральное место в решении задачи модернизации и восполнения корабельного состава Военно-морского флота России начинают занимать многоцелевые фрегаты и корветы (Шляхтенко, 2015).

Успешно несут службу и пополняют состав Военного морского флота России фрегаты: проекта 22350 типа «Адмирал Горшков» (Admiral Gorshkov class frigate), проекта 11356Р типа «Адмирал Григорович» (Admiral Grigorovich frigate).

Для ВМС Индии построено 6 фрегатов проекта 11356Э.

Корветы представлены в ВМФ России несколькими проектами, из них:

проект 20380 типа «Стерегущий» (Steregushchy class corvette), проект 11661 типа «Гепард» (Gepard class corvette).

Для ВМС Вьетнама построено 4 единицы корветов проекта 11661Э.

Возросла огневая мощь малых ракетных кораблей проекта 21631 типа «Буян-М» (Buyan-M class corvette), вооружённых новейшими крылатыми ракетами «Калибр» 3М14 и 3М54.

Тенденции дальнейшего развития и модернизации военно-морских флотов мира, приоритетные направления и достижения в кораблестроении наглядно просматриваются на регулярно проводимых международных выставках и Военно-морских салонах (Чирков, 2015).

Международный военно-морской салон МВМС-2015

В Санкт-Петербурге в павильонах выставочного комплекса, на открытых площадях, акватории Финского залива с 1 по 5 июля 2015 года прошёл очередной седьмой Международный военно-морской салон МВМС-2015 (IMDS-2015), на котором свои достижения в создании новейших разработок военно-морской техники и вооружения представили более 420 компаний из 27 стран.

Тематика Салона включала: кораблестроение и судостроение, оружие и вооружение, системы боевого управления, навигации и связи, энергетические установки, морскую авиацию, инфраструктуру обеспечения, новые технологии и перспективные материалы.

Формат и условия МВМС-2015 дали возможность познакомиться с образцами вооружения и техники на стендах разработчиков и производителей, посетить корабли, наблюдать за катерами и авиацией в действии, присутствовать при демонстрации морских артиллерийских систем, провести встречи с партнёрами, посетить ведущие предприятия судостроения, участвовать в переговорах, приёмах и широкой конгрессно-деловой программе.

Военно-морской флот России в "МВМС-2015" на выставке представляло свыше 10 боевых кораблей, катеров и судов обеспечения, ошвартованных у причалов специально для участия в Салоне.

Участникам Форума представилась возможность побывать на палубе корвета проекта 22380 «Стойкий», который является кораблём нового поколения, обладающим самым современным ракетным, противолодочным и артиллерийским вооружением. Надстройки и корпус этого корабля выполнены по технологии снижения радиолокационной заметности.

Представители СМИ смогли увидеть дизель-электрическую подводную лодку проекта 636 «Старый Оскол», построенную для Черноморского флота России. Благодаря уникальным характеристикам скрытности и малозумности, данные подводные лодки в мире получили наименование «чёрная дыра».

Посетители Салона побывали на борту новейшего корабля противоминной обороны проекта 12700 - тральщика «Александр Обухов», по своим конструктивным характеристикам, не имеющего аналогов в мире. Корпус этого корабля изготовлен методом вакуумной инфузии из композитных материалов.

Можно было посетить десантный корабль на воздушной подушке "Зубр" проекта 12322, противодиверсионный катер проекта 21980 «Грачонок».

Участникам впервые была предоставлена возможность смотреть новейший десантный катер на воздушной каверне типа «Дюгонь», который ранее нигде не экспонировался.

Были показаны: не имеющий аналогов в своем классе десантный катер «Серна», быстроходный катер «БЛ-820», патрульный катер проекта 03160 «Раптор».

Впервые журналисты и посетители увидели модульный многофункциональный катер поисково-спасательного обеспечения проекта 23370, который используются в ВМФ России для подготовки экипажей кораблей.

На многочисленных стендах и площадках в павильонах выставки были представлены макеты кораблей и судов, образцы вооружения и техники, системы управления и автоматики.

Экспозиции компаний формировались с учётом опыта лучших мировых салонов. Они отражали основные тенденции развития современного рынка ВМТ (военно-морской техники), ориентируя потенциальных заказчиков на приобретение наиболее перспективной продукции: подводных лодок, фрегатов, корветов, патрульных катеров, систем контроля прибрежной зоны и обороны побережья, военно-морских вооружений и боеприпасов, технических средств обучения специалистов и пр.

Всего в ходе МВМС-2015 гостям и участникам мероприятия было представлено более 200 образцов военно-морской техники («Рособоронэкспорт» на МВМС-2015, 2015).

Возможности применения высокоточного оружия кораблями флота

В последнее время в мире отмечается беспрецедентный всплеск террористической активности. Особенно характерно это для стран Ближнего востока и Северной Африки. Терроризм – общий враг всех стран, включая Россию и страны Европы. Взаимодействие государств в борьбе с таким глобальным и особо опасным явлением не только не прекращается, но и наоборот, становится всё более актуальным.

Россия выступает за комплексный подход к проблематике противодействия международному терроризму, которая не должна становиться заложником чьих-то геополитических интересов. Важную роль в противодействии глобальной террористической угрозе безусловно играют Арабские страны. В отличие от западных коллег, Россия считает, что при решении данной актуальнейшей проблемы нео-

бходим тесный контакт с ведущими региональными организациями – Лигой арабских государств (ЛАГ), Организацией исламского сотрудничества (ОИС), такими государствами, как Сирия и Иран.

30 сентября сего года президент Сирии Башар Асад обратился к России с просьбой оказать военную помощь в борьбе с боевиками «Исламского государства». В этот же день российская авиация начала бомбардировки позиций террористов в Сирии, нанося точечные удары по наземным целям боевиков «Исламского государства».

В ходе военной операции России в Сирии в ночь на 7 октября 2015 года из акватории Каспийского моря был произведён удар крылатыми ракетами «Калибр НК» (рис. – 1) по позициям «Исламского государства».



*Рис. 1 – Крылатая ракета 3М14 (SS-N-27 Sizzler)
Figure 1 – 3M14 cruise missile (SS-N-27 Sizzler)
Slika 1 – Krstareća raketa 3M14 (SS-N-27 Sizzler)*

Корабельная ударная группировка ВМФ России в составе ракетного корабля «Дагестан» (Gepard class corvette), выполнявшего флагманские функции, малых ракетных кораблей «Град Свяжск», «Углич», «Великий Устюг» (Buyan class corvette) произвела 26 пусков крылатых ракет по заводам по производству снарядов и взрывчатых устройств, командным пунктам, складам боеприпасов, вооружения и горюче-смазочных материалов, а также лагерям подготовки боевиков «Исламского государства». Стрельба была проведена корабельными комплексами высокоточного оружия «Калибр НК», крылатые ракеты 3М14 которого успешно и с большой точностью поразили все заданные цели на дистанции – почти 1500 км.

Ракеты пролетели над территорией двух стран, коридор над безлюдной местностью был согласован заранее (рис.–2). Точность поражения целей на дальней дистанции составила не более 3 метров. Жертв среди гражданского населения нет.



Рис. 2 – Траектория нанесения удара крылатыми ракетами 3М14 по исламским террористам

Figure 2 – Trajectory of 3M14 cruise missiles striking bases of Islamic terrorists
Slika 2 – Putanja navođenja krstarećih raketa 3M14 za pogađenje baze islamskih terorista

Полёт ракет проходил по заранее заложенному маршруту, в соответствии с данными разведки относительно положения цели и наличия средств противовоздушной обороны. Эти ракеты способны преодолевать зоны развитой системы ПВО противника, что обеспечивается предельно малыми высотами полёта и автономностью наведения в режиме «молчания», когда ракета до самого последнего момента не включает свою головку наведения и тем самым не раскрывает своего полёта для средств радиолокации противника.

По заявлениям военных специалистов морская версия ракет 3М14 может применяться на дальности до 2,6 тысяч километров.

Малые ракетные корабли проекта 21631 (класс Буян-М) с осадкой 2,6 метра (река-море) являются маневренной стартовой площадкой для пуска крылатых ракет, как с открытой акватории моря, так и с речных пунктов базирования (Официальный журнал «Национальная оборона», 2015).



Рис. 3 – Старт ракеты 3М14 ракетного комплекса "Калибр-НК" с корвета пр.11661К «Дагестан»

Figure 3 – Launch of the 3M14 missile complex "Caliber-NK" from Corvette pr.11661 K "Dagestan"

Slika 3 – Lansiranje rakete 3M14 raketnog kompleksa „Kalibar-NK“ sa korvete pr. 11661K „Dagestan“

Проект 11661 класс Гепард:

Основные характеристики:

Водоизмещение:	2 000 т
Длина:	103 м
Ширина:	13 м
Осадка:	3,6 м
Скорость хода:	29 узлов
Дальность плавания:	до 4 000 миль
Автономность плавания:	20 суток
Экипаж:	79-95 человек
Тактическое ударное вооружение:	1x8 УВП РК «Калибр НК»
Авиационная группа:	вертолёт.



Рис. 4 – Старт ракеты 3М14 ракетного комплекса "Калибр-НК" с МРК "Град Свяжск"
 Figure 4 – Launch of the 3M14 missile complex "Caliber-NK" from SMS "Grad Sviyazhsk"
 Slika 4 – Lansiranje rakete 3M14 raketnog kompleksa „Kalibar-NK“ sa MRB „Grad Svijažsk“

Малые ракетные корабли "Град Свяжск", "Углич", "Великий Устюг" проекта 21631

Проект 21631 класс Буюн-М:

Основные характеристики:

Водоизмещение:	1 000 т
Длина:	75 м
Ширина:	11 м
Осадка:	2,6 м
Скорость хода:	25узлов
Дальность плавания:	до 2500 миль
Автономность плавания:	12 суток
Экипаж:	29-36 человек
Тактическое ударное вооружение:	1x8 УВП РК «Калибр НК».

Заключение

Удар по террористам ИГИЛ силами Каспийской флотилии можно считать настоящей сенсацией. До сегодняшнего дня Российский Военно-морской флот ни разу не наносил, не то что массовых, но и единичных ударов по береговой инфраструктуре. Нигде и никогда не афишировалась сама возможность такого удара. Поэтому для многих наблюдателей поражение целей на территории Сирии из акватории Каспийского моря стало настоящей неожиданностью.

Проведённая операция со всей очевидностью подтвердила правильность выбранных приоритетов в направлении дальнейшего строительства корабельного состава и вооружения флотов для решения задач, стоящих перед ними, во имя государственных интересов, в том числе задач противодействия международному терроризму.

Литература / References

Мозговой, А. / Mozgovoy, A. 2015. Время «священных коров» уходит/The "sacred cows" out. *Ежемесячный журнал. Москва/Monthly Journal. Moscow*, стр. 86-92. ООО Издательский дом «Национальная оборона»/Moscow: LLC «Publishing house «National defense».

Официальный журнал «Национальная оборона»/Monthly Journal «National defense» 2015. Прибалтийский судостроительный завод «Янтарь»: 70 лет успешной работы/Shipyard «YANTAR»: 70 years of success. *Официальный журнал «Национальная оборона»/Monthly Journal «National defense»*, Москва: ООО Издательский дом «Национальная оборона» /Moscow: LLC Publishing house «National defense».

«Рособоронэкспорт» на МВМС-2015: Портфель заказов на российскую военноморскую технику/«Rosoboronexport» at IMDS-2015: Order portfolio for Russian naval engineering products, 2015. Санкт Петербург, Россия/St. Petersburg, Russia., стр. 2.

Чирков, В.В. / Chirkov, V.V. 2015. ВМФ России: Векторы развития/Russian navy Vectors of development. Санкт Петербург, Россия/St. Petersburg, Russia, стр. 3.

Шляхтенко, А.В. / Shlyakhtenko, A.V. 2015. Корветы: сегодня и завтра/Corvettes: Today and tomorrow. *Ежемесячный журнал. Москва/Monthly Journal. Moscow*, стр. 24-29. ООО Издательский дом «Национальная оборона»/LLC Publishing house «National defense».

PITANJA MODERNIZACIJE BRODOVA ZA PRIMENU ULTRAPRECIZNOG ORUŽJA U SAVREMENIM USLOVIMA

Sergej A. Argunov
Sankt-Peterburg, Rusija

OBLAST: naoružanje i vojna tehnika
VRSTA ČLANKA: stručni članak
JEZIK ČLANKA: ruski

Sažetak:

Najaktuelnija pitanja današnjice u oblasti brodogradnje, koja se odnose na sakrivanje tragova brodova ratne mornarice, usmerena su na: smanjenje buke, sakrivanje tragova, vidljivost brodova i podmornica, kao i smanjenje deplasmata. Svi ovi faktori postižu se zahvaljujući primeni odgovarajućih materijala i specijalnih legura u brodogradnji.

U rešavanju širokog dijapazona pitanja velika pažnja poklanja se opremanju brodova savremenim kompleksima raketnog i artiljerijskog naoružanja, sredstvima PVO (protivvazduhoplovna odbrana) i REB (radioelektronska borba). Multifunkcionalnost brodova ratne mornarice postaje osnovni kriterijum za njihovu bojevu primenu.

Ključne reči: ultraprecizno oružje, ratna mornarica, brodogradnja, protivvazduhoplovna odbrana.

MODERNIZATION OF SHIPS FOR LAUNCHING ULTRA-PRECISION WEAPONS IN THE CONDITIONS OF MODERN WARFARE

Sergey A. Argunov
St Petersburg, Russia

FIELD: Weapons and Military Technique
ARTICLE TYPE: Professional Paper
ARTICLE LANGUAGE: Russian

Summary:

The most modern shipbuilding issues concerning stealth technology in navy ships are focused on wake and acoustic signature reduction, reduction of visibility of ships and submarines as well as of their displacement. Special materials and alloys are used in shipbuilding for such purposes.

In solving a wide range of such issues, a special emphasis has been placed on equipping vessels with up-to-date missile and artillery systems, anti-aircraft defence systems and electronic warfare and radar systems. The multifunctionality of Navy vessels becomes the main criterion for their combat deployment.

Key words: ultra-precision weapons, navy, shipbuilding, anti-aircraft defence.

Дата получения работы / Paper received on / Datum prijema članka: 18. 11. 2015.

Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on / Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 16. 12. 2015.

Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on / Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 18. 12. 2015.

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuira se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



AEROTUNELSKA ISPITIVANJA AERODINAMIČKIH I BALISTIČKIH KARAKTERISTIKA PROTIVOKLOPNE AVIO-BOMBE

Zoran Đ. Novaković
Vojska Srbije, Vojnotehnički institut, Beograd
e-mail: novakoviczoca@gmail.com
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-7533-0149>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8352

OBLAST: mašinstvo, balistika, aerodinamika
VRSTA ČLANKA: stručni članak
JEZIK ČLANKA: srpski

Sažetak:

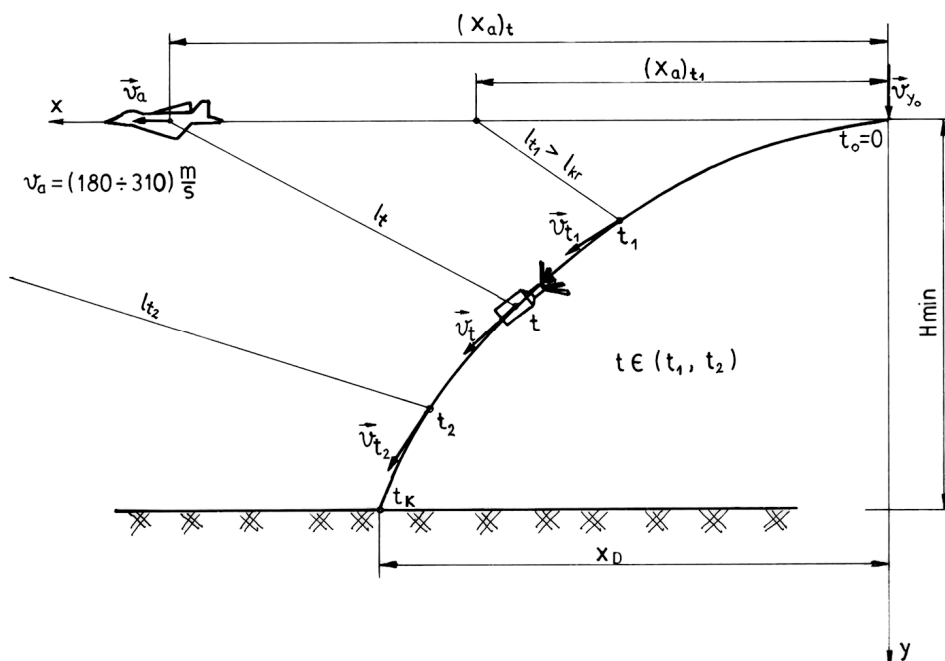
Aerotunelska ispitivanja protivoklopne avio-bombe (PTAB) se vrše se da bi se odredili aerodinamički koeficijenti u režimima podzvučnog i transoničnog strujanja. U istim režimima strujanja ispituje se i vreme armiranja mehanizma upaljača avio-bombe, koje direktno zavisi od uslova opstrujavanja protivoklopne avio-bombe. Krajnji cilj ispitivanja je definisanje pouzdane metode za određivanje vremena armiranja upaljača u aero-tunelu, čime se isključuju skupa letna ispitivanja. Za potvrdu metode predviđena je i verifikacija istih karakteristika protivoklopne avio-bombe u realnim letnim uslovima, nakon aerotunelskih ispitivanja.

Ključne reči: vazduhoplovno naoružanje, avio-bombe, upaljači, vreme armiranja upaljača, aerodinamika, aerotunelska ispitivanja.

Uvod

Sve veća efikasnost sistema PVO nameće avionu koji napada cilj da, zbog svoje sopstvene bezbednosti, to izvede iz brišućeg leta (sa što je moguće manje visine) i što je moguće većom brzinom napusti rejon cilja. To, sa druge strane, nameće i dodatne zahteve pred vazduhoplovno naoružanje, avio-bombe, koje u tom slučaju moraju biti kočene na svojoj balističkoj putanji, a njihov upaljač daljinski (vremenski) armiran, kako eksplozija avio-bombe kao slučajan – neželjen događaj na putanji ili eksplozija na cilju ne bi ugrozila sopstveni avion.

ZAHVALNICA: Autor se zahvaljuje kolegi dr Nikoli Zniću dipl. inž., bivšem učesniku na ovom zadatku, na saradnji i nizu korisnih sugestija, naročito na deo teksta koji se odnosi na merenja u aero-tunelu i obradu rezultata ispitivanja.



Slika 1 – Grafički prikaz međusobnog rastojanja aviona i avio-bombe

Рис. 1 – Графическое изображение расстояния между самолетом и авиабombой
 Figure 1– Graphical illustration of a mutual position of an aircraft and an anti-armor bomb

Aerotunelska ispitivanja protivoklopne avio-bombe (PTAB) prethode letnim ispitivanjima sa ciljem da potvrde projektovane balističke karakteristike i vreme armiranja upaljača ili da se izvrše eventualne korekcije na svim uzorcima ovih avio-bombi pre skupih letnih ispitivanja prototipske partije iz domaćeg razvoja. Prethodni proračuni balističkih putanja protivoklopne avio-bombe, sa projektovanim aerodinamičkim koeficijentima, a sa usvojenom minimalnom visinom horizontalnog brišućeg leta, H_{min} i dijapazonom brzina bombardovanja $v_a=(6501-100)$ km/h, za dati tip letelice, pokazuju međusobni položaj aviona i avio-bombe na njenoj balističkoj putanji, što je prikazano na sl. 1. Mehanizam za impulsno odbacivanje na avionu u trenutku $t_0=0$, saopštava avio-bombama na izlasku iz potkrilne kasete početnu vertikalnu brzinu v_{y0} , koje tom brzinom izleću u horizontalnu vazдушnu struju (brzina aviona v_a), čime se startuje okretanje vetruške mehanizma za armiranje upaljača. Kada vetruška postigne odgovarajući broj obrtaja (graničnu ugaonu brzinu), tada se centrifugalni osigurači, razmešteni po obodu vetruške, razmiču i omogućavaju armiranje upaljača. Krilca stabilizatora, nakon izletanja avio-bombe iz kasete, trenutno se otvaraju i stabilišu avio-bombu na njenoj balističkoj putanji.

Prihvatljiv trenutak kada upaljač treba da završi armiranje je u intervalu vremena (t_1 , t_2), mereno od trenutka pritiska bojevog dugmeta iz kabine pilota. Vreme t_1 se određuje se iz kriterijuma minimalnog bezbednog rastojanja – l_{kr} aviona od avio-bombe, (Savezni sekretarijat za narodnu odbranu, 1988), a vreme t_2 iz uslova pravovremenog armiranja upaljača, tj. pre udara avio-bombe u prepreku, odnosno cilj. Upaljač protivoklopne avio-bombe je inercioni, sa prekidom inicijalnog lanca, daljinskim – vremenskim armiranjem i samolikvidacijom. Trenutak kada upaljač treba da završi armiranje t je zbirno vreme dešavanja diktiranog niza događaja: vreme odrade releja instalacije na avionu nakon pritiska bojevog dugmeta – T_1 , vreme odrade mehanizma za impulsno izbacivanje avio-bombi – T_2 , vreme odrade mehanizma za armiranje – T_3 , vreme zauzimanja pozicije inercionog udarnika iznad detonatorske kapisle u upaljaču avio-bombe – T_4 . Vremena T_1 , T_2 , i T_4 su reda veličine milisekunde, dok je vreme T_3 reda veličine sekunde.

$$t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad T_3 \approx T_1, \quad T_3 \approx T_2, \quad T_3 \approx T_4, \quad T_3 - \text{dominantno vreme,}$$

Zbog drastične razlike u redu veličina može se u prvoj približnosti usvojiti da je:

$$t \approx T_3, \quad t \in (t_1, t_2).$$

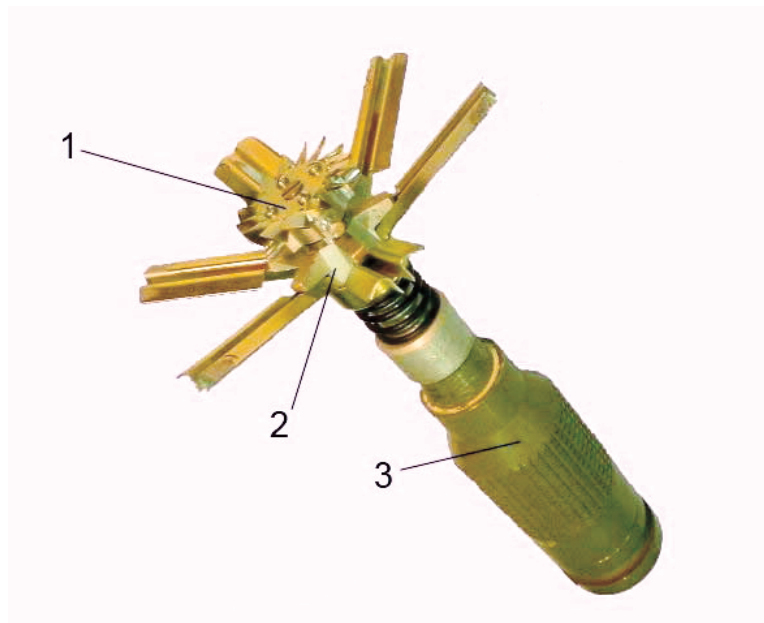
Aerotunelska ispitivanja sprovode se na modelu protivoklopne avio-bombe, koji je aerodinamički i geometrijski sličan originalu i istovremeno prilagođen za dve vrste aerotunelskih ispitivanja:

1. Merenje aerodinamičkih sila i momenata tenzometrijskom aero-vagom na konfiguraciji modela bez vetruške mehanizma za armiranje (sl.3),
2. Merenje broja obrtaja n , odnosno vremena T_3 , od trenutka deblokiranja vetruške (tj. od trenutka kada je u aero-tunelu postignut željeni Mahov broj) do spadanja vetruške (sl.4).

Obe vrste aerotunelskih ispitivanja se sprovode se za karakteristične vrednosti Mahovih brojeva 0,6, 0,7, 0,8 i 0,9 što pokriva interval brzina (180–310) m/s aviona pri bombardovanju (Etkin, 1964).

Opis test modela

Model protivoklopne avio-bombe za aerotunelska ispitivanja je geometrijski i aerodinamički sličan originalu, u razmeri 1:1. Model je prilagođen uslovima ispitivanja na repnom držaču i prihvatnu za ABLE MK XXV 1 aerovagu (Anastasijević, et al, 2001). Protivoklopna avio-bomba ima cilindrično telo sa ravnom čeonom površinom. Po obodu svog zadnjeg dela avio-bomba ima šest sklapajućih, simetrično raspoređenih krilaca koja čine stabilizator (2), sl.2, a iza čega se nalazi slobodno rotirajuća vetruška (1).



Slika 2 – Test model PTAB (spoljni izgled): 1 – vetruška sa centrifugalnim osiguračima, 2 – stabilizator sa sklapanjućim krilcima, 3 – telo bombe

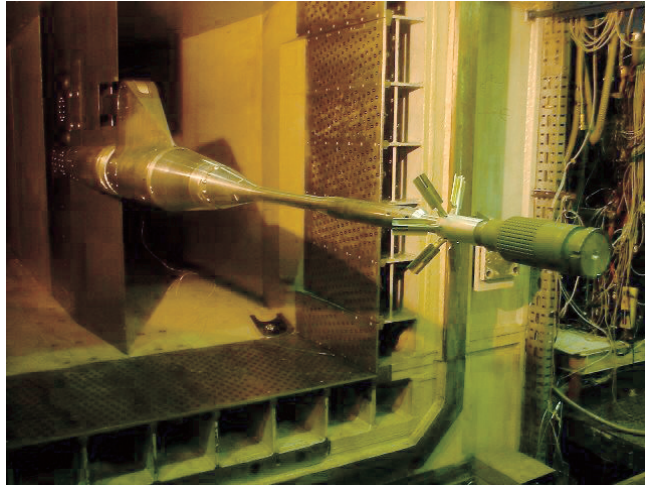
Рис. 2 – Тестовая модель ПТАБ (внешний вид): 1 – крыльчатка с центребрежными предохранителями, 2 – стабилизатор со складывающимися лопастями, корпус бомбы

Figure 2 – PTAB Test Model (exterior sideview): 1 – arming vane with centrifugal safety pins, 2 – stabilizer tail unit with folding fins, 3 – bomb body

Centrifugalni osigurači, radijalno raspoređeni po obodu vetruške, razmiču se pri graničnom broju obrtaja kada se vetruška odvaja, te na taj način omogućava uspostavljanje inicijalnog lanca, odnosno armiranje upaljača.

Način merenja i obrada podataka

Merenje aerodinamičkih sila i momenata i vremena reakcije mehanizma za armiranje je sprovedeno je u trisoničnom aero-tunelu T-38 Vojnotehničkog instituta Vojske Srbije (Samardžić, et al, 2014). Aerodinamičke sile i momenti su mereni su ABLE-ovom tenzometrijskom šestokomponentnom aero-vagom na pravom stingu (sl.3), bez korekcije otpora baze modela. Osim aksijalne komponente vage merene su normalna komponenta, bočna sila, moment propinjanja, moment skretanja i moment valjanja, što se uslovima testa nije tražilo, a što je predstavljeno u obliku aerodinamičkih koeficijenata u tabeli 1 i tabeli 2, u funkciji napadnog ugla.



Slika 3 – Test model PTAB na pravom stingu
 Рус. 3 – Тестовая модель ПТАБ на прямой державке
 Figure 3 – PTAB test model on a straight sting

Merenje balističkih funkcionalnih karakteristika (T_3 , n) je sprovedeno je na lomljenom stingu (sl.4), sa uglom pregiba od 15 stepeni. Oba eksperimenta obavljena su u transoničnom radnom delu aero-tunela T-38, pri brzini strujanja koja približno odgovara Mahovim brojevima $M=0,6\div 0,9$. Prikupljanje podataka je obavljeno je sistemom za akviziciju TELEDYNE sa računarom PDP 11/34. Obrada podataka izvršena je standardnim softverskim paketom za obradu APS, računarom VAX 11/780.

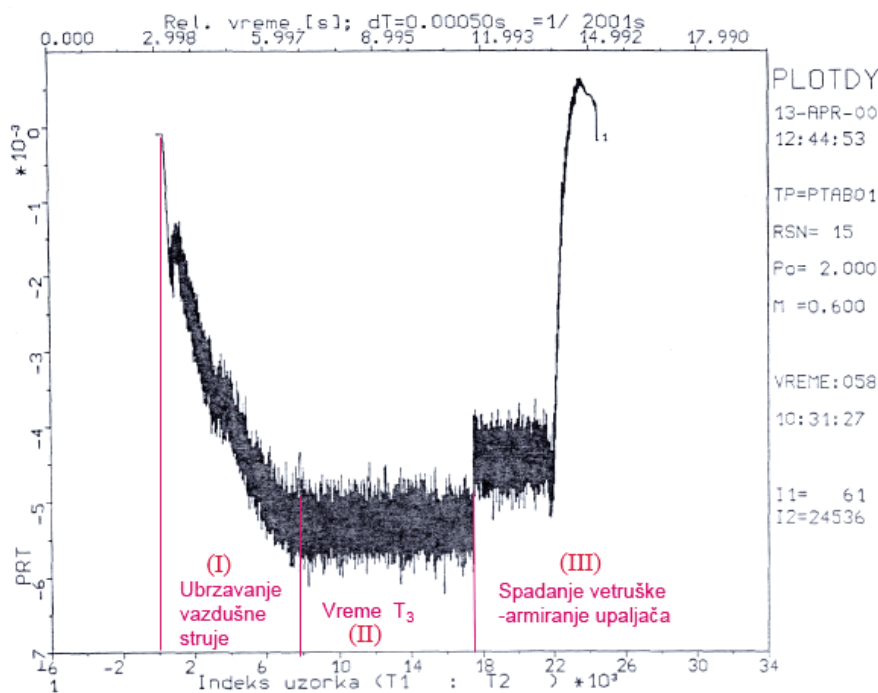


Slika 4 – Test model PTAB na lomljenom stingu
 Рус. 4 – Тестовая модель ПТАБ на кривой державке
 Figure 4 – PTAB test model on a broken sting

Radi merenja broja obrtaja i vremena odvajanja vetruške, na telo avio-bombe ugrađena je cevčica čiji se završetak nalazi ispod rotirajuće vetruške, iznad koje preleću grebenovi četiri centrifugalna osigurača. Cevčica registruje preletanje grebenova (rotaciju vetruške) kao učestanost promene pritiska, odnosno registruje trenutak odvajanja vetruške kao skokovitu promenu srednje vrednosti pritiska preko posebnog diferencijalnog davača pritiska PRT ugrađenog u telo avio-bombe (sl. 5).

Davač je filtriran digitalnim filtrom od 1000 Hz zbog očekivanog broja obrtaja ustanovljenog bez duvanja u aero-tunelu (3000 min^{-1}). Za ostvarenu brzinu strujanja od 200 m/s , koja približno odgovara $M=0,6$, dobijena je dominantna učestanost $f=190\text{Hz}$, koja sa brojem grebenova vetruške $N=4$ daje broj obrtaja vetruške n :

$$n=f/N, \text{ tj. } n=(190/4)\times 60=2850 \text{ min}^{-1}.$$



Slika 5 – Dijagram učestanosti promene pritiska

(I) - Airflow acceleration, (II) - T_3 time, (III) - arming vane separation (fuze arming)

Рис. 5 – Диаграмма изменений давления

(I) - Airflow acceleration, (II) - T_3 time, (III) - arming vane separation (fuze arming)

Figure 5 – Diagram of Pressure Changing Frequency

(I) - Airflow acceleration, (II) - T_3 time, (III) - arming vane separation (fuze arming)

Rezultati ispitivanja

Merenja aerodinamičkom vagom su pokazala su neočekivano veliki koeficijent otpora ($C_x=4,41$, Tabela 1), što je posledica otpora krilaca stabilizatora. Uloga krilaca stabilizatora je da uspore avio-bombu (smanje njenu brzinu i stabilišu je na putanji), odnosno zadrže je u odnosu na avion. Da bi se potvrdio uticaj otpora stabilizatora pristupilo se merenju aerodinamičkih koeficijenata nakon demontiranja krilaca stabilizatora sa modela i ispitivanjem blunt body konfiguracije. Pri tome se dobio očekivani koeficijent otpora ($C_x=0,79$, Tabela 2), kao u referentnim aero-tunelima u svetu (Hoerner, 1965), (Finck, 1978).

Tabela 1 – Ispitivanje protivoklopne avio-bombe u aero-tunelu T38
Таблица 1 – Испытания противотанковой авиабомбы в аэродинамической трубе Т38
Table 1 – Wind tunnel testing of anti-armor bomb

Aero-tunel T-38 Wind Tunnel T-38								
ISPITIVANJE PROTIVOKLOPNE AVIO-BOMBE U AERO-TUNELU T38 WIND TUNNEL TESTING OF ANTI-ARMOR BOMB								
Ispitivanje PTAB01 PTAB01 Testing	Duvanje broj: 2 Sequence number of blowing: 2		Datum 12. APR. 00					
Konfiguracija modela: kompletan model - Complete Model								
i	ALF A	M	C _x	C _y	C _z	Cl	C _m	C _n
1	-0.12	0.603	4.4049	0.029	-0.015	-0.0031	0.083	-0.0950
2	1.92	0.603	4.3538	0.010	0.184	-0.0134	-1.181	-0.1986
3	3.95	0.604	4.3883	0.105	0.247	-0.0093	-1.827	-0.0018
4	5.97	0.603	4.4299	0.116	0.223	-0.0158	-2.122	-0.0484
5	8.01	0.603	4.4847	0.120	0.210	-0.0277	-2.305	-0.0743
6	10.05	0.603	4.5498	0.125	0.195	-0.0286	-2.488	-0.0695

i – indeks napadnog ugla (angle of attack index)

ALFA – napadni ugao (angle of attack)

M – Mahov broj (Mach number)

C_x – koeficijent sile otpora (drag force coefficient)

C_y – koeficijent bočne sile (side force coefficient)

C_z – koeficijent sile uzgona (lift force coefficient)

Cl – koeficijent momenta valjanja (rolling moment coefficient)

C_m – koeficijent momenta propinjanja (pitching moment coefficient)

C_n – koeficijent momenta skretanja (yawing moment coefficient)

Tabela 2 – Ispitivanje protivoklopne avio-bombe u aero-tunelu T38
Таблица 2 – Испытания противотанковой авиабомбы в аэродинамической трубе Т38
Table 2 – Wind tunnel T-38 testing of anti-armor bomb

Aerotunel T-38								
Wind Tunnel T-38								
ISPITIVANJE PROTIVOKLOPNE AVIO-BOMBE U AERO-TUNELU T38								
WIND TUNNEL TESTING OF ANTI-ARMOR BOMB								
Ispitivanje PTAB01 PTAB01 Testing	Duvanje broj: 3 Sequence number of blowing: 3		Datum 12. APR. 00					
Konfiguracija modela: čisto telo - Blunt Body Model								
i	ALF A	M	Cx	Cy	Cz	Cl	Cm	Cn
1	-0.08	0.298	0.7723	0.047	0.023	0.0023	0.026	0.0150
2	1.94	0.298	0.7753	0.052	0.015	0.0030	-0.013	0.0107
3	3.95	0.298	0.7933	0.087	0.015	0.0036	-0.012	0.0172
4	5.95	0.298	0.8139	0.081	0.011	0.0044	0.023	0.0179
5	7.95	0.296	0.8515	0.049	0.043	0.045	0.041	0.0164
6	9.95	0.296	0.8818	0.037	0.084	0.0044	0.062	0.0167

i – indeks napadnog ugla (angle of attack index)

ALFA – napadni ugao (angle of attack)

M – Mahov broj (Mach number)

Cx – koeficijent sile otpora (drag force coefficient)

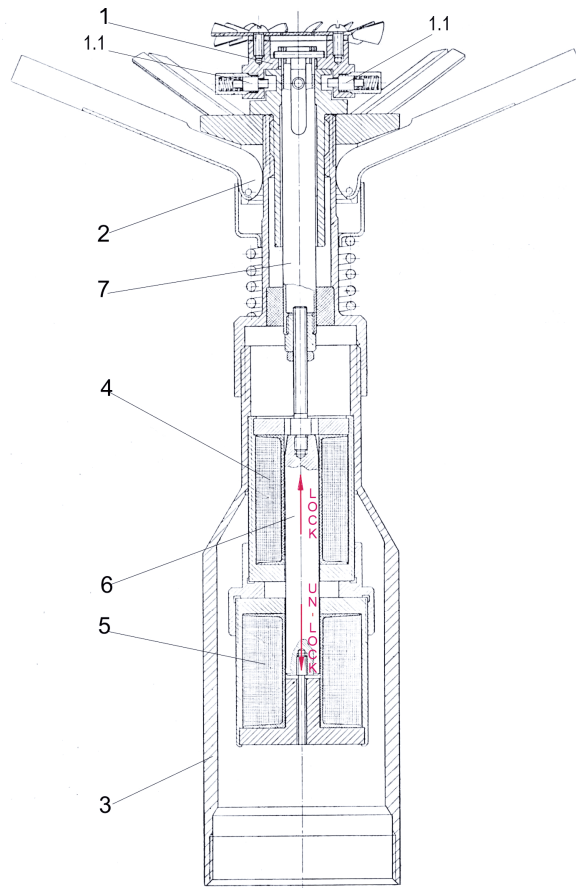
Cy – koeficijent bočne sile (side force coefficient)

Cz – koeficijent sile uzgona (lift force coefficient)

Cl – koeficijent momenta valjanja (rolling moment coefficient)

Cm – koeficijent momenta propinjanja (pitching moment coefficient)

Cn – koeficijent momenta skretanja (yawing moment coefficient)



Slika 6 – Rekonstruisani test model PTAB (poprečni presek): 1 – vetruška, 1.1 – centrifugalni osigurači, 2 – stabilizator sa sklapanjućim krilcima, 3 – telo bombe, 4 – elektromagnet I, 5 – elektromagnet II, 6 – kotva, 7 – viljuška

Рис. 6 – Реконструированная модель ПТАБ (поперечное сечение): 1 – крыльчатка, 1.1 - центробежные предохранители, 2- стабилизатор со складывающимися лопастями, 3 – корпус бомбы, 4 – электромагнит I, электромагнит II, съёмник,

Figure 6 – Redesigned PTAB Test Model (cross-section): 1 – arming vane, 1.1 – centrifugal safety pins, 2 – stabilizer tail unit with folding fins, 3 – bomb body, 4 – electro-magnet I, 5 – electro-magnet II, 6 – lifter, 7 – locking fork 7 – вилка-предохранитель

Izmereno vreme T_3 od 10s nije odgovaralo očekivanom vremenu zbog dva razloga:

1. ubrzanje vazdušne struje do postizanja željenog Mahovog broja u aero-tunelu, odnosno rotiranje vetruške u tom periodu ne odgovara realnim uslovima upotrebe avio-bombe. U realnim uslovima, nakon izbacivanja avio-bombe iz potkrilne kasete aviona, vetruška trenutno upada u vazдушnu struju koja odgovara brzini aviona (željeni Mahov broj u aero-tunelu),

2. konstruktivna karakteristika mehanizma za armiranje ne dozvoljava višekratnu upotrebu, što se nije moglo izbeći u ispitivanjima, jer je jedna te ista vetruška korišćena za više duvanja.

Zbog toga se pristupilo rekonstrukciji modela i ponavljanju eksperimenta, odnosno obezbeđen je dovoljan broj uzoraka mehanizma za armiranje za svako duvanje ponaosob. Rekonstrukcija modela izvedena je tako da obezbedi mirovanje vetruške do trenutka postizanja željenog pritiska duvanja, tj. Mahovog broja u aero-tunelu. Kako je avio-bomba delaborisana, to je njen unutrašnji prostor iskorišćen za smeštaj elektromagneta (I i II), (sl.6), koji pomoću svoje kotve (6) i viljuške (7), blokiraju/deblokiraju okretanje vetruške (1). Elektromagnet I preko kotve i viljuške drži blokiranu vetrušku za vreme ubrzavanja vazdušne struje u aero-tunelu do trenutka kada se postigne željeni Mahov broj. Tada elektromagnet I prestaje da deluje, a elektromagnet II povlači kotvu, odnosno viljušku i deblokira vetrušku, tako da ona startuje sa obrtanjem pri željenom Mahovom broju, a što odgovara realnim uslovima upotrebe.

Zaključak

Predstoji ponovno ispitivanje u aero-tunelu sa ovako rekonstruisanim modelom, kada će za sva aerotunelska ispitivanja biti obezbeđen dovoljan broj uzoraka novih mehanizama za armiranje. Krajnji cilj ovih ispitivanja je dobijanje krive zavisnosti broja obrtaja vetruške od brzine opstrujavanja avio-bombe (željenog Mahovog broja). Ako rezultati ispitivanja u aero-tunelu sa rekonstruisanim test-modelom avio-bombe budu potvrđeni rezultatima letnih ispitivanja sa realnim avio-bombama, ovaj način ispitivanja u aero-tunelu može se usvojiti kao pouzdana metoda za određivanje vremena armiranja ove vrste upaljača, čime se zamenjuju skupa letna ispitivanja.

Literatura

Anastasijević, Z., Marinkovski, D., & Samardžić, M. 2001. *Merenje aerodinamičkih derivativa stabilnosti u aerotunelima*. Kumulativna naučnotehnička informacija. Preuzeto sa <http://www.vti/VANTIS/nti/nti/nti/01-3.htm>

Etkin, B. 1964. *Dinamika poleta*. Moskva: Masinstroenie.

Finck, R.D.(1978). *USAF Stability and Control Datacom, Final Report, AFWAL-TR-83-3048*. April. Preuzeto sa <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADB072483>.

Hoerner, S.F.(1965). *FLUID-Dynamic Drag*. Preuzeto sa <http://www.greenbookee.net/hoerner-1965-fluid-dynamic-drag/>

Samardžić, M., Anastasijević, Z., Marinkovski, D., Ćurčić, D., & Isaković, J. 2014. External Six-Component Strain Gauge Balance for Low Speed Wind Tunnels. *Scientific Technical Review*, 64(3), str. 40-46. Preuzeto sa www.vti.mod.gov.rs/ntp/index.htm.

Savezni sekretarijat za narodnu odbranu SFRJ. 1988. *Borbena upotreba vazduhoplovnih sredstava pri dejstvu po ciljevima na kopnu i moru, knjiga I*.

ИСПЫТАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И БАЛЛИСТИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТИВОТАНКОВЫХ АВИАБОМБ
В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Зоран Дж. Новакович
ВСРС, Военно-технический институт, г. Белград

ОБЛАСТЬ: машиностроение, баллистика, аэродинамика
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

Испытания в аэродинамической трубе противотанковых авиабомб (ПТАБ) проводятся с целью определения аэродинамического коэффициента в режиме дозвукового и околозвукового течения.

В тех же режимах течения проходят и испытания необходимого времени для срабатывания механизма зажигания авиабомбы, которое зависит от условий обтекания противотанковой авиабомбы.

Конечной целью данных испытаний является разработка точных методов определения времени срабатывания механизма зажигания в аэродинамической трубе, так как их применение позволит существенно снизить расходы, за счет исключения дорогостоящих летных испытаний.

Проверка соответствия примененного метода и характеристик противотанковой авиабомбы будет проведена в реальных летных условиях, после проведения испытаний в аэродинамической трубе.

Ключевые слова: военно-воздушное вооружение; авиабомбы; механизм зажигания; время срабатывания механизма зажигания; аэродинамика; испытания в аэродинамической трубе.

WIND TUNNEL TESTING OF THE AERODYNAMIC AND BALLISTIC
CHARACTERISTICS OF THE AIRCRAFT ANTI-ARMOR BOMB

Zoran Đ. Novaković
Army of Serbia, Military Technical Institute, Belgrade

FIELD: Mechanical Engineering, Ballistics, Aerodynamics
ARTICLE TYPE: Professional Paper
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Abstract:

Wind tunnel testing of an aircraft anti-armor bomb (PTAB) is performed to determine its aerodynamic coefficients at subsonic and transonic flow regimes. In the same regimes, the fuze mechanism

arming time is tested, directly depending on the local flow field around the anti-armor bomb. The objective of this investigation is to define a reliable method of determining the fuze mechanism arming time. A verification of the same characteristics of the anti-armor bomb in real flight conditions will be taken into consideration to approve the method after wind tunnel testing.

Introduction

Growing efficiency of air defense systems imposes on attacking aircraft to perform attacks at low altitude (at as low altitude as possible) and to leave the target area as fast as possible. This, in turn, imposes additional demands on aircraft weapons (bombs) which have to be slowed on their ballistic path with remote/temporal armed fuzes in order to avoid endangering aircraft by accidental bomb explosion on its ballistic path or bomb explosion on the target.

Wind tunnel testing of anti-armor bombs precedes flight testing in order to approve designed ballistic characteristics and fuze arming time or to make some potential corrections on all samples of anti-armor bombs of a nationally produced prototype lot, before expensive flight testing. Preceding bomb ballistic paths calculations that include the designed aerodynamic coefficients and the adopted aircraft low level flight minimum altitude - H_{min} with a speed bombing range of $v_a=(650 /1100)km/h$ for the given type of aircraft show a mutual position of the aircraft and the anti-armor bomb (Fig. 1.). The impulse rejecting mechanism deliver to the bomb the orthogonal starting velocity v_{yo} to the horizontal airstream (aircraft velocity v_a). The bomb sweeps out from the container into the horizontal airstream which causes the rotation of the fuze arming mechanism vane, while body tail fins are deployed instantly to stabilize and slow the bomb along its ballistic path.

The fuze arming time measured from the instant when the pilot triggers the button is acceptable within the interval (t_1, t_2) . The time t_1 is determined by the criteria of the critical distance l_{kr} , from the aircraft to the bomb (Savezni sekretarijat za..., 1988.) at the instant of fuze arming). The time t_2 is determined from the condition of timely fuze arming, i. e. before the bomb impacts the target. The anti-armor bomb fuze is a percussion type of the fuze with initial chain interruption, remote-temporal arming and self destruction. The fuze arming time is a cumulative time of a defined chain of events (aircraft electrical installation relays the execution time- T_1 , impulse rejecting mechanism the execution time- T_2 , fuze arming mechanism the execution time- T_3 , fuze firing pin above percussion primer relocation the execution time - T_4).

The T_1 , T_2 , and T_4 times are in milliseconds, while T_3 is in seconds. Since there is a significant difference in time orders of magnitude, it could be adopted

$$t \approx T_3.$$

The wind tunnel test model geometric and aerodynamic characteristics are similar to the original object. Also, the model is modified for two kinds of wind tunnel testing:

1. Tensiometric sting-balance measuring of aerodynamic forces and moments of the test bomb model configuration without the arming vane mechanism, (Fig. 3),

2. T_3 - time determination: The arming mechanism vane number of revolutions measured from the instant of the vane unlock (a moment when the wind tunnel achieves the desired Mach number) to the instant of the vane separation from the tail stabilizer tail unit, (Fig. 4).

Both tests are performed with characteristic Mach numbers: 0.6, 0.7, 0.8, and 0.9, which covers the interval of aircraft motion speed (180 / 310) m/s, (Etkin, 1964).

Test Model Description

The anti-armor bomb model with its own aerodynamic and geometric characteristics corresponds to the original, in scale 1:1. The bomb model is modified to be integrated with the ABLE MK XXV 1 sting-balance (Anastasijević, et al, 2001.). The anti-armor bomb body is of a cylindrical shape with a front flat surface. The bomb tail unit comprises six radial folding fins located peripherally (Fig. 2), and the arming vane mechanism on the back side.

Four centrifugal safety pins radially located on the arming vane peripheral side are pulled out (at the critical number of revolutions when the arming vane is separated) to enable the initial chain set up i.e. fuze arming.

Testing Description and Data Processing

The measuring of aerodynamic forces and moments as well as the arming mechanism execution time- T_3 was performed in the Trisonic Wind Tunnel T-38 MTI SA. Aerodynamic forces and moments were measured on the ABLE tensiometric six-component sting-balance on a straight sting, (Fig. 3) without test model base drag correction (Samardžić, et al, 2014.). In addition to the axial force component of the sting-balance, other characteristics (vertical force component, lateral force, pitching moment, yawing moment, rolling moment) were measured, which was not a requirement of the test. All characteristics are presented in a form of aerodynamic coefficients as a function of the angle of attack, Table 1 and Table 2.

Measuring ballistic functional characteristics (T_3 , n) was performed on a broken sting (Fig. 4) with a set-up angle of 15° . Both experiments were performed in the transonic working sector of the wind tunnel T-38 wind tunnel, with airflow speeds corresponding to Mach numbers from 0.6 to 0.9. Data collecting was accomplished by the TELEDYNE acquisition system. Data processing was performed using the APS data processing software package.

The tubule is installed onto the bomb body in order to verify the arming vane number of revolutions and the arming vane separation time (T_3). Its one end is located close to the rotating arming vane over which top four reefs of centrifugal safety pins are run. The tubule records the reefs run over (rotation of the arming vane) as a frequency of the air pressure changing, and records the instant of the arming vane separation as an abrupt change of an average pressure amount by means of a differential pressure transducer (PRT) installed into the bomb body (Fig. 5). Since the expected arming vane number of revolutions is 3000 r.p.m., the transducer signal is filtered by a 1000Hz digital filter. At a wind tunnel airflow speed of 200 m/s, with the equivalent Mach number of $M=0.6$, the dominant frequency $f=190$ Hz is obtained. Taking into consideration the number of arming vane reefs $N=4$, the number of arming vane revolutions is obtained:

$$n=2850 \text{ min}^{-1}$$

Test Results

The sting-balance measurements showed an unexpectedly large drag coefficient ($C_x=4.41$, Table 1), due to the deployed stabilizer fins. The role of stabilizer fins is to slow down the bomb (to decrease its speed and stabilize it on its ballistic path), and to retard it with relation to the aircraft. In order to confirm the drag influence of stabilizer fins, measurements were repeated with the blunt body configuration after folding fins subassembly dismantling the folding fins subassembly. The result was the expected drag coefficient ($C_x=0.79$, Table 2) as the referent wind tunnels achieved world-wide, (Hoerner, 1965), (Finck, 1978).

The measured time of approximately 10s did not correspond to the expected arming mechanism reaction time for two reasons:

1. Airflow acceleration to the desired Mach number in the wind tunnel, i.e. arming vane rotation during this time does not correspond to the real usage of the anti-armor bomb. The arming mechanism vane falls into the aircraft speed horizontal airflow (the desired Mach number in the wind tunnel) instantly in the real flight conditions.

2. Arming vane mechanism design characteristic does not permit multiple usage, which could not be avoided in testing because one and the same mechanism was used many times.

For these reasons, the bomb test model and the experiment were redesigned. A sufficient number of samples of the arming mechanism vane were provided for each individual wind tunnel blowing. The bomb model redesign was performed in a way to prevent the arming mechanism vane from rotating until the blow pressure and the Mach number achieve desired values in the wind tunnel. Since the bomb body was discharged, the interior bomb body room was used to accommodate electro magnets I and II, (Fig. 6) which lock/unlock the arming mechanism vane by its lifter (6) and locking fork (7). Electro magnet I locks the arming vane mechanism during airflow

acceleration in the wind tunnel. At the instant of a wind tunnel airflow desired Mach number, Electro magnet I releases the locking fork while Electro magnet II pulls the locking fork back in order to unlock the arming vane mechanism. The arming mechanism vane starts to rotate at a desired Mach number (aircraft speed) which corresponds to real conditions of the anti-armor bomb usage.

Conclusion

New wind tunnel tests with a redesigned bomb test model are upcoming after providing an adequate number of arming mechanism vanes. The objective of these wind tunnel tests is obtaining a curve of the arming mechanism vane number of revolutions depending on the surrounding flow speed around the redesigned bomb test model. If the results of wind tunnel tests (with the redesigned bomb test model) are confirmed with the results of flight testing (with an actual anti-armor bomb), this wind tunnel testing could be accepted as a reliable method of fuze arming mechanism time determination of this kind of a bomb fuze. This wind tunnel testing will replace the expensive flight testing.

Key words: aircraft armament; bombs; fuzes; fuze arming time; aerodynamic coefficients; wind tunnel tests.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 26. 05. 2015.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 12. 06. 2015.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 14. 06. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirano se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



МЕРЕЊЕ БУКЕ И ВИБРАЦИЈА У КАБИНИ ХЕЛИКОПТЕРА Ми-8

Ивица С. Стојановић

Војска Србије, 3. батаљон везе, Ниш

e-mail: s.ivica74@yahoo.com

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-3286-1046>

DOI: 10.5937/vojtehg64-7714

ОБЛАСТ: заштита од буке и вибрација

ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: српски

Сажетак:

Бука и вибрације представљају један од основних негативних елемената радне средине. Циљ овог истраживања био је да се мерењем утврди величина тог утицаја на пилота и чланове посаде хеликоптера. Добијени резултати упоређени су са упозоравајућим и граничним вредностима које су одређене постојећим директивама Европске комисије из области буке и вибрација. Упоредивањем резултата дошло се до закључка да су измерене вредности неприхватљиве са аспекта безбедности и здравља на раду и да премашују дозвољене. Мерењима је утврђено да постоји опасност од појаве професионалних обољења код чланова посаде и да је потребно предузимати мере за смањење штетног утицаја буке и вибрација на људство у хеликоптеру.

Кључне речи: *хеликоптер, директива, вибрације, бука, мерење.*

Увод

Бука и вибрације су саставни део свакодневног живота и део човековог окружења. Јављају се као пратилац многих животних активности, а њихово присуство је евидентно у готово свим сферама.

Предмет овог истраживања је сагледавање нивоа буке и вибрација које се стварају у кабини хеликоптера Ми-8 и утичу на посаду. Циљ истраживања је да се дође до резултата који ће показати да ли бука и вибрације у кабини хеликоптера прелазе дозвољене границе задате стандардима, да се завршна анализа поткрепи резултатима мерења и укаже на штетан утицај буке и вибрација на организам човека.

За мерења је одабран хеликоптер Ми-8 с обзиром на то да је овај тип хеликоптера најзаступљенији у Војсци Србије из категорије тзв. средњетешких хеликоптера и да се на њему обавља велики број сати лета. За потребе истраживања вршена су мерења буке и ви-

брација у кабини хеликоптера ради утврђивања да ли је погонски део хеликоптера извор негативног утицаја буке и вибрација у односу на пилоте и колики је тај утицај.

За оцену стања нивоа буке процену њеног штетног дејства на човека и предузимање најадекватнијих метода за смањење буке неопходно је располагати што потпунијим и што тачнијим информацијама о карактеристикама саме буке. До ових информација долази се мерењем карактеристичних величина буке у амплитудном, фреквенцијском и временском домену. Мерењима је неопходно одредити три основне карактеристике буке: јачину, фреквенцијски спектар и трајање буке.

Ради смањења нивоа буке у затвореном простору врши се акустичка обрада просторија. Правилна акустичка обрада заснива се на пројектовању и извођењу активности из домена избора материјала, примене специјалних конструкција и избора адекватних форми и облика.

Постоје три категорије вибрација којима је човек изложен. То су самопобудне, принудне вибрације при психофизиолошком ангажовању (вибрације којима је човек изложен у функцији оператора, на пример пилоти) и принудне вибрације без психофизиолошког ангажовања (вибрације којима је човек изложен независно од своје воље, на пример путник у превозном средству). Предмет овог истраживања су принудне вибрације при психофизиолошком ангажовању.

За квантитативну процену утицаја вибрација на људско тело извршена су бројна истраживања из којих су произашли многи стандарди и предлози, које је уредила међународна организација за стандардизацију.

Међу бројним стандардима који су значајни за праксу у области безбедности и здравља на раду најзаступљенији су: ISO 2631 (односи се на вибрације целог тела), ISO 5349 (односи се на вибрације система шака-рука) и ISO 8041 (прописује како треба да буде пројектована и класификована мерна опрема).

Осим процене штетног утицаја на безбедност и здравље људи, мерење вибрација може се користити као значајно дијагностичко средство. Мерење вибрација може знатно брже довести до дефектације квара и спречавања катастрофалних последица по људство и технику. Тренутна пракса одржавања хеликоптера у Војсци Србије захтева проверу рада и замену делова након испуњења прописаних временских или експлоатационих ресурса, што је скупа процедура одржавања хеликоптера. Решење овог проблема је развој система праћења исправности и коришћења (енгл. Health and Usage Monitoring Systems – HUMS) који служи за откривање почетних кварова на деловима хеликоптера, предвиђање преосталог века употребе и стварање услова за прелазак са одржавања заснованог на прописаној превентиви, на одржавање према стању (Kasin, et al., pp.6-8).

Утицај буке на људски организам

Бука је, према најчешће коришћеној дефиницији, сваки нежељени звук. Поред тога што има исте физичке карактеристике као и звук, разликује се од звука по томе што изазива и различите психофизиолошке ефекте (смета, узнемирава, угрожава) и штетна дејства по здравље човека. (Prašević, Cvetković., 2005, p.4)

Унутрашњост хеликоптера је затворен простор у којем се јавља вишеструка рефлексија звука од граничних површина.

Пријемник звука у затвореном простору изложен је дејству звука који долази директно од извора (директан звук) и звука који долази након вишеструке рефлексије (рефлектовани звук). Директни звук је једино завистан од извора и растојања и на њега не утиче величина затвореног простора, нити рефлектујућа моћ површина.

Рефлектовани звук јако зависи од величине затвореног простора и од апсорбујућих карактеристика граничних површина. Захваљујући вишеструким рефлексијама, снага рефлектованог таласа достиже ниво који зависи од апсорпционе моћи контрукције хеликоптера, као и од осталих рефлектујућих површина.

Основна карактеристика рефлектујућег звучног поља је време реверберације, а то је време потребно да интензитет звука опадне за 60 dB испод стабилног нивоа након искључења извора звука (Cvetković, Prašević, et al., 2005, p.182).

Време реверберације је значајан параметер за одређивање адекватних карактеристика говора у унутрашњости кабине хеликоптера. Од изузетног значаја је одржавање нивоа звука у границама у којима се посади омогућују безбедни, функционални и комфорни услови радне средине.

Од времена реверберације зависе разумљивост и квалитет звука у кабинџ хеликоптера. Како време реверберације дефинише време задржавања енергије звука у кабинџ, односно брзину „нестанка“ енергије након искључења извора, то значи да ће дуже време реверберације кабинџ узроковати дуже задржавање енергије у кабинџ. Дуже задржавање енергије у кабинџ утиче на смањење разумљивости говора. Према томе, дуже време реверберације смањује разумљивост говора, што може имати негативан утицај на рад посаде хеликоптера.

Утицаји буке на људе деле се на физиолошке и психолошке. Физиолошка дејства, и аудитивна и неаудитивна, изазивају промене у физиолошким механизмима или функцијама везаним за буку. Аудитивни ефекти директно утичу на периферни аудитивни систем и на слушни апарат. Излагање акустичкој енергији може изазвати и одређене неаудитивне ефекте, као што су: утицај на вестибуларни систем, на аутономни нервни систем, поремећај сна, изазивање замора, појава стреса.

Међутим, и ови неаудитивни ефекти, осим неколико изузетака, такође се преносе кроз аудитивни систем (Davis, et al., 2010, pp.110-141).

Бука не угрожава само здравље посаде хеликоптера већ утиче и на квалитет комуникације између чланова посаде. Бука изазива потенцијалне опасности по безбедност и функционисање летелице, умањујући ефективност и ефикасност комуникација, као и спречавајући да се аларми и остале поруке упозорења на време и тачно чују, приметите и приме.

Преглед физиолошких ефеката буке који је установила NASA (National Aeronautics and Space Administration) приказан је у табели 1 (Davis, et al., 2010, p.131), у којој је приказана листа различитих услова излагања у погледу звучног притиска, фреквентног опсега и дужи-не излагања, који изазивају одређени број нежељених ефеката.

Табела 1 – Физиолошки ефекти буке
Таблица 1 – Физиологические эффекты шума
Table 1 – Physiological effects of noise

Уочени ефекти	Услови излагања		
	Ниво звучног притиска (dB)	Спектар	Трајање
Смањена визуелна моћ, вибрације грудног коша, трзаји тела, промена ритма дисања	150	1–100 Hz	2 min
Рефлексни трзаји, гримасе, покривање ушију и потреба за спречавањем или бегом	100	-	Изненадна појава
Болови у ушима	135	20–2000 Hz	-
Болови у ушима	160	3 Hz	-
Сметње у уву	120	300–9600 Hz	2 s
Привремено померање прага чујности за 10 dB	94	4000 Hz	15 min
Привремено померање прага чујности за 10 dB	100	4000 Hz	7 min
Привремено померање прага чујности за 10 dB	106	4000 Hz	4 min
Оштећење тимпанске мембране	155	2000 Hz ниске фреквенције	Непрекидно
Оштећење тимпанске мембране	175	-	-
Механичке вибрације тела	120–150	УНЗП	-
Вртоглавица и повремено дезоријентација	120–150	1,6-4,4 Hz	Непрекидно
Иритација и замор	120	УНЗП	-
Привремено померање прага	65	Широкопојасни	60 дана
Смртност	167	2000 Hz	-
Смртност	161	2000 Hz	-
Привремено померање прага	75	8–16 kHz	5 min
Привремено померање прага	110	20–31,5 kHz	45 min

где је УНЗП: Укупан ниво звучног притиска

Хроничне акустичке трауме (професионална глувоћа и наглувост) јављају се код људи који су изложени штетном дејству буке нижег нивоа (преко 90 dB) у току осмочасовног радног времена, током дужег периода излагања.

Такво повећано излагање постоји и у авијацији¹.

Услед дејства буке јавља се оштећење сензорних ћелија Кортијевог органа у унутрашњем уву. Најпре настаје оштећење слуха на 4000 Hz, а временом долази до глувоће (Arandžević, et al., 2009, pp.58-60).

Директне гласовне комуникације. Задовољавајућа комуникација, око 90–95% тачно примљених речи, очекује се са нормалним гласом на растојању од око 3 m са нивоима буке од 55 dBA². Саговорници морају да вичу да би се разумели, на истом растојању, са нивоом буке у позадини од 74 dBA. Да би задржали добру комуникацију, ниво звука мора порастати од 3 dB (при нижим нивоима буке) до 6 dB (при вишим нивоима буке), при сваком повећању нивоа буке за 10 dB (Davis, et al., 2010, p.130).

Нормална гласовна комуникација није могућа у већини бучних окружења, на растојањима већим од око 1 m. Окружење у авио-саобраћају ствара такву буку која захтева од саговорника гласовне напоре изнад нормалног, што им ствара додатни стрес. У таквим ситуацијама требало би користити електронске комуникације, када је то могуће, ради заштите здравља људи и минимизирања грешака које настају услед неадекватне комуникације.

Дејство буке на говор и друге звучне сигнале угрожава оперативну безбедност и поступање. Високи нивои буке у уву могу изазвати преоптерећење и привремени губитак слуха, проузрокујући додатно ометање пријема звука.

Ефективност ових сметњи зависи од фреквентног спектра буке и од односа нивоа сигнала и нивоа буке (S/N).

За добру разумљивост сигнала ниво говорног сигнала мора бити много већи од нивоа буке. Разумљивост, као функција односа S/N, зависи и од садржине говора. Разумљивост за речи изговорене на блиском одстојању је око 0% тачности на 12 dB S/N, а већа од 95% тачности на 0 dB S/N. Светска здравствена организација препоручује S/N од 15 dB за пуну разумљивост код слушаоца са нормалним слухом (Davis, et al., 2010, p.135).

Електронске аудио-комуникације. Аудио-комуникациони системи су оптимизовани за људски говор, који је осетљив на околину и

¹ Правилником о утврђивању професионалних болести („Службени гласник РС” број 105/03), обољења изазвана буком сврстана су у професионалне болести.

² dbA – измерени ниво буке помоћу А-тежинске криве (фреквенцијска карактеристика мерног инструмента којом се врши корекција објективног нивоа буке, тако да приближније одговара субјективном осећају људског ува).

елементе личности и порука у ваздухопловном окружењу. Акустична и електрична бука су најчешћи ометајући фактор. Убрзање, вибрације целог тела, велики радни напор и претње по личну безбедност такође могу ометати комуникацију. Говорне способности оператера су условљене акцентима, дијалектом, употребом речи, губитком слуха, количином и врстом искуства у комуникацији, па чак и емоционалним стањем појединца.

Утицај вибрација на људски организам

Пилоти хеликоптера изложени су вибрацијама целог тела у својој радној средини. Са тим вибрацијама повезани су болови у доњем делу леђа (пилоти имају много више проблема са овом врстом болова у поређењу са осталим професијама).

Хеликоптери имају неколико главних извора вибрација, као што су: главни ротор, репни ротор и мотор. Ове вибрације преносе се на посаду преко свих контактних површина, укључујући под, справе за управљање и седишта. Утврђено је да вибрације имају различите ефекте на људе, а да је бол у доњем делу леђа најчешћа тегоба са којом се људи сусрећу (Vidaković, 2002, pp.74-80). То се не односи само за посаду хеликоптера, већ и на многе друге професије, на људе који управљају различитим типовима возила, као што су, на пример, таксисти, камионџије, возачи разних других војних возила. Норвешки институт за авио-медицину истраживао је изложеност посаде хеликоптера болестима доњег дела леђа и посаде других типова летелица (неротирајућих). Закључено је да је такве болове у року од две године пријавило 50% пилота хеликоптера, а само 18% пилота авиона (Kasin, et al., pp.2-3).

Вибрације целог тела повезане су са болешћу доњег дела леђа, ишијасом, дегенеративним променама кичменог стуба. Европска директива за излагање људи механичким вибрацијама својеврсни је водич за заштиту радника против ризика који проистичу из излагања вибрацијама на послу. У тој директиви вибрације целог тела се дефинишу као "механичке вибрације које, кад се преносе на цело тело, увећавају ризик по здравље и безбедност радника, а нарочито болове доњег дела леђа и повреде кичме". По директиви ризике од вибрација треба смањити, а запослени не би требало да буде изложен више од $1,15 \text{ m/s}^2$ (A(8) граница изложености) током осмочасовног радног времена, мерено према стандарду ISO 2631-1.

Акциона вредност³ изложености је $0,5 \text{ m/s}^2$. Ако се премаши граница изложености морају се предузети превентивне мере ради изо-

³ Упозоравајућа вредност величине вибрација изнад које се морају предузети превентивне мере.

лације лица од вибрација. Такође, потребно је праћење здравственог стања и обука лица о ризицима вибрација.

Вибрациона болест представља скуп поремећаја који се јављају при дуготрајном излагању локалним или општим вибрацијама (von Gierke, et al., 2002, chapter 42). Манифестује се оштећењем периферне циркулације, костију, зглобова мишића, нерава и општим поремећајима⁴.

Реализација мерења буке и вибрација

Мерење буке и вибрација вршено је на хеликоптеру Ми-8 Војске Србије (слика 1).

Сва мерења вршена су у кабини хеликоптера и то у четири фазе лета:

- приликом рада у месту, пре полетања,
- током припреме за полетање,
- у фази летења и
- при слетању.



Слика 1 – Хеликоптер Ми-8

Рис. 1 – Вертолет Ми-8

Figure 1 – Mi-8 helicopter

Мерење вибрација

Директива 2002/44/ЕС о минималним здравственим и сигурносним захтевима који се односе на изложеност радника ризицима деловања вибрација дефинише две врсте вибрација:

- вибрације целог тела (у даљем тексту WB вибрације),
- вибрације система шака–рука (у даљем тексту HA вибрације).

⁴ Правилником о утврђивању професионалних болести ("Службени гласник РС број 105/03), обољења изазвана вибрацијама сврстана су у професионалне болести

Наведена директива дефинише минимум стандарда за контролу ризика од WB и HA вибрација. Такође, дефинише акционе вредности изложености изнад којих је потребно применити техничке и/или организационе мере које имају за циљ смањење механичких вибрација и пратећих ризика на минимум и граничне вредности изложености које се не смеју прекорачити. Вредности су наведене у табели 2.

Табела 2 – Акционе и граничне вредности изложености
Таблица 2 - Предельно допустимые значения воздействия
Table 2 – Exposure action and limit values

Тип вредности	WB вибрације	HA вибрације
EA акциона вредност изложености	0,5 m/s ²	2,5 m/s ²
EL гранична вредност изложености	1,15 m/s ²	5 m/s ²

С обзиром на начин коришћења хеликоптера, где је посада у седећем положају на седиштима, за даљу анализу значајне су WB вибрације. Разматрања резултата мерења и њиховог поређења са Директивом биће везана за овај тип вибрација.

Ниво вибрација које се преносе на цело тело одговара највишој вредности убрзања пондерисане у односу на фреквенцију, утврђене у једној од три ортогоналне мерне осе (1,4 awx, 1,4 awy или awz) у околностима када члан посаде седи или стоји.

Подаци произвођача, као и подаци добијени из других извора, могу послужити као користан показатељ нивоа вибрација којима је изложена посада која управља хеликоптером. Међутим, интензитет вибрација које се преносе на цело тело увелико зависи од спољашњих услова, брзине лета и других фактора, на пример начина на који се управља летелицом.

Због тога би првобитну процену нивоа изложености требало потврдити мерењем нивоа вибрација. Мерење изложености посаде вибрацијама које се преносе на цело тело потребно је оцењивати методом дефинисаном у Европској норми ISO 2631-1:1997, а упутство о употреби те методе мерења вибрација на радном месту наведене су у норми EN 14253:2003.

Ниво вибрација, изражен као RMS вредност (RMS; од енгл. Root-mean-square), исказује се као убрзање пондерисано у односу на фреквенцију, измерено на седишту особе која при извођењу радних задатака седи, а изражава се у m/s².

Ниво вибрација изражен као RMS вредност једнака је просечном убрзању измереном у периоду спровођења мерења. То је највиша од три вредности измерене у три ортогоналне осе (1,4 awx, 1,4 awy или awz). Осе релевантне за мерење и приказивање резултата мерења вибрација приказане су на слици 2.



Слика 2 – WB вибрације
Рис. 2 – WB вибрации
Figure 2 – WB vibrations

За мерење вибрација на хеликоптеру коришћен је анализатор в-
ибрација, тип 4447 (слика 3), произвођача Brüel & Кјær.

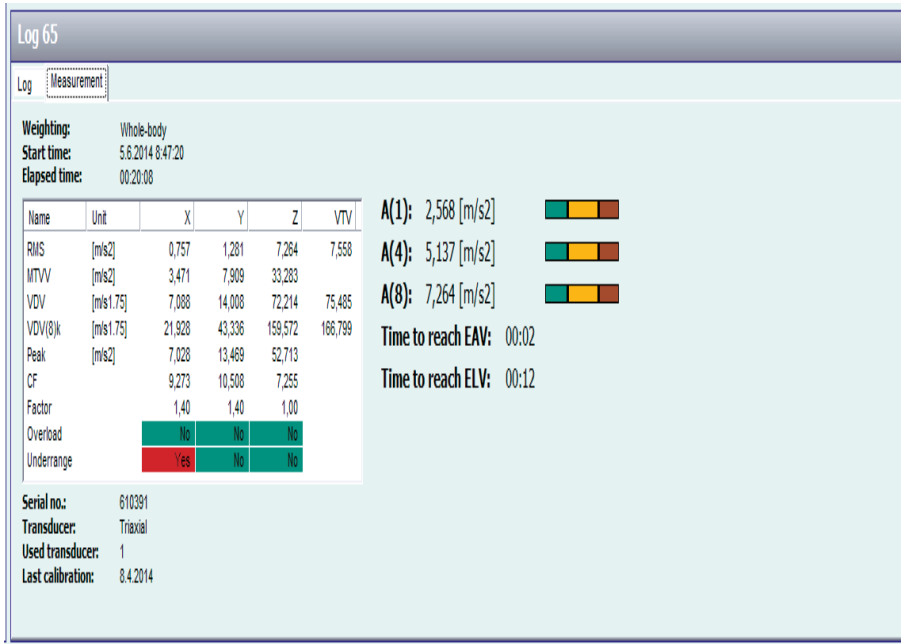


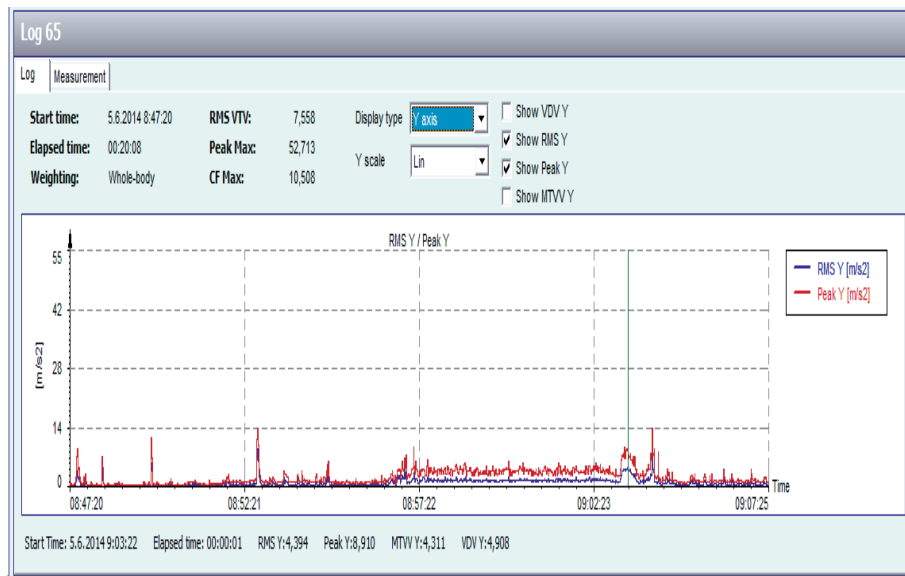
Слика 3 – Анализатор вибрација, тип 4447, са опремом
Рис. 3 – Анализатор вибраций типа 4447 с оборудованием
Figure 3 – Vibrations analyzer type 4447 with equipment

Анализатор вибрација, тип 4447, преносни је систем за мерење
и оцену утицаја вибрација. Испоручује се заједно са РС програмом
за прорачун нивоа изложености вибрацијама ради упоређивања са
акционим и граничним вредностима које су дефинисане ЕУ директ-
ивом 2002/44/ЕС.

Инструмент је наменски дизајниран за мерење и оцену ризика утицаја вибрација на здравље и безбедност људи, на једноставан, брз и поуздан начин.

Резултати мерења вибрација приказани су на слици 4.





Слика 4 – Резултати мерења вибрација
 Рис. 4 – Результаты измерения вибраций
 Figure 4 – Vibration measuring results

Посматрајући резултате мерења, приказаних на слици 4, може се констатовати следеће:

- на првом делу слике 4 приказане су вредности $A(1)$, $A(4)$ и $A(8)$. Оне представљају изложеност посаде вибрацијама прерачунату на трајање лета од 1, 4 или 8 часова. За процену ризика у кабини хеликоптера значајна је вредност $A(8)$ с обзиром на то да представља тзв. дневну изложеност посаде (Директива подразумева просечно радно време од 8 часова);

- вредност $A(8)$ је $7,264 \text{ m/s}^2$, што је већа вредност и од акционе вредности ($2,5 \text{ m/s}^2$) и од граничне вредности (5 m/s^2) прописане Директивом 2002/44/ЕС;

- потребно је само 2 секунде да би се достигла акциона вредност, а само 12 секунди за граничну вредност вибрација;

- највећа вредност вибрација је у правцу z-осе и она износи око 12 m/s^2 у фази лета, што је много већа вредност од граничне (види дијаграм 3 на слици 4);

- пратећи дијаграме могу се уочити четири фазе лета (пуштање мотора у погон, убрзање ротације пре полетања, лет и приземљење и рад у месту). Прва фаза траје око 4 минута и RMS вредност не прелази акционе вредности. У другој фази лета трајања око 5 минута, вредност вибрација већ прелази граничне вредности. У фази лета, око 7 минута, вредности вибрација су много изнад граничне вредности. Највећи скок вибрација је у тренутку слетања на чврсту подлогу, што се карактерише као удар, са максималном вредношћу (у правцу z-осе) $\text{RMS } 32,674 \text{ m/s}^2$ и Peak-ом^5 од $52,713 \text{ m/s}^2$;

- имајући у виду препоруке Директиве 2002/44/ЕС, јасно је да се морају предузети одговарајуће мере ради смањења штетног утицаја вибрација на безбедност и здравље људи, коришћењем пасивних или активних изолатора вибрација. Због сложености проблема виброизолације, детаљна анализа могућности смањења вибрација у кабини хеликоптера могла би бити тема неког наредног истраживања.

Мерење буке

Резултати мерења буке упоређивани су са вредностима прописаним у Директиви 2003/10/СЕ Европског парламента и Већа о минималним здравственим и сигурносним захтевима у односу на изложеност радника ризицима који произилазе из физичких чинилаца (буке).

⁵ Појединачно највећа вредност убрзања за време мерења.

Како би се исправно проценила изложеност посаде хеликоптера буци, потребно је применити објективну методу мерења према опште-признатом стандарду ISO 1999:1990. Процењене или објективно измерене вредности треба да буду одлучујуће за предузимање мера предвиђених у случају доњих и горњих упозоравајућих вредности изложености. Граничне вредности изложености неопходне су да би се избегла неповратна оштећења слуха код посаде; бука која долази до ува не сме прелазити граничне вредности изложености.

У смислу ове директиве, граничне вредности изложености и упозоравајуће вредности изложености у погледу дневног нивоа изложености буци и вршног звучног притиска су следеће:

– граничне вредности изложености: $LEX,8h = 87 \text{ dB(A)}$, односно $p_{\text{peak}} = 140 \text{ dB}$;

– горње упозоравајуће вредности изложености: $LEX,8h = 85 \text{ dB(A)}$, односно $p_{\text{peak}} = 137 \text{ dB}$;

– доње упозоравајуће вредности изложености: $LEX,8h = 80 \text{ dB(A)}$, односно $p_{\text{peak}} = 135 \text{ dB}$, где су:

– $LEX,8h$ – дневни ниво изложености буци, временски пондерисан просек нивоа изложености буци за номинални осмосатни радни дан, како је дефинисано међународним стандардом ISO 1999:1990, тачка 3.6. обухвата сву буку присутну на раду, укључујући и имулсни шум,

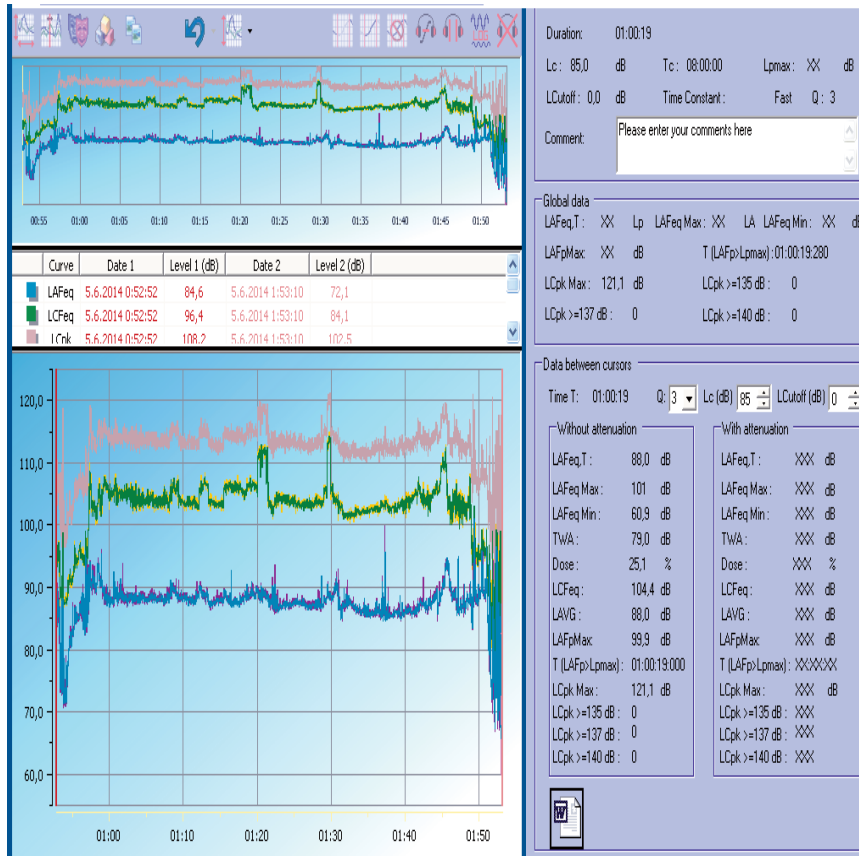
– p_{peak} – вршна вредност звучног притиска, што је минимална вредност “С” – фреквенцијски пондерисаног тренутног звучног притиска.

За мерење буке у хеликоптеру коришћен је лични дозиметар буке, тип Wed007-01dB (слика 5), француског произвођача. Софтверска подршка у обради резултата мерења заснована је на Европској директиви 2003/10/CE, која се бави минималним безбедносним и здравственим прописима у односу на изложеност радника ризицима због физичких агенса.



Слика 5 – Лични дозиметар буке, модел Wed007 – 01dB
 Рус. 5 – Индивидуальный шумомер, модель Wed007- 01dB
 Figure 5 – Wed007- 01dB noise dosimeter

Резултати мерења буке приказани су на слици 6.



Слика 6– Резултати мерења буке
 Рис.6 – Резултати измерења шума
 Figure 6 – Noise measuring results

Посматрајући резултате мерења, приказане на слици 6, могу се уочити три криве:

– крива приказана плавом бојом представља вредност LEX,8h – дневни ниво изложености буци. Пратећи вредности са слике може се констатовати да вредност LEX,8h за све време рада мотора хеликоптера премашује граничне вредности изложености (87 dB) прописане Директивом 2003/10/CE;

– крива приказана зеленом бојом представља ефективну вредност буке “C” – фреквенцијски пондерисане и није од нарочитог значаја за ово истраживање с обзиром на то да није обухваћена Директивом;

– крива приказана наранџастом бојом представља рreak – вршну вредност звучног притиска. Са слике се види да вршна вредност ниједног тренутка не прелази граничну(140 dB), нити упозоравајуће вредности (135 и 137 dB).

Имајући у виду препоруке Директиве 2003/10/CE, јасно је да се морају предузети одређене мере ради смањења штетног утицаја буке на безбедност и здравље посаде хеликоптера. Пре свега, мисли се на употребу адекватних средстава личне заштите (антифони, кациге) која смањују ниво буке, али која не смеју утицати на квалитет комуникације чланова посаде.

Закључак

Циљ овог истраживања био је да се мерењем утврде нивои буке и вибрација у кабини хеликоптера и тако добијени резултати упореде са акционим и граничним вредностима прописаним одговарајућим директивама Европске комисије које се односе на буку и вибрације.

Мерењем и упоређивањем резултата дошло се до закључка да у кабини хеликоптера вредности буке и вибрација премашују граничне вредности прописане директивама 2003/10/CE за буку и 2002/44/EC за вибрације.

Имајући у виду штетне утицаје буке и вибрација по здравље људи, а део штетних утицаја је истакнут и у овом раду, намеће се неопходност:

- периодичног мерења нивоа буке и вибрација у хеликоптерима;
- периодичног праћења здравственог стања посаде хеликоптера, а нарочито обављање специјалистичких прегледа потенцијално најугроженијих органа од дејства буке и вибрација;

- ангажовања расположивих стручних капацитета Војске Србије, уз помоћ стручних институција из цивилних структура, на изналажењу начина за смањење буке и вибрација, најпре на изворима настајања, а затим и на путевима преношења. У литератури, али и у пракси, постоји велики број начина за умањење штетног утицаја буке и вибрација на људски организам, па је потребно применити искуства стручњака,

- предузимања техничких, организационих, нормативних, образовних и других мера за смањење излагања људства штетним утицајима буке и вибрација.

Циљ овог рада није да донесе закључак о квалитету радне средине у хеликоптеру Ми-8, већ да послужи као основа за даља истраживања која би имала за циљ ближе откривање узрока појаве и начина преношења буке и вибрација до кабине хеликоптера и изналажење метода за смањење нивоа буке и вибрација.

Литература / References

- Arandelović, M., & Jovanović, J. 2009. Medicina rada. Niš: Univerzitet u Nišu, Medicinski fakultet. [e-book]. Preuzeto sa http://www.medradanis.rs/docs/knjiga_medicina_rada.pdf
- Cvetković, D., & Prašćević, M. 2005. Buka i vibracije. Niš: Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu.
- Davis, J.R., Johnson, R., Stepanek, J., & Fogarty, J.A. 2010. Fundamentals of Aerospace Medicine, 4th. Wolters Kluwer Health.
- Direktiva Evropske komisije o minimalnim zdravstvenim i sigurnosnim zahtevima u odnosu na izloženost radnika rizicima koji prozilaze iz fizičkih uticaja (buke) 2003/10/EC 2003.
- Direktiva Evropske komisije o minimalnim zdravstvenim i sigurnosnim zahtevima u odnosu na izloženost radnika rizicima koji prozilaze iz fizičkih uticaja (vibracije) 2002/44/EC 2002.
- ISO 2631-1 Standard za mehaničke vibracije i šok – Proračun izlaganja ljudi vibracijama celog tela 1997.
- Kasin, J.I., Mansfield, N., & Wagstaff, A. Whole body vibration in helicopters; risk assessment according to the European vibration directive. Loughborough University.
- Prašćević, M., & Cvetković, D. 2005. Buka u životnoj sredini. Niš: Univerzitet u Nišu, Fakultet zaštite na radu.
- Vidaković, A. 2002. Osnovi medicine rada. Beograd: CIBIF Medicinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.
- von Gierke, H.E., & Brammer, A.J. (2002). Effects of Shock and Vibrations on Humans, Harris' Shock and Vibration Handbook. [e-book]. Preuzeto sa [http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/DYNAMIQUE-VIBRATION/Shock%20 &%20Vibration%20Handbook.pdf](http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/DYNAMIQUE-VIBRATION/Shock%20&%20Vibration%20Handbook.pdf).

ИЗМЕРЕНИЕ ШУМА И ВИБРАЦИЙ В КАБИНЕ ВЕРТОЛЕТА МИ-8

Ивица С. Стојановић
ВРСР, Третиј свјазној батальон, г. Ниш

ОБЛАСТЬ: защита от шума и вибраций
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

Шум и вибрации представляют собой один из самых неблагоприятных факторов рабочей среды экипажа вертолета. Целью данного исследования было измерить воздействие шума на пилота и экипаж вертолета, а также определить его последствия.

Затем мы сопоставили полученные результаты с предельно допустимыми значениями, установленными Директивой Европейской комиссии в области шума и вибраций.

Данное сравнение показало, что замеренные значения превышают предписанные нормы и противоречат правилам охраны труда, представляя угрозу безопасности и здоровью служащих.

Также установлено, что члены экипажа подвержены риску от профессиональных заболеваний, в этой связи необходимо принять меры по снижению воздействия шума и вибраций на персонал (экипаж) вертолета.

Ключевые слова: вертолет; директива; вибрации; шум; измерение.

MEASURING NOISE AND VIBRATION IN THE COCKPIT OF THE Mi-8 HELICOPTER

Ivica S. Stojanović
Serbian Armed Forces, 3rd signal battalion, Niš

FIELD: Protection against noise and vibration
ARTICLE TYPE: Professional paper
ARTICLE LANGUAGE : Serbian

Summary:

Noise and vibration are among the main negative elements of the working environment. The aim of this study was to determine the measurement of the size of their effect on helicopter pilots and crew members. The results were compared with the warning and limit values determined by the existing Directives of the European Commission in the field of noise and vibration. The comparison of the results has led to the conclusion that the measured values are unacceptable in terms of safety and health at work and that the measured values exceed the limits. The measurements have pointed out to a danger of occupational diseases among crew members and to the necessity to take measures to reduce the harmful effects of noise and vibration on helicopter personnel.

Introduction

Noise and vibration are by nature an integral part of everyday life and a part of the human environment. They appear as a companion to life's many activities and their presence is evident in almost all spheres. The subject of this study was to assess the level of noise and vibration generated in the cockpit of the Mi-8 affecting the crew. The aim of the research was to obtain results that will show whether noise and vibration in the helicopter cockpit exceed allowable limits set by standards, to support the final analysis with measurement results and to illustrate a detrimental effect of noise and vibration on the human body. The Mi-8 helicopter was selected for measurements. Noise and vibration were measured in the cockpit of the helicopter so as to find out whether the

helicopter engine compartment is a source of the negative impact of noise and vibration on pilots and how significant this negative impact is.

In order to implement the basic procedures of noise control, assess the state of the noise level and the noise harmful effects on the human body as well as to apply the most appropriate method for noise reduction, it is necessary to have as complete and accurate information on the noise characteristics as possible, which can be determined by measuring the noise characteristic values in the amplitude, frequency and time domains. Measurements are necessary to determine the three basic characteristics of noise: strength, frequency and duration. The above three parameters completely describe the character of noise.

Regarding vibrations, there are three categories of vibrations people are exposed to. These are: self-excited (coming from every-day movements such as walking, running or recreation), forced vibrations during psycho-physiological involvement (vibrations to which operators, including pilots, are exposed) and forced vibrations without psycho-physiological involvement (vibrations to which people are exposed regardless of their will, e.g. in transportation vehicles, offices, apartments, etc.).

In addition to assessing harmful effects on the health and safety of people, vibration measurements can be used as a diagnostic tool. Vibration measurements can lead to a significantly faster inspection of failures and to the prevention from catastrophic consequences for personnel and technical equipment. The current practice requires a control of the functioning of helicopter parts as well as their replacement after the prescribed time or exploitation periods. This makes helicopter maintenance procedures expensive. The solution to this problem is the development of the Health and Usage Monitoring Systems – HUMS, used for detecting initial failures in parts of the helicopter, for predicting remaining service life and for creating conditions for the transition from preventive-based maintenance to condition-based maintenance.

The effect of noise on the human body

The impacts of noise on humans are divided into physiological and psychological ones. Physiological effects, both auditory and nonauditory, cause changes in physiological mechanisms or functions related to noise. Auditory effects have a direct impact on the peripheral auditory system and the hearing as a whole. Exposure to the acoustic energy may cause certain nonauditory effects, such as effects on the vestibular system and the autonomous nervous system, causing sleep disturbance, fatigue and stress. However, these nonauditory effects, except for a few exceptions, are also transmitted through the auditory system. Not only does noise threaten the health of helicopter crew, but also affects the quality of communication between crew members. Noise represents a potential threat to the safety and operation of the aircraft, reducing the effectiveness and efficiency of communication, as well as preventing the alarms and other warning messages to be timely and accurately heard and received.

The effect of vibrations on the human body

Helicopter pilots are exposed to whole-body vibrations in the working environment. Pain in the lower back is associated with whole-body vibrations and pilots can be said to have more trouble with this kind of pain compared to other professions. Helicopters have several major sources of vibration, such as the main rotor, the tail rotor and the engine. These vibrations are transmitted to the crew through all contact surfaces, including the floor, control equipment and seats.

Realization of noise and vibration measurements

Noise and vibration measurements were performed on the Mi-8 helicopter of the Army of Serbia. All measurements were performed in the helicopter cockpit in four phases of flight:

- during standing, before takeoff,*
- during a preparation for takeoff,*
- during flight, and*
- during landing.*

Vibration measurements

The results of measurements point out to the following:

- The value of A (8) is higher than the value of the action value and limit values set in Directive 2002/44 / EC;*
- It only takes 2 seconds to reach the action value, and only 12 seconds for the marginal value of vibration;*
- The maximum vibration value is in the direction of the z-axis;*
- Diagrams identify four phases of flight (engine start-up, acceleration of rotation before takeoff, flight and landing and stationary work). The figure shows that, even at the stage before takeoff, vibrations are above the action value, and in the phase of flight they are far above the limit value;*
- Bearing in mind the recommendations of Directive 2002/44 / EC, it is clear that certain measures have to be taken to reduce the harmful effects of vibration on the health and safety of people.*

Noise measurements

The results of measurements indicate the following:

- the value of LEX,8h exceeds the exposure limit values (87 dB) required by Directive 2003/10/CE;*
- Bearing in mind the recommendations of Directive 2003/10/CE, it is clear that certain measures have to be taken to reduce the harmful effects of noise on health and safety of people.*

Conclusion

The aim of this study was to determine the levels of noise and vibration in the helicopter cockpit and to compare the obtained results with the action and limit values required by the relevant directives of the

European Commission relating to noise and vibration. Measurements and comparisons of the results has led to the conclusion that in the helicopter cockpit noise and vibration values exceed the limit values set by Directives 2003/10 / CE for noise and 2002/44 / EC for vibration. Due to harmful effects of noise and vibration on human health, some of which were highlighted in this paper, there is a need for:

- *periodic measurements of noise and vibration in helicopters,*
- *periodic monitoring of the health status of helicopter crews, especially specialist medical check-ups of potentially most vulnerable organs exposed to the effects of noise and vibration,*
- *activating the available technical capacity of the Army of Serbia with the help of professional institutions of civil structures to find ways to reduce noise and vibration at their sources as well as along their transmission paths. In the literature and in practice there are a number of ways of mitigating the harmful effects of noise and vibration on the human body and it is necessary to apply the experience of experts on the helicopters of the Army of Serbia,*
- *taking technical, organizational, regulatory, educational and other measures to reduce personnel exposure to harmful effects of noise and vibration.*

This work should serve not as a definitive conclusion about the quality of the working environment in the Mi-8 helicopter, but as a basis for further research that would aim at discovering the causes of noise and vibration and their transmission paths to the helicopter cockpit, in order to find methods of their reduction.

Key words: *helicopter; directive; vibrations; noise; measuring.*

Датум пријема чланка / Дата получения работы / Paper received on: 11. 02. 2015.

Датум достављања исправки рукописа / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 26. 05. 2015.

Датум коначног прихватања чланка за објављивање / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 28. 05. 2015.

© 2016 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ово је чланак отвореног приступа и дистрибуира се у складу са Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ENERGETSKI POTENCIJALI VOJNIH OBJEKATA

Miladin Z. Živković ^a, Goran M. Banjac ^b

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
Katedra naoružanja i opreme ARJ za PVD i VOJ

^a e-mail: miladin32dus@yahoo.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3060-4011>

^b e-mail: gbbanjac@yahoo.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3547-9723>

DOI: 10.5937/vojtehg64-8165

OBLAST: energetska efikasnost

VRSTA ČLANKA: stručni članak

JEZIK ČLANKA: srpski

Sažetak:

Ekonomska kriza, izuzetno veliko budžetsko izdvajanje za obezbeđivanje potrebnih energenata i usvojena zakonska regulativa iz oblasti energetike nameću potrebu iznalaženja i implementacije pozitivnih rešenja radi dostizanja propisanog i poželjnog stepena energetske efikasnosti. U radu je izvršena preliminarna analiza propisane zakonske regulative za oblast energetike – energetske efikasnosti, izveštaja o problemima u zgradarstvu i projekata kojima su rešavani energetske problemi objekata. Radi dobijanja preliminarnih podataka finansijskih efekata poboljšanja toplotne izolacije objekta, a radi povećanja energetske efikasnosti zgrade, korišćen je neprofesionalan programski paket, a dobijeni rezultati su u okvirima republičkog proseka za objekte analizirane starosti. Sagledavanjem konstruktivnih karakteristika i geografskog položaja ustanovljen je i određen potencijal zgrade za iskorišćenje obnovljivih izvora energije. Rad je pokazao da postoji zakonska obaveza realizacije energetske sanacije zgrade koju koristi Vojska Srbije i preliminarne ekonomske efekte realizacije projekta energetske sanacije i iskorišćenja obnovljivih izvora energije.

Ključne reči: toplotna izolacija; upotreba energije; izvori energije; energetska efikasnost; zgrade.

Uvod

Dinamične i intenzivne, često dramatične promene u svim segmentima života, predstavljaju glavno obeležje savremenog sveta. Ove promene utiču na sve sfere nekog društva i njegove subjekte, a posebno je uočljiv njihov značaj u domenu ekonomije. Sadašnje promenljivo i ekonomski nestabilno okruženje ima veliki uticaj na uslove života i rada pripadnika Vojske Srbije (dalje u tekstu: VS). Stvara se potreba za iznalaže-

njem unutrašnjih potencijala VS, čijom eksploatacijom bi se obezbedili što povoljniji uslovi za život i rad njenih pripadnika, bez dodatnog opterećivanja ekonomski iscrpljenog društva.

Uzimajući u obzir, sa jedne strane, obim ovoga rada, a sa druge kompleksnost i raznovrsnost namene, kvaliteta i kvantiteta svih materijalnih resursa kojima VS raspolaže, ovaj rad će se ograničiti samo na jedan njihov segment. U ovom slučaju to su energetski potencijali zgrada (Službeni glasnik RS, 61/11) koje koriste ustanove, komande i jedinice VS.

Pitanja na koja će rad pokušati da da odgovor su: postoje li energetski gubici zgrada i okvirni red njihovih veličina, postoje li načini da se oni smanje kroz energetsku sanaciju zgrade (Službeni glasnik RS, 61/11) i postoji li mogućnost ostvarivanja ekonomske dobiti iskorišćenjem određenih pogodnosti zgrada koje se koriste za potrebe VS.

Traženje odgovora na postavljena pitanja realizovano je kroz strukturu rada. U prvom delu prikazane su teoretske odrednice bitne za razumevanje problema energetske efikasnosti zgrada. Drugi deo ukazuje na prisutne, a ne dovoljno proučene energetske probleme zgrada. Uopštavanjem problema dolazi se do saznanja o energetskim gubicima koji se javljaju po kvadratu spoljnih površina zgrada. Treći deo predstavlja studiju slučaja i ukazuje na energetske potencijale konkretne zgrade kroz implementaciju savremenih rešenja za povećanje njene energetske efikasnosti.

Rezultati rada pokazuju ekonomske dobiti koje se mogu ostvariti primenom toplotne izolacije na zgradi. U završnom delu prikazana je diskusija uz iznošenje zaključaka proisteklih iz studije slučaja.

Teorijsko određenje predmeta rada

Kategorizacija zgrada

Zgrada je objekat koji može biti zidan ili izrađen od montažno- demontažne konstrukcije. Prevažodno je namenjena za smeštaj i rad ljudi (Pravilo službe Vojske Srbije, 2008) ili neke druge namene (SSNO, Uprava vojnog građevinarstva, 1986), koje su interesantne kada se razmatraju mogućnosti iskorišćenja njenih pogodnosti za ostvarivanje ekonomske dobiti.

Sve zgrade u odnosu na svoju projektovanu namenu moraju da obezbeđuju određene unutrašnje uslove u zavisnosti od namene. Zgrade namenjene za smeštaj i rad ljudi moraju da obezbede propisane uslove komfora (Službeni glasnik RS, 61/11). Obezbeđivanje propisanih uslova komfora nameće potrebu zagrevanja, hlađenja i ventilacije, odnosno, potrebu utroška određene količine energije radi obezbeđenja propisanih uslova. Količina energije koja će biti utrošena za obezbeđivanje projektovanih uslova korišćenja zgrade zavise od mnogih spoljnih faktora (npr. klimatskih uslova), ali i od energetskih karakteristika same zgrade i potrebnog vremena obezbeđivanja propisanih uslova.

Energetska karakteristika zgrade karakteriše njenu energetska efikasnost (Službeni glasnik RS, 61/11). Što je manje energije potrebno za obezbeđenje propisanog komfora unutar zgrade to je zgrada energetski efikasnija. Zgrade sa najboljom energetskom efikasnošću nazivaju se pasivnim zgradama. To su one čija godišnja potrošnja energije za grejanje po jedinici korisne površine ne prelazi 15 kWh/m² (Službeni glasnik RS, 61/11).

Neophodno vreme obezbeđivanja propisanih uslova komfora određuje vrstu zgrade – sa stalnim ili kratkotrajnim vremenom korišćenja (Službeni glasnik RS, 61/11).

Energetska efikasnost

Energetska efikasnost određuje karakteristike zgrade u odnosu na energiju koja se troši za obezbeđivanje minimalnih uslova komfora za njenu projektovanu namenu, a u skladu sa Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada. Energetska efikasnost zgrade je veća ukoliko su njene energetske potrebe za obezbeđenje uslova komfora manje, odnosno njena toplotna svojstva bolja. Energetska efikasnost ne podrazumeva smanjenje utroška energije zbog štednje energije, jer ušteda energije bez primene mera za povećanje energetske efikasnosti dovela bi do narušavanja uslova komfora zbog slabijeg zagrevanja, hlađenja ili provetravanja. Dakle, energetska efikasnost predstavlja skup mera i uređaja koji se primenjuju radi postizanja propisanog nivoa komfora.

Toplotna svojstva zgrade proračunavaju se u skladu sa Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada (II energetska svojstva zgrada i III način izračunavanja toplotnih svojstava zgrada) i po zadovoljavanju propisanih uslova zgradi se izdaje energetske pasoš.

Energetski pasoš je dokument kojim se prikazuju energetska svojstva zgrada, a ima propisan sadržaj i izgled prema Pravilniku o energetske sertifikaciji zgrada, koji izdaje ovlašćena organizacija koja ispunjava uslove u skladu sa Zakonom o planiranju i izgradnji i Pravilnikom o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada (koncept sertifikacije zgrada uključen je u Direktivu EU, 2002/91/EU, član 16).

Pravni aspekti energetske efikasnosti

Potpisivanjem Ugovora o osnivanju Energetske zajednice Jugoistočne Evrope, 25. oktobra 2005. godine (dalje u tekstu: Ugovor), zemlje Jugoistočne Evrope i evropske zajednice osnovale su Energetsku zajednicu radi uspostavljanja stabilnog regulatornog i tržišnog okvira u Jugoistočnoj Evropi.

Uslov za funkcionisanje panevropskog tržišta energije je jedinstveni pravni okvir na svim teritorijama na kojima se primenjuje ugovor. Potpisnice koje nisu članovi EU imaju obavezu da usaglase svoje propise sa zahtevima direktiva EU koje se odnose na energetiku (povećanje energetske efikasnosti za 20%) (Agencija za energetske efikasnost Republike Srbije, 2014), konkurentnost tržišta, obnovljive izvore energije i zaštitu životne sredine (ukoliko to već nisu učinile, što je slučaj u većini zemalja regiona).

U skladu sa obavezama koje proističu iz ovog ugovora, u Republici Srbiji usklađuje se pravni okvir i obezbeđuju drugi preduslovi za implementaciju propisa o energetici, zaštiti životne sredine, konkurenciji i jačanju tržišta električne energije. Na taj način vrši se planiranje razvoja delatnosti u okviru energetskeg sektora sa osnovom u smernicama energetske politike i planovima razvoja energetike Republike Srbije, a sve u skladu sa Zakonom o energetici (Sl. glasnik RS, br. 84/2004 novi zakon objavljen u br. 145/2014). Nakon usvajanja Zakona o energetici vrši se uobličavanje energetske politike razrađivanjem i sprovođenjem Strategije razvoja energetike Republike Srbije (Službeni glasnik RS, 57/11, 80/11 i ispravke 93/12 i 124/12), Programom ostvarivanja Strategije i Energetskim bilansom Republike Srbije (Zakon o energetici, Službeni glasnik RS, 145/2014).

Na 11. Ministarskom savetu Energetske zajednice (*11th Energy Community Ministerial Council*), održanom 24. oktobra 2014. godine u Beogradu, kojim je predsedavala Republika Srbija, doneta je *Odluka o produženju primene Ugovora na dodatnih 10 godina, do 2026. godine*. Jednoglasna odluka doneta je po predlogu institucija Evropske unije i Stalne grupe na visokom nivou, a u vezi sa odredbom člana 97. ugovora po kojem je on prvobitno zaključen na period od 10 godina od momenta njegovog stupanja na snagu, odnosno do 2015. godine. Odlukom o produženju primene potvrđen je značaj Energetske zajednice, a samim tim i značaj praktične realizacija preuzetih ugovorenih obaveza.

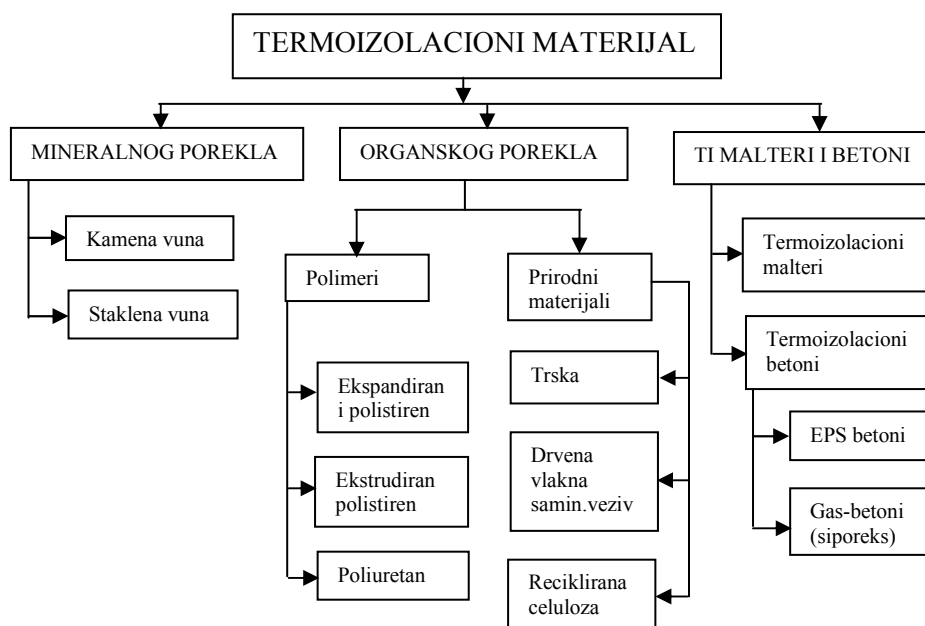
U tom smislu sva zakonska regulativa daje pravni osnov i obavezu realizacije zadataka energetske sanacije u koju se u narednom periodu moraju uklopiti i objekti koje koristi Vojska Srbije.

Termoizolacija

Pod pojmom termoizolacija najčešće se podrazumevaju razne vrste termoizolacionih proizvoda (ploče, vuna, sprejevi) koji su izrađeni od termoizolacionih materijala, a koriste se za toplotnu izolaciju konstrukcionih segmenata ili celih uređaja i objekata. Međutim, neretko pod termoizolacijom se misli i na termoizolacione materijale, kao i na postupak postavljanja termoizolacionih proizvoda na objekte.

Termoizolacioni materijali

Sami termoizolacioni materijali dele se prema: poreklu sirovina za proizvodnju (slika 1), koeficijentu toplotne provodljivosti, zapreminskoj masi i mestu i načinu primene.

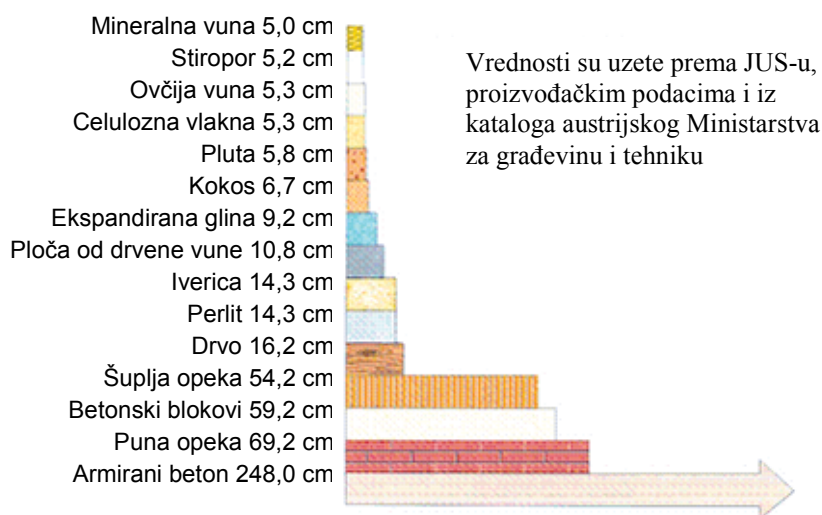


Slika 1 – Klasifikacija termoizolacionih materijala na osnovu porekla sirovine za proizvodnju (Jevtić, 2015)

Рис. 1 – Классификация термоизоляционных материалов на основании происхождения производственных ресурсов (Jevtić, 2015)

Figure 1 – Classification of thermal insulation materials based on the production material origin (Jevtić, 2015)

Toplotna provodljivost (λ) većine toplotnoizolacionih materijala nalazi se u opsegu 0,030–0,045 W/mK. Koeficijent toplotne provodljivosti pokazuje koliko toplote za 1s prođe kroz 1 m² materijala debljine 1 m pri temperaturnoj razlici od 1C⁰. Na osnovu ovog koeficijenta (λ) proračunava se potrebna debljina termoizolacionih proizvoda za propisan koeficijent prolaza toplote (k)(W/m²K). Što je koeficijent k manji, bolja je termoizolacija građevinskog segmenta. S obzirom na to da se materijali razlikuju po svojoj toplotnoj provodljivosti, proračunima se dobijaju značajne razlike u potrebnim debljinama izolacionog proizvoda za istu vrednost koeficijenta prolaza toplote k (slika 2).



Slika 2 – Poređenje debljine materijala za isti koeficijent prolaza toplote
 Рус. 2 – Сравнение толщины материалов с одинаковым коэффициентом теплопроводности

Figure 2 – Comparison of the material thickness for the same heat transfer coefficient

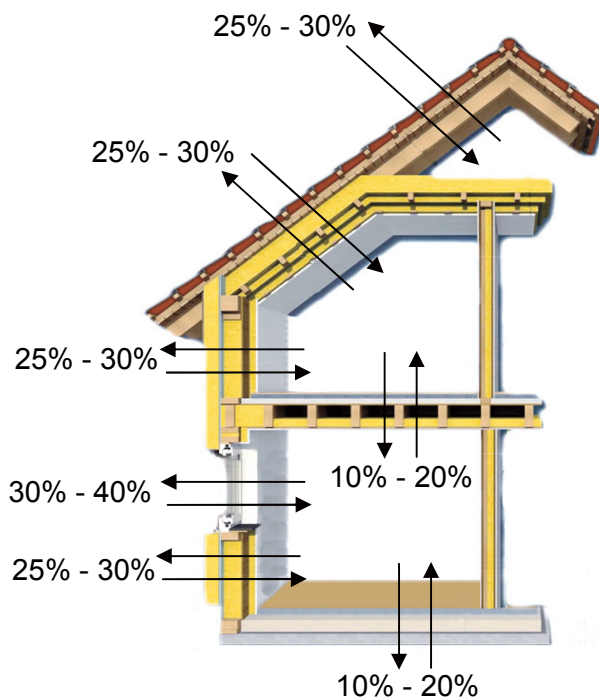
U građevinarstvu se pod *zapreminskom masom* podrazumeva masa jedinice zapremine materijala zajedno sa porama i šupljinama, odnosno masa jedinice zapremine u prirodnom stanju (Radonjanin, 2015). Smatra se da specifična zapreminska masa većine izolacionih materijala nema veliki uticaj na njihova izolaciona svojstva. Međutim, specifična masa termoizolacionih materijala znatno određuje otpornost na vlagu, pritisak po jedinici površine, a u odnosu na to i mesto i način primene.

U odnosu na specifične karakteristike izolacionih materijala neka od mesta njihove primene su spoljašnji zidovi, unutar dvostrukih zidova, ispod crepa i krovnih pokrivača, ispod gipsanih i drvenih obloga, ispod podova (sa malim ili velikim opterećenjem), podova hladnjača, odžaka itd. Takođe, specifičnosti materijala određuju i način postavljanja izolacije na konkretan segment građevinskog objekta, pa se one mogu postavljati polaganjem po površini (mineralna vuna u rolnama), lepljenjem (stiropol, stirodu), uduvavanjem i nasipanjem (termoizolacija na bazi celuloze).

Termoizolacija objekata

Termoizolacija objekata podrazumeva niz mera i aktivnosti od projektovanja do završne obrade fasade, a sve radi smanjenja toplotnih gubitaka. Prilikom projektovanja novih objekata danas se velika pažnja posvećuje orijentaciji objekta, a sa njom u vezi određuje se i raspored staklenih površina. Poseban

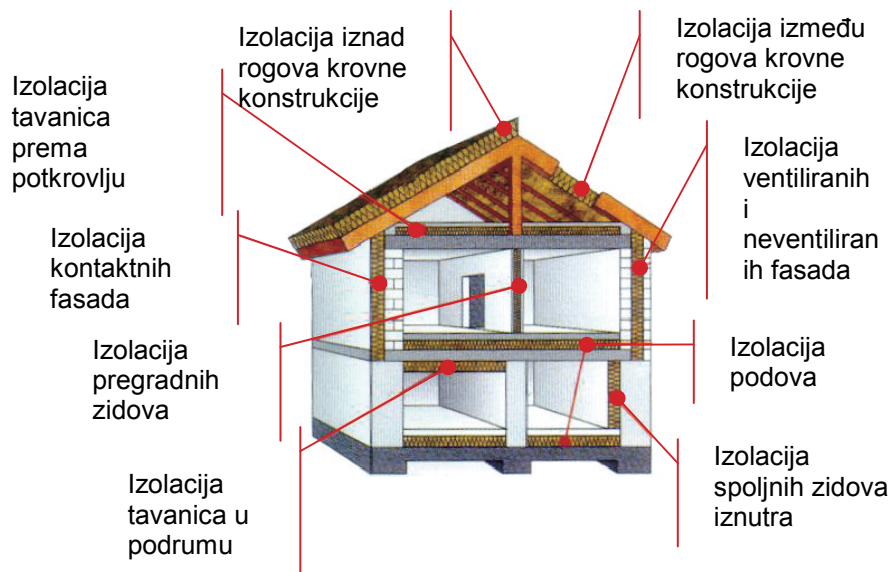
problem predstavljaju već izgrađene zgrade, jer kod njih nije moguće menjati orijentaciju objekta ili u potpunosti rešiti problem neadekvatno postavljenih staklenih površina. Međutim, kod izrađenih objekata moguće je izvesti energetska sanaciju na osnovu termovizijskih snimaka objekta (Petojević, 2014) i proračuna toplotnih gubitaka (Rendulić, 2015). Ovim metodama toplotni gubici se mogu svesti na najmanju moguću meru ili u zakonom propisane granice. Toplotni gubici starih zgrada uglavnom se kreću u granicama od 10 do 40% uložene toplotne energije za zagrevanje po određenom konstruktivnom elementu zgrade (slika 3). Na osnovu podataka sa slike moguće je izvršiti izbor mesta za realizaciju energetske sanacije zgrade, vodeći računa o vremenu i svrsi korišćenja prostora unutar zgrade, ekonomskoj isplativosti, istorijskoj vrednosti objekta (objekti pod zaštitom države) i drugih faktora. U skladu s tim, načelna mesta postavljanja toplotne izolacije prikazana su na slici 4.



Slika 3 – Gubici toplote kroz konstruktivne elemente zgrade
 Рис.3 – Теплопотери через строительные конструкции здания
 Figure 3 – Heat losses through the building structural elements

Kao što se može videti sa slike 4, a na osnovu teorijskih analiza i sprovedenih proračuna, najbolje je izvoditi toplotnu izolaciju sa spoljne strane objekta. Na taj način obezbediće se da se plafon, pod i zidovi prostorije koja

se greje izoluju spolja, tako da se grejanjem prostorije obezbeđuje i njihovo zagrevanje. Ovako postavljena izolacija obezbeđuje zadržavanje toplote u prostoriji i po prestanku rada grejanja, jer se toplota akumulirana u ovim delovima objekta odaje zračenjem u prostoriju. Takođe, toplotna izolacija sa spoljašnje strane objekta sprečava kondenzaciju vodene pare na unutrašnjim stranama prostorije, sprečava propadanje konstrukcije objekta usled variranja temperature konstrukcije i usled smrzavanja.



Slika 4 – Načelna realizacija toplotne izolacije zgrade (Jevtić, 2015)
 Рис.4 – Основное способы термоизоляции зданий (Jevtić, 2015)
 Figure 4 – General realisation of the building thermal insulation (Jevtić, 2015)

Međutim, ponekad u praksi nije moguće realizovati toplotnu izolaciju sa spoljne strane. Ovi slučajevi javljaju se kod: višespratnih zgrada sa većim brojem vlasnika stanova (otežan dogovor i finansiranje) i zaštićenih objekata spomenika kulture (zabranjeno narušavanje autentičnog izgleda fasade), kao i u slučajevima kada nije ekonomski opravdana spoljna izolacija (ne koriste se sve prostorije u objektu ili se relativno kratko koriste za rad i boravak ljudi, tj. zgrade sa više energetske zone – Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada, 2011, član 2, tačka 23). U prethodnim i sličnim slučajevima izolacija zidova sa unutrašnje strane nameće se kao jedino moguća za realizaciju ili jedino ekonomski isplativa (unutrašnjom izolacijom obezbeđuje se i do 35% manja potrošnja energije za grejanje i hlađenje). Praksa i podaci različitih proizvođača pokazuju da unutrašnja izolacija ima značajne prednosti pri izolovanju prostorija za privremeno korišćenje, ukoliko se one ne greju stalno. Ovako izolovane

prostorije se izuzetno brzo zagreju (od momenta uključivanja grejanja), jer se pri njihovom zagrevanju praktično zagreva samo vazduh u prostoriji uz izuzetno smanjenje gubitaka, jer je zagrevanje zidova minimalno. Najčešće navođeni nedostaci unutrašnje izolacije jesu mogućnost stvaranja kondenzacije sa unutrašnje strane zidova i povećano naprezanje konstrukcionih elemenata objekta zbog cikličnog smrzavanja i odmrzavanja. Ovi nedostaci se znatno umanjuju ako se posveti pažnja i pravilno izoluju prisutni toplotni mostovi, odnosno izvrši izolacija svih pripadajućih delova konstrukcije (svi zidovi, plafon i pod prostorije).

Obnovljivi izvori energije

Povećanje energetske efikasnosti postojećih zgrada (Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, član 2, tačka 45, 2011) do nivoa energetskih zahteva propisanih Pravilnikom o EnEF ostvarivo je realizacijom energetske sanacije zgrade. Obim radova pri energetske sanaciji procenjuje se u odnosu na konstrukciju objekta, uslove eksploatacije i ekonomsku isplativost. Međutim, pri ovim procenama u zakonskoj regulativi nije data i preporuka za istovremenu procenu mogućnosti i isplativosti instalacije sistema za korišćenje obnovljivih izvora energije (dalje u tekstu: OIE). Opravdanje za realizaciju i ovog vida procena može se naći u Strategiji razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijom do 2030. godine, koju je usvojila Vlade RS 3. 1. 2015. godine.

Ovom strategijom ukazano je na stalni rast potrebe za energijom i značaj energetike u budućnosti za savremenu ekonomiju i društvo. Kako su osnovni izvori energije trenutno neobnovljivi i izuzetni zagađivači životne sredine nameće se potreba iznalaženja modela za efikasno korišćenje čistije energije i iz obnovljivih izvora energije.

Prema Zakonu o energetici, obnovljivi izvori energije su nefosilni. To su: vodotokovi, biomasa, vetar, sunce, biogas, deponijski gas, gas iz pogona za preradu kanalizacionih voda i izvori geotermalne energije (Službeni glasnik RS, 145/2014). U usvojenoj strategiji navodi se da se ukupno tehnički raspoloživ potencijal obnovljivih izvora energije (ten) u Republici Srbiji procenjuje na 5,56 miliona tona ekvivalentne nafte. Strukturu ovih energetskih rezervi čine razni oblici biomase sa 3,448, hidroenergija sa 1,679, energija vetra sa 0,103, energija sunca sa 0,240 i geotermalna energija sa 0,180 miliona ten/god. (Strategija razvoja energetike Republike Srbije, 2015).

Uzimajući u obzir ovu respektivnu, teoretski neiscrpnu, energetske rezervu, obaveza svakog subjekta u lancu proizvodnja – potrošnja energenata je iznalaženje i implementacija tehničkih rešenja za iskorišćenje lokalno raspoloživih OIE. Iz istog razloga i Strategija razvoja energetike do 2030. godine ukazuje da je jedna od prioritarnih aktivnosti na razvoju energetike Republike Srbije intenziviranje korišćenja OIE uz njihovo promovisanje na nivou lokalnih zajednica.

Trenutno stanje energetske efikasnosti zgrada

Prosečna starost zgrada u Srbiji je oko 41 godina gde je više od 62% zgrada napravljeno pre 1980. godine (Republički zavod za statistiku, 2011.) po praktično nepostojećim energetske propisima. S obzirom da je i za potrebe Vojske Srbije, u zadnjih 35 godina, izgrađeno izuzetno malo novih zgrada, možemo reći da se i zgrade koje koristi VS uklapaju u proseke starih zgrada Republike Srbije.

Problem svih zgrada građenih do 30.09.2012. godine, kada je donesen prvi Pravilnik o energetskej efikasnosti zgrada i Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskej svojstvima je što su iste građene bez ikakvih ograničenja ili po veoma visokim dopuštenim vrednostima koeficijenata prolaza toplote. Prvi propisi o toplotnoj izolaciji u Srbiji su doneseni 1970. godine kojima su regulisane najveće dozvoljene vrednosti koeficijenata prolaza toplote u odnosu na klimatsku zonu u kojoj se zgrada nalazi. Dozvoljene vrednosti koeficijenata prolaza toplote su za 30% smanjene donošenjem novih zahteva po pitanju toplotne izolacije zgrada 1980. godine, a izdanje ovih normi iz 1987. godine je bilo na snazi sve do početka primene Pravilnika iz 2012. godine.

U odnosu na vremenski period gradnje zgrada uočavaju se i sledeće specifičnosti po pitanju energetske efikasnosti:

- zgrade građene do 1950. godine karakterišu se masivnim debelim zidovima i prosečnim toplotnim gubicima između 200 i 250 kWh/m²;
- zgrade građene posle 1950. godine karakterišu primena novih materijala bez ikakvih termičkih zahteva, a od 1970. godine počinje masovna izgradnja vitkih i tankih konstrukcija sa velikim staklenim površinama izuzetno loših termičkih osobina pa prosečni gubici toplote iznose i do 300 kWh/m² (Živković, 2011);
- sve izgrađene zgrade u periodu od 1987. godine do septembra 2012. godine u proseku su istih termičkih kvaliteta i toplotnih gubitaka koji se kreću oko 150 kWh/m² (Šumarac, 2009).

Sagledavanjem iskustava i analiza efekata povećanja toplotne izolacije spoljašnjih zidova, pokazalo se da je najsvrsishodnije takve aktivnosti usmeriti na zgrade građene pre 1987. godine kod kojih je moguće ostvariti uštede u potrošnji energije za oko 70% (Holness, 2009).

Preliminarna procena efekata energetske sanacije

Za preliminarnu procenu izabran je objekat sledećih karakteristika: spratna zgrada kombinovane namene (kancelarijski, magacinski i učionički prostor) izgrađen 70-ih godina. Ukupna površina objekta je 1600m² od kojih je grejana površina 1300 m², preko daljinskog sistema grejanja

(toplana kasarne). Zgrada je pravilnog pravougaonog oblika sa po dve paralelne stranice jednake dužine. Objekat se svojom dužinom pruža pravcem Sever-Jug. Ukupna površina fasade je 1056 m² od čega je 10% zastakljeno. Objekat je sagrađen od pune opeke ukupne debljine zida od 45 cm bez bilo kakve izolacije, a zastakljene površine čine drveni dvostruki prozori sa jednostrukim staklom ukupne površine 60m² i jednostruka drvena vrata i svetlarnici sa jednostrukim staklom površine 34 m². Iz prethodnog se vidi da zgrada pripada kategoriji objekata za koje je preporučena energetska sanacija uz njene maksimalne efekte i zakonska obaveza izrade energetskog pasoša.

Rezultati preliminarnog proračuna pomoću besplatnog programa Knauf Insulation Kalkulator za izračunavanje potrebne energije za grejanje analiziranog objekta ([http://www.knaufinsulation.net/files/content/kalkulator.html](http://www.knaufinsulation.rs/sites/rs.knaufinsulation.net/files/content/kalkulator.html)) pokazuje da je za grejanje datog prostora potrebno 307427,38 kWh toplotne energije za grejnu sezonu što predstavlja trošak od 15000 evra za nabavku energenta tj. lož ulje.

Realizacijom energetske sanacije zidova termo izolacijom debljine 6 cm, podova termo izolacijom debljine 6 cm i tavanskog prostora termo izolacijom debljine 14cm dobija se da je potrebna energija za zagrevanje 141344,36 kWh ili 6900 evra, što predstavlja uštedu od 54%. Upoređivanjem stolarije sa sličnom iz drugih projekata (Ralić, 2012) zaključuje se da zamena drvene stolarije PVC stolarijom sa nisko-emisionim staklima obezbeđuje dodatnu uštedu od 30750 kWh ili 1500 evra po grejnoj sezoni. Iz prethodnog se vidi da bi ukupna ušteda bila 172094,36 kWh ili 10400 evra, što predstavlja uštedu od 70%, a što se uklapa u procene date na 40. međunarodnom kongresu KGH u Beograd 2009. godine.

Energetska sanacija analiziranog objekta bila bi najoptimalnije rešena unutrašnjom toplotnom izolacijom i zamenom stolarije. Iz prethodnog se uočava da energetska sanacija podrazumeva ulaganje u vidu materijala i časova rada u cilju njegove ugradnje i obrade. Prema podacima proizvođača Rigips (www.rigips.com) za unutrašnje oblaganje 1m² zida potreban je: 1m² gipskartonske ploče, 1m² mineralne vune, 1m² parne brane, 2 m C-profil, 0,8 m U-profil, 1,3 m trake za zvučnu izolaciju, 6 raznih vijaka, 0,8 m armaturne bandaž trake i 0,3 kg ispune spojeva. Orijentaciona cena materijala po 1 m² prema podacima „ČAterm“ iznosi 7,60 €, a orijentaciona cena rada je 7,34 €/m². (<http://www.ca-term.rs/rigips/Oblaganje%20potkrovlja%20sa%20CD.pdf>). Ukupna cena materijala i rada je približno 15 €/m² zida.

Za toplotnu izolaciju 1m² poda potrebno je: 1m² izolacije – stirodur, 1m² polietilenske folije 0,2 mm, 1 m² laminatnog poda. Orijentaciona cena materijala prema podacima sakupljenim sa sajtova više distributera ja 16,5 €/m², a orijentaciona cena rada je 2 €/m². Ove troškove neophodno je uvećati za vrednost ukrasnih lajsni koje se računaju po dužnom metru, a orijentaciona cena je 0.7 €/m. Ukupna cena materijala i rada je približno 18,5 €/m² poda.

Najsvrsishodniji vid toplotne izolacije tavanškog prostora posmatranog objekta je mineralna vuna. Toplotna izolacija bila bi realizovana polaganjem mineralne vune po tavanškom podu. Orijehtaciona cena mineralne vune debljine 5 cm je 0,9 €/m², a orijentaciona cena rada je 0,5 €/m². Ukupna cena materijala i rada je približno 1,4 €/m² tavanškog prostora.

Asortiman PVC stolarije na tržištu je izuzetno velik, a cena zavisi od proizvođača, stepena toplotne izolacije, vrste stakla, sa ugradnjom ili bez ugradnje itd. Za analiziran objekat analizom je dobijeno da je orijentaciona cena PVC dvokrilnih prozora sa ugradnjom od 78 €/m² i dvokrilnih vrata od 62 €/m².

Uzimajući u obzir izračunate orijentacione cene materijala i rad za energetska sanaciju toplotnom izolacijom posmatranog objekta dobija se da je za izolaciju zidova potrebno ulaganje od 22 500 €, podove 12 210 €, tavanškog prostora 2 560 € (tri sloja mineralne vune za debljinu izolacije od 15 cm) i za promenu stolarije prozori 6 790 € i vrata 434 €. Ukupno ulaganje za energetska sanaciju analiziranog objekta radi povećanja njegove energetske efikasnosti iznosi 44 490 €. Uz konstatovanu uštedu po grejnoj sezoni od 10 400 € može se zaključiti da se povraćaj uloženog kapitala u toplotnu izolaciju posmatranog objekta može očekivati za 4,5 grejne sezone. Ovako izračunato vreme povraćaja predstavlja prosečno vreme povraćaja uloženog kapitala u slične objekte (Ralić, 2012).

Sagledavanjem karakteristika položaja i spoljnih površina objekta uočava se da sa aspekta iskoristivosti OIE zgrada pruža izvesne pogodnosti za iskorišćenje solarne energije. Ove pogodnosti mogle bi biti iskorišćene za instalaciju solarnih panela za dogrevanje pojedinih energetska segmenata zgrade ili za ostvarivanje dobiti kroz iznajmljivanje krovne površine. Po podacima sa sajta preduzeća „Plan-net-solar” (<http://www.plan-net-solar.rs/izdavanje-krova/zarada-za-najmodavce/>) iznajmljivanjem krovne površine ove zgrade za instaliranje solarne elektrane ostvarila bi se mesečna dobit od 40 evra.

Zaključak

Ekonomska kriza, izuzetno veliko budžetsko izdvajanje za obezbeđivanje potrebnih energenata i usvojena zakonska regulativa iz oblasti energetike, nameću potrebu iznalaženja i implementacije pozitivnih rešenja radi dostizanja propisanog i poželjnog stepena energetske efikasnosti. U radu je izvršena analiza propisane zakonske regulative iz oblasti energetike – energetske efikasnosti, izveštaja o problemima u zgradarstvu i projekata kojima su rešavani energetski problemi objekata. Korišćenjem uporedne analize objekata sličnih karakteristika, zakonske regulative i posmatranog objekta koji koristi VS ustanovljena je njegova pogodnost za realizaciju mera energetske sanacije. Radi dobijanja preliminarnih podataka finansij-

skih efekata implementacije pozitivnih rešenja za povećanje energetske efikasnosti zgrade korišćen je programski paket, Knauf Insulation Kalkulator. Dobijeni rezultati pokazuju da je moguće ostvariti uštedi energije koja se koristi za zagrevanje objekta od 70%, što je u okvirima republičkog proseka za objekte iste starosti. Radom je ustanovljena orijentaciona visina ulaganja u toplotnu izolaciju od 44 490€ i očekivan period povraćaj uloženeog kapitala od 4,5 grejne sezone. Dalje je, sagledavanjem konstruktivnih i geografsko-položajnih karakteristika posmatranog objekta, ustanovljen određen potencijal zgrade za iskorišćenje obnovljivih izvora energije i orijentaciona dobit korišćenja OIE od 480€ na godišnjem nivou.

Rad je pokazao da postoji zakonska obaveza realizacije energetske sanacije zgrade koju koristi Vojska Srbije, a preliminarna analiza ekonomskih efekata realizacije projekta energetske sanacije dokazala je njenu opravdanost.

Literatura

Agencija za energetska efikasnost Republike Srbije. 2014. *Direktiva 2002/91/EU Evropskog parlamenta i saveta od 16. decembra 2002. godine o energetska efikasnosti zgrada*, Beograd. neformalan prevod na srpski jezik. Preuzeto sa <http://www.knaufinsulation.rs/sr/regulative>

Holness, G. 2009. Energetska efikasnost u postojećim zgradama-naša najveća šansa za održivu budućnost. . U: 40. međunarodni kongres KGH, Beograd.

Jevtić, D. 2015. *Termoizolacioni materijali na bazi polistirena*. predavanje. Preuzeto sa http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/termoizolacioni_materijali_1387814173320.pdf

Petojević, Z., Radojević, V., Mikić, M., & Petronijević, M. 2014. *Energetska efikasnost zgrada u Srbiji i primena infracrvene termografije u zgradarstvu*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet. stručni rad. Preuzeto sa <http://www.cpmconsulting.rs/strucniradovi/strucnirad8.pdf>

Pravilo službe Vojske Srbije 2008. Beograd: Direkcija za izdavačku i bibliotečko-informacionu delatnost, Vojnoizdavački zavod.

Radonjanin, V., & Malešev, M. 2014. *Građevinski materijali I, II predavanje*. Preuzeto sa http://www.agfbl.org/sajt/doc/file/so/1/01/02804_20121114_02_GM1_2012_-_druugo_predavanje.pdf

Ralić, N.Ž. 2012. *Model komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata*. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.

Rendulić, I. 2012. *Energetska efikasnost u zgradarstvu*. Čačak: Fakultet tehničkih nauka. Preuzeto sa <http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/SIR%20Ivana%20Rendulic.pdf>

Republički zavod za statistiku. 2011. *Popis stanovništva, domaćinstava i stanova u Republici Srbiji, Stanovi preme godini izgradnje vrsti zgrade, materijalu spoljnih zidova, nastanjenosti i tipu naselja, po opštinama i gradovima*. Beograd.

SSNO, Uprava vojnog građevinarstva. 1986. *Imenik građevinskih sredstava nepokretnosti*. Beograd: Jugoslovenske Narodna Armija.

Službeni glasnik Republike Srbije 2011. Pravilnik o energetska efikasnosti zgrada. *Službeni glasnik Republike Srbije*, 61.

Službeni glasnik Republike Srbije 2014. Zakon o energetici. *Službeni glasnik Republike Srbije*, 145.

Šumarac, D. 2009. Energetska efikasnost zgrada u Srbiji. . U: Konferencija Graditeljstvo i održivi razvoj. Beograd: Građevinski fakultet.

Vlada Republike Srbije. 2015. *Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine.*,. Preuzeto sa http://www.srbija.gov.rs/ve-sti/dokumenti_sekcija.php?id=45678

Živković, Z., Kuzmanović, A., Vasić, M., Schütt, W., & Kostić, D. 2011. *Predlog mera za finansiranje energetske efikasnosti u zgradarstvu u Srbiji.* Beograd: Građevinska knjiga.

ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Миладин З. Живкович, Горан М. Баняц
 Университет обороны в г. Белград, Военная академия,
 Кафедра вооружения и подготовки РВиА для ПВО и ВНОС

ОБЛАСТЬ: энергоэффективность
 ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
 ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

Экономический кризис и большой расход бюджетных средств на обеспечение необходимых энергоносителей, также как и законодательные постановления в области энергетики создают необходимость в поиске и применении новых положительных решений, с целью удовлетворения предписанного и рекомендуемого уровня энергосбережения.

В данной работе проведен предварительный анализ предписанных законодательных актов в области энергетики – энергоэффективности, отчетов о проблемах в строительстве, а также проектов, посвященных проблемам энергосбережения на военных объектах.

В процессе повышения энергоэффективности зданий, а также в проведении предварительного анализа финансовой эффективности вследствие повышения теплоизоляции объектов был применен непрофессиональный программный пакет, и его результаты вписываются в рамки среднего потребления энергоресурсов, предписанные государственными нормативами, касающихся объектов с установленной старостью. При оценке конструктивных параметров и географического положения был установлен потенциал зданий для применения возобновляемых энергоресурсов.

В работе представлено, что существуют законные обязательства по теплоизоляционному оснащению зданий, которыми пользуются ВСРС, и это будет экономически выгодно, вследствие разработки проектов по теплоизоляции и по применению возобновляемых энергоисточников.

Ключевые слова: теплоизоляция; потребление энергоресурсов энергоисточники; энергосбережение; здания.

ENERGY POTENTIALS OF MILITARY BUILDINGS

Miladin Z. Živković, Goran M. Banjac
University of Defense in Belgrade, Military Academy, Department of Armament
and Military Equipment for ARUs

FIELD: Energy Efficiency
ARTICLE TYPE: Professional paper
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Abstract:

The economic crisis, extremely large budgets for providing necessary energy and the adopted legislation in the field of energy impose the necessity of finding and implementing positive solutions in order to achieve a proper and desirable degree of energy efficiency. This paper presents a preliminary analysis of the prescribed legislation in the field of energy - energy efficiency as well as the analysis of the reports on problems in construction engineering and projects used to solve energy problems in buildings. To obtain preliminary data of the financial effects of the implementation of positive solutions for improving the energy efficiency of buildings, a non-professional software package was used and the results obtained were within the framework of the national average for buildings of the same age. The structural characteristics of a building in question and its geographical location point to its specific potential for using renewable energy sources. The paper has shown that there is a legal obligation for the energy retrofit of a building used by the Army of Serbia as well as preliminary economic effects of the energy retrofit project realization and utilization of renewable energy sources.

Introduction

Economic crises create a number of problems which impose a need for identifying internal potentials of all types of organizations in order to overcome them. This paper deals with the energy problems of buildings in use in the Army of Serbia and with possibilities for overcoming them while achieving long-term economic benefits.

Theoretical determination of the paper subject

Building categorization

In order to precisely define construction types to which this paper refers to, buildings taken into consideration are categorized and classified relating to their purpose, energy efficiency and life time.

Energy efficiency

Energy efficiency represents the thermal characteristics of a building through the energy required to provide prescribed conditions of comfort. The evidence of specific energy performances of buildings is verified by an energy passport.

Legal aspects of energy efficiency

By signing the Treaty of Establishing the Energy Community of South East Europe, the Republic of Serbia has accepted the obligations of the contract and started the harmonization of its legal framework through providing support for the implementation of regulations on energy, environmental protection, competition and strengthening of the electricity market.

Thermal insulation

Thermal insulation usually refers to various kinds of insulating products of thermal insulation materials as well as to the process of thermal insulation of buildings.

Materials for thermal insulation

All insulation materials are classified according to: the origin of raw materials for production, the value of the coefficient of thermal conductivity, the density value and the places and methods of their application.

Thermal insulation of buildings

Thermal insulation of buildings includes a series of measures and activities from the design phase to facade finishing with a view to reducing heat losses. On existing buildings, typical heat losses are in the range from 10 to 40%, depending on structural elements. Thermal insulation is realized through the project of energetic rehabilitation of buildings.

Renewable energy sources

Renewable energy sources are all non-fossil energy sources, and the estimated total available technical potential of renewable energy sources in the Republic of Serbia is 5.56 million tons of oil equivalent. The obligation of each subject in the chain of production - energy consumption is to find and implement technical solutions for the utilization of locally available renewable energy sources.

The current state of energy efficiency in buildings

The average age of buildings in Serbia is approximately 41 years, with more than 62% of them made before 1980s under practically nonexistent energy regulations. Existing experience and analyses of the effects of increasing thermal insulation have shown that energy activities should be focused primarily on the rehabilitation of buildings built before 1987 where it is possible to achieve savings in energy consumption of about 70%.

A preliminary assessment of the effects of energy rehabilitation

According to the preliminary evaluation of the building in question and the average age of buildings in use in the Army of Serbia, it was determined that the building belongs to the category of objects for which:

there is legal obligation to issue the energy passport; it is recommended to undertake energetic rehabilitation with the best outcome, and it is possible to implement not only energy rehabilitation but also capacities for renewable energy sources in order to achieve additional economic gain.

Conclusion

This paper presents a preliminary analysis of a concrete building through the prism of current legislation in force. A simplified comparative analysis with similar objects and the usage of simple software packages very easily showed that the energy potential of the observed building is not that small. However, the result of this work has only tackled the problem of energy inefficiency in buildings in the use in the Serbian Army and opened a number of new issues in this area.

Key words: thermal insulation; energy use; energy sources; energy efficiency; buildings.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 27. 04. 2015.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 01. 06. 2015.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 03. 06. 2015.

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuiran se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.унр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



PROCENA UTICAJA UDESA IZAZVANIH OPASNIM MATERIJAMA NA KASARNU „CAR LAZAR” U KRUŠEVCU

Srđan Z. Rutić^a, Dejan R. Inđić^b

^a Vojska Srbije, Komanda za obuku, Centar ABHO, Kruševac
e-mail: srdjan.rutic@gmail.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-5303-646X>

^b Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija
e-mail: vladaindjic@mts.rs

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3134-731X>

DOI: 10.5937/vojtehg64-6795

OBLAST: zaštita životne sredine, hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: stručni članak
JEZIK ČLANKA: srpski

Sažetak:

U radu je izvršena analiza rizika od udesa izazvanih opasnim materijama u drumskom i železničkom saobraćaju u gradu Kruševcu. Definirane su kritične tačke i izvršena je analiza mogućnosti nastanka udesa pri transportu opasnih materija, kao i procena njihovog uticaja na kasarnu „Car Lazar” u Kruševcu. Zaključeno je da je kasarna veoma ugrožena od mogućnosti nastanka udesa izazvanih opasnim materijama u drumskom i železničkom saobraćaju, pa naročitu pažnju treba obratiti na obezbeđenje od takvih udesa.

Ključne reči: toksična hemikalija, procena situacije, kritične tačke, drumski i železnički saobraćaj, opasne materije, ABHO, udes izazvan opasnim materijama.

Uvod

Opasnost od hemijske kontaminacije nastale pri udesima izazvanim opasnim materijama raznovrsne su i moguće, što potvrđuju događaji u proteklih nekoliko godina.

Postojanje velikog broja postrojenja za proizvodnju različitih sirovina i proizvoda čiji se rad bazira na upotrebi opasnih (visokotoksičnih) hemijskih materija predstavlja ozbiljnu opasnost za život na širem prostoru sa nesagledivim posledicama. Jedan segment rizika leži u mogućnosti da pri premeštanju neke materije ili grupe materija sa jedne lokacije na drugu u toku transporta dođe do hemijskog udesa. Do takvog udesa najče-

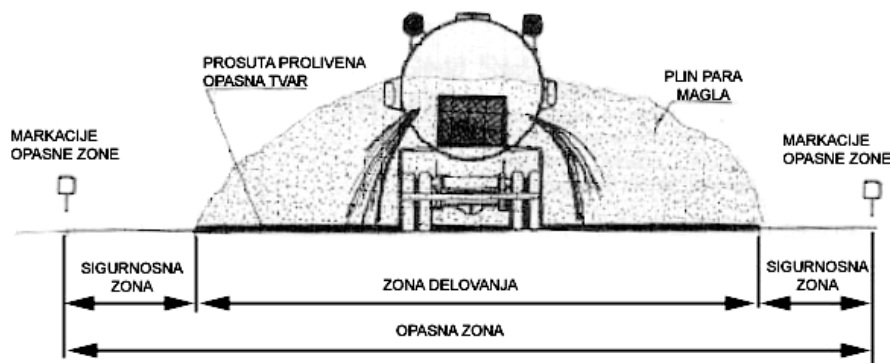
šće dolazi iznenadno i nekontrolisano, tako da se veća ili manja količina tečnosti, para, gasa ili aerozola oslobodi za kraće ili duže vreme. Pri tome dolazi do hemijske kontaminacije atmosfere (KonA), kontaminacije zemljišta (KonZ) i kontaminacije vode sa različitim posledicama.

U urbanim sredinama česte su havarije u stacionarnim i pokretnim objektima (u proizvodnim sistemima, magacinima, rezervoarima, cevovodima i transportnim trakama). Često se događa da se štetne i opasne supstance nekontrolisano ili naglo razlivaju u čovekovu okolinu.

Kako su hemijska postrojenja često locirana u urbanim sredinama ili u blizini naseljenih mesta, njihovi udesi predstavljaju veliku opasnost po ljude i životnu sredinu. Štetni efekti udesa sa opasnim materijama najčešće su lokalnog karaktera, ili često mogu biti regionalnih, pa čak i međunarodnih razmera (Rutić, 2009).

Rizici od udesa pri transportu opasnih materija i procena uticaja na kasarnu „Car Lazar” u Kruševcu

Prevoženjem visokotoksičnih supstanci sa jedne lokacije na drugu transportno vozilo postaje aktivni učesnik u saobraćaju. Nepoštovanje saobraćajnih propisa, naročito u drumskom saobraćaju, često može da izazove hemijske akcidente širih razmera, iako su ispoštovane sve ostale mere vezane za pravilno rukovanje i skladištenje opasnih materija u vozilu. Dakle, materija se u tom slučaju oslobađa i zagađuje prostor posredno, usled saobraćajne nesreće (prevrtanje cisterne, sudar vozila, iskliznuće voza itd.). Na slici 1 prikazana je situacija koja nastaje pri udesu koja je izazvana cisternom sa opasnom materijom (Luković, i dr, 2004).



Slika 1 – Zone opasnosti u slučaju udesa auto-cisterne sa opasnim materijama

Рис. 1 – Зоны опасности в случае аварии автоцистерны с опасным грузом

Figure 1 – Danger zone in the event of an accident involving a tanker truck with hazardous materials

Priroda hemijskih udesa je takva da oni nastaju iznenada i često, na nepredvidljivim mestima (pri transportovanju opasnih materija), tako da su brzina delovanja i način angažovanja radnih ekipa najvažniji činioci u saniranju posledica udesa (Bursać, i dr, 1990).

Sve ove činjenice nameću potrebu da se sagleda i proceni verovatnoća nastanka udesa i to kroz sveobuhvatnu metodološku analizu. Jedan od faktora koji sadrži metodologija upravljanja rizikom je analiza opasnosti od udesa.

- Ona se odvija kroz tri faze:
- prva faza – identifikacija opasnosti,
 - druga faza – analiza posledica,
 - treća faza – procena rizika.

Prva faza – identifikacija opasnosti

U prvoj fazi prikupljaju se svi potrebni podaci o opasnim aktivnostima i opasnim materijama neophodnim za analizu posledica i procenu rizika. Krajnji cilj je utvrđivanje vrste potencijalnih zagađivača i vrsta i osobina hemijskih materija koje se transportuju.

Kao polazna osnova moraju se prikupiti podaci o preduzećima i drugim objektima koja se bave proizvodnjom, preradom, skladištenjem i transportom opasnih materija, kao i podaci o vrsti i količini tih materija. Sve opasne materije definisane su u Pravilniku 1 kroz listu opasnih materija. Procena opasnosti, odnosno rizika od udesa vrši se kada su opasne materije koje mogu izazvati hemijski udes prisutne u količinama jednakim ili većim od navedenih u listi opasnih materija (član 4. Pravilnika o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskih udesa i od zagađivanja životne sredine), (Službeni glasnik RS, 1994). Na osnovu toga izrađuje se katastar potencijalnih izvora opasnosti.

Za svaku materiju iz katastra utvrđuju se njene osobine (Privremeno uputstvo za obezbeđenje VS od nuklearnih i hemijskih udesa u miru, 2008). Ovi podaci su značajni zbog vrste sredstva za zaštitu, načina dekontaminacije, dimenzija zahvaćenih rejona i dr.

- Najznačajniji podaci koji se moraju znati su:
- naziv materije (sistemski i trivijalni),
 - proizvođač,
 - godina proizvodnje,
 - kvalitet (sadržaj čiste materije u %) i
 - pakovanje.

¹ Pravilnik o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskog udesa i od zagađivanja životne sredine, merama pripreme i merama za otklanjanje posledica.

Od fizičkih osobina treba znati:

- agregatno stanje pod normalnim uslovima,
- boju,
- miris,
- temperaturu topljenja,
- temperaturu ključanja, i
- gustinu.

Najznačajnije je poznavanje hemijskih osobina, kao što su:

- molekulska masa,
- empirijska i strukturna formula i
- reakciona sposobnost (osetljivost na vlagu i hidrolizu, osetljivost na vazdušni kiseonik, mogućnost dekontaminacije i osobine produkata dekontaminacije, ponašanje prema kiselinama i bazama, zapaljivost).

Takođe, moraju se navesti i toksične osobine:

- stepen toksičnosti (prema hemijsko-tehnološkom priručniku),
- kvantitativne toksične karakteristike (LD i LD50, LC i LC50),
- maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK),
- osetljivost po mirisu,
- toksično dejstvo i
- prva pomoć.

Osim navedenih karakteristika, za transport je naročito važno poznavati i način obeležavanja. Prema propisima ADR2 na svakom vozilu koje prevozi opasne materije u drumskom saobraćaju mora postojati oznaka – narandžasta reflektivna tabla (sa prednje i sa zadnje strane vozila); u gornjoj polovini table upisana je brojčana oznaka opasnosti, a u donjoj brojčana oznaka opasne materije. Brojčana oznaka opasnosti sastoji se od dve ili tri cifre.

Prva cifra označava glavnu opasnost prema sledećoj specifikaciji:

- 2 – gas
- 3 – zapaljive tečne materije
- 4 – zapaljive čvrste materije
- 5 – oksidansi ili organski peroksidi
- 6 – toksične materije
- 7 – korozivne materije

Druga i treća cifra označavaju dodatnu opasnost:

- 0 – bez značaja
- 1 – eksplozivno
- 2 – izdvajanje gasa
- 3 – zapaljivost
- 5 – zapaljiva oksidaciona svojstva
- 6 – toksičnost
- 8 – korozivnost
- 9 – opasnost od energične reakcije usled razlaganja ili polimerizacije.

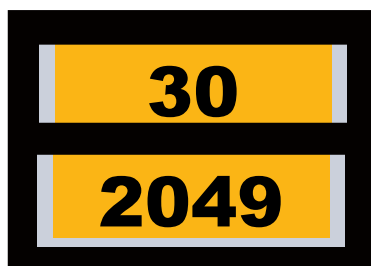
² Evropski sporazum o međunarodnom transportu opasnih materija u saobraćaju na putevima.

Postojanje dve iste cifre označava jako izraženu opasnost (recimo broj 66 označava izraženu toksičnost)

Brojčana oznaka opasne materije uvek se sastoji od četiri cifre, a nalazi se na UN listi (UN „List of dangerous goods most commonly carried“), što omogućava da se opasna materija identifikuje.

Ukoliko se za transport preuzima opasna materija koja nije navedena u UN listi, opasni tovar označava se pravougaonim pločama iste veličine, sa jednim poljem narandžaste boje ovičen crnim linijama širine 15 mm, ali bez ikakvih brojnih oznaka.

Na slici 2 prikazan je način obeležavanja definisane opasne materije koja se nalazi na UN listi, dok je na slici 3 prikazan način obeležavanja tovara za materije koje se ne nalaze na UN listi.



Slika 2 – Izgled table pri prevozu dietilbenzola

Рис. 2 – Вид таблички для транспорта диэтилбензола

Figure 2 – Table layout in the transport of diethylbenzol



Slika 3 – Izgled table pri prevozu materije koja se ne nalazi na UN listi

Рис. 3 – Вид таблички для транспорта грузов не входящих в список ООН

Figure 3 – Table layout in the transport of material that is not on the UN list

Obeležavanje pojedinačnih pakovanja vrši se listicama sa stilizovanim oznakama opasnosti. Izgled pojedinih listica koje se koriste pri transportu visokotoksičnih materija prikazan je na slici 4. Listice su standardnog formata A5, tj. veličine 148x210 mm. Listice za manja pakovanja mogu da budu i manjeg formata (često se koristi format A7, 74x105 mm).



Slika 4 – Oznake pri transportu opasnih materija

Рис. 4 – Знаки для транспортировки опасных грузов

Figure 4 – Labels when transporting hazardous materials

Druga faza – analiza posledica

U okviru pripreme za analizu formira se tim od stručnjaka raznih specijalnosti.

Prikaz mogućeg razvoja događaja dobija se modeliranjem efekta, čime se dolazi do mogućeg obima udesa i posledica po život i zdravlje ljudi i životnu sredinu. Modeliranje je složen proces koji se vrši pomoću različitih modela efekata: idelanih, relnih, dvofaznih ili kombinovanih, čijom se primenom mogu izračunati efekti maksimalnih jednovremeno oslobodjenih količina opasnih materija pri udesu.

Treća faza – procena rizika

Osnovni elementi za procenu rizika su verovatnoća i posledica. Ukoliko se rizikom ne može upravljati pod određenim uslovima predviđenim propisima, on se ne može prihvatiti.

Za mogućnost nastanka udesa pri transportu visokotoksičnih materija izuzetno je bitna procena položaja potencijalnih izvora opasnosti. U okviru te procene utvrđuju se:

- podaci o komunikacijama kojima se obavlja transport,
- udaljenost komunikacija od objekata,
- azimut,
- sektori na kojima je verovatnoća udesa najveća,
- relativna visinska razlika,
- prirodne i veštačke prepreke između izvora opasnosti i ugroženih objekata.

Pravilnik je u sklopu mera prevencije, pripravnosti i odgovora na udes propisao subjekte odgovora na udes:

- službe organa unutrašnjih poslova, službe sredstva veze, transportna preduzeća, komunalne službe, vatrogasne službe, centri za obaveštavanje, specijalizovane tehničke ekipe, ekipe za sanaciju, ekotoksikološke laboratorije, analitičke laboratorije,
 - hidrometeorološki zavodi i meteorološke stanice,
 - ekipe hitne medicinske pomoći zavodi za zaštitu zdravlja, instituti i zavodi za medicinu rada, stacionarne zdravstvene ustanove sa odeljenjima za toksikologiju,
 - organi, službe, jedinice, ekipe VS, na osnovu uspostavljene saradnje i usklađenih planova zaštite (specijalizovane jedinice roda ABHO, tehničke službe),
 - štabovi i jedinice civilne zaštite, na osnovu usklađenih planova civilne zaštite.

Prilikom transporta opasnih materija, preduzeća ili firme za čije potrebe se vrši transport su u potpunosti odgovorni za preduzimanje svih potrebnih mera bezbednosti radi sprečavanja rizika od nastanka udesa. Samim tim, oni snose odgovornost i za brzo reagovanje na saniranju posledica ukoliko do udesa ipak dođe. Iako će se u tom slučaju angažovati i ostali specijalizovani organi i službe, prve hitne mere do njihovog dolaska moraju preduzeti timovi tehničke pratnje i osoblje koje je angažovano na transportu materija.

Mogućnost nastanka udesa u Kruševcu i uticaj na kasarnu „Car Lazar”

U kompozitnoj dolini Zapadne Morave Kruševačka kotlina dominira među zapadnomoravskim kotlinama. Njena dužina je 35 km, a prosečna širina 20 km. U njoj je smešten grad Kruševac. Stari deo Kruševca – Stara čaršija nalazi se u aluvijalnoj ravni Zapadne Morave. Kruševac se širio na ravni prve terase na kojoj se grad danas nalazi. Iz ravni na prvu terasu prelazi se odsekom koji se lako zapaža u samom gradu (ispod Lazarevog grada, današnje zgrade MUP-a, kod autobuske stanice, severna strana kasarne „Car Lazar” i dr.). Od 140 000 stanovnika, koji žive u sto naseljenih mesta kruševačke opštine, u samom gradu živi oko 70 000, što je gruba procena, jer se grad širi i spaja sa okolnim selima koja pritom postaju prigradska naselja. Karakteristično je da u Kruševcu preovladavaju niskospratnice, dok su visokospratnice locirane u najužem centru grada i novim naseljima Rasadnik, Ujedinjene nacije i Prnjavor. Grad se nalazi na nadmorskoj visini od oko 160 m, a od uzvišenja u samom gradskom jezgru ističe se Bagdala, koja se nastavlja na prvu rečnu terasu u jugoistočnom delu grada.

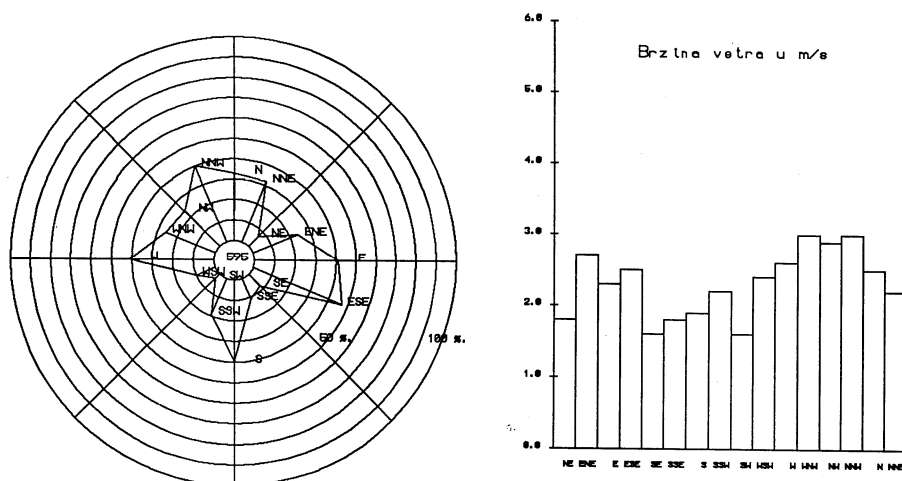
Komunikacije se mogu podeliti u dve celine, i to: u starom gradskom jezgru i u novim naseljima. Širine i dužine ulica u starom delu grada određene su u vreme kada je Kruševac još uvek bio relativno malo mesto bez intenzivnog saobraćaja, pa shodno tome danas predstavljaju prepreku normalnom saobraćaju. U novim naseljima ulice su u većini slučajeva dovoljno prohodne, sem u naseljima Lazarica, Bivolje i Parunovac u kojima je u dosadašnjem periodu preovladavala neplanska gradnja objekata za stanovanje.

Izgradnjom obilaznice duž Zapadne Morave delimično je rešen tranzit. Međutim, i dalje postoji mogućnost udesa u samom gradskom jezgru, jer deo vozila koja prevoze opasne materije prolazi kroz grad, ugrožavajući ga neposredno. S obzirom na to da je tranzit loše rešen, a ulice u gradu nisu dovoljno široke, verovatnoća da dođe do saobraćajnih udesa, a samim tim i hemijskih, velika je.

Raspored vojnih objekata je veoma nepovoljan (pre svega kasarne „Car Lazar“), jer se nalaze u samom gradskom jezgru i verovatno će biti ugroženi ako dođe do hemijskog udesa u gradu.

Svojim saobraćajnicama, infrastrukturom i frekvencijom saobraćaja Kruševac ima određene kritične tačke gde najčešće dolazi do saobraćajnih udesa. Sa tih mesta, u slučaju hemijskog udesa, kontaminacija ne bi ugrozila samo kasarnu već i ostale delove grada, a kako bi se kre-tale pare toksičnih hemikalija (TH), i da li bi kontaminacija zahvatila kasarnu zavisilo bi od smera i brzine duvanja vetra. Zbog mera predostro-žnosti, pravovremenog obaveštavanja, a prvenstveno zaštite ljudstva neophodno je poznavati ruže vetrova i kritične tačke, koje treba locirati i ustanoviti njihov uticaj na kasarnu i okolinu. Prosečni i preovladavajući smerovi vetra kažu da je u 40–50% slučajeva preovlađujući vetar iz smera istok, odnosno između istoka i jugoistoka (od HI „Župa“, HI „Me-rima“, DIP „Savremeni dom“ i „Trajal“) iz smera sever, odnosno severoi-stok („14. oktobar“, Gradska toplana) u 30–40% slučajeva, a sa zapada (DP „Rubin“, TP „Ravnište skladište“) u 30% slučajeva. Prosečna brzina vetra iznosi 1,8–3 m/s, odnosno najpovoljnija za dostizanje najvećeg dometa para i gasova. Zapaža se da leti vetrovi najviše duvaju sa zapa-da, a zimi sa istoka.

Prosečni smerovi i brzine duvanja vetra (ruže i brzine vetrova u Kru-ševcu za period 1970–1990. godine) prikazani su na slici 5.



Slika 5 – Ruže i brzine vetrova u Kruševcu za period 1970–1990. godine

Рис. 5 – Роза и скорость ветра в г. Крушевац с 1970–1990 г.

Figure 5 – Wind rose and wind speed in Kruševac for the period 1970 – 1990

Svi ovi podaci dobijaju se obraćanjem pismenim zahtevom, Hidro-meteorološkom zavodu Republike Srbije.

U tabelama 1–4 prikazane su dubine prostiranja para toksičnih hemikalija, kao i vremena dolaska oblaka i trajanja žarišta hemijske kontaminacije, kao pokazatelji mogućnosti dejstva hemijskih udesa u gradskoj sredini.

Tabela 1 – Dubina prostiranja primarnog oblaka para opasne materije (L2), zavisno od vrste i mase opasne materije, vertikalne stabilnosti vazduha i brzine vetra, pri temperaturi vazduha od 20 stepeni celzijusa – za trenutni zapreminski izvor

Таблица 1 – Глубина распространения опасных зон паров АХОВ вторичного облака (L2), в зависимости от вида и массы опасных веществ, вертикальной устойчивости воздуха и скорости ветра, при температуре от 20С°, с учетом значений источника на момент аварии

Table 1 – Depth of propagation of the primary vapor cloud of hazardous substances (L2), depending on the type and weight of hazardous materials, vertical stability of the air and wind speed, at the air temperature of 20 degrees Celsius - for a current volume source

Opasna materija	Tipski kapacitet rezervoara, t	L ₁ , km								
		konvekcija			izotermija			inverzija		
		1 m/s	2 m/s	4 m/s	2 m/s	4 m/s	6 m/s	1 m/s	2 m/s	4 m/s
Hlor	5	0.65	0.44	0.30	0.88	0.60	0.47	2.62	1.76	1.20
	10	1.11	0.75	0.55	1.50	1.01	0.80	4.46	3.00	2.02
	15	1.52	1.02	0.69	2.05	1.38	1.10	6.08	4.10	2.76
	19	1.82	1.22	0.82	2.45	1.64	1.31	7.26	4.90	3.28
	26	2.19	1.48	1.00	2.95	2.00	1.58	8.76	5.90	4.00
	50	3.79	2.55	1.72	5.11	3.44	2.73	15.2	10.2	6.88
Amonijak	5	0.21	0.14	0.10	0.28	0.19	0.15	0.82	0.54	0.38
	10	0.35	0.24	0.16	0.47	0.32	0.25	1.40	0.94	0.64
	15	0.48	0.32	0.21	0.64	0.43	0.34	1.90	1.28	0.86
	20	0.60	0.40	0.27	0.80	0.54	0.43	2.38	1.60	1.08
	26	0.73	0.49	0.33	0.98	0.66	0.2	2.90	1.96	1.32
Sumpor-dioksd	5	0.18	0.12	0.08	0.23	0.16	0.13	0.70	0.46	0.32
	10	0.30	0.20	0.14	0.40	0.27	0.21	1.18	0.80	0.54
	20	0.50	0.33	0.23	0.67	0.45	0.36	2.00	1.34	0.90
Ugljen-monoksid	5	0.24	0.16	0.11	0.32	0.22	0.17	0.96	0.64	0.44
	10	0.41	0.28	0.18	0.55	0.37	0.29	1.62	1.10	0.74
Fozgen	5	0.38	0.26	0.17	0.51	0.34	0.27	1.52	1.02	0.68
	10	0.64	0.43	0.29	0.86	0.58	0.46	2.56	1.72	1.16

Tabela 2 – Dubina prostiranja opasnih zona para sekundarnog oblaka (L1) pri izlivanju opasne materije u zaštitni bazen, zavisno od vrste i mase opasne materije, vertikalne stabilnosti vazduha i brzine vetra, pri temperaturi od 20 stepeni celzijusa, u trajanju od 30 minuta

Таблица 2 – Глубина распространения опасных зон паров АХОВ вторичного облака (L1) при разливе опасных веществ в защитный бассейн, в зависимости от вида и массы опасных веществ, вертикальной стабильности воздуха и скорости ветра, при температуре от 20С°, в получасовом интервале времени

Table 2 – Depth of spreading the dangerous zone of secondary vapor clouds (L1) at a spill of hazardous materials into a protective pool, depending on the type and weight of hazardous materials, vertical stability of the air and the wind speed, at a temperature of 20 degrees Celsius for 30 minutes

Opasna materija	Tipski kapacitet rezervoara, t	L ₂ , km								
		konvekcija			izotermija			inverzija		
		1 m/s	2 m/s	4 m/s	2 m/s	4 m/s	6 m/s	1 m/s	2 m/s	4 m/s
Amonijak	5	0.11	0.10	0.09	0.20	0.19	0.19	0.44	0.40	0.38
	10	0.16	0.14	0.14	0.29	0.28	0.27	0.64	0.58	0.56
	15	0.20	0.18	0.18	0.37	0.35	0.34	0.80	0.74	0.70
	20	0.24	0.22	0.21	0.43	0.41	0.40	0.96	0.86	0.82
	26	0.27	0.25	0.23	0.50	0.47	0.46	1.10	1.00	0.94
Hlor	5	0.57	0.52	0.49	1.04	0.98	0.97	2.28	2.08	1.96
	10	0.84	0.76	0.72	1.52	1.44	1.42	3.34	3.04	2.88
	15	1.04	0.95	0.95	1.90	1.80	1.77	4.16	3.80	3.60
	19	1.18	1.08	1.08	2.16	2.05	2.01	4.74	4.32	4.19
	26	1.41	1.28	1.22	2.57	2.44	2.39	5.64	5.14	4.88
50	2.02	1.84	1.75	3.68	3.50	3.43	8.08	7.36	7.00	
Sumpor-dioksid	5	0.11	0.10	0.09	0.20	0.19	0.18	0.44	0.40	0.38
	10	0.16	0.15	0.14	0.29	0.28	0.27	0.64	0.58	0.56
	20	0.23	0.21	0.21	0.42	0.41	0.39	0.92	0.84	0.82
Fozgen	5	0.35	0.32	0.30	0.63	0.60	0.58	1.38	1.26	1.20
	10	0.55	0.46	0.44	0.92	0.87	0.86	2.02	1.84	1.74

Tabela 3 – Orijentaciono vreme (t1) dolaska kontaminiranog oblaka do određenog mesta
Таблица 3 – Примерное время (t1) приближения загрязненного облака к определенному месту
Table 3 – Approximate time (t1) of contaminated clouds reaching a particular place

Rastojanje od žarišta udesa, km	t ₁ , min			
	v=1m/s	v=2m/s	v=3m/s	v=5m/s
1	16.7	8.3	5.5	3.3
2	33.3	16.7	11.1	6.7
3	50.0	25.0	16.7	10.0
4	66.7	33.3	22.2	13.3
5	83.3	41.7	27.8	16.7
6	100.0	50.0	33.3	20.0
8	133.3	66.7	44.4	26.7
10	166.7	83.3	55.5	33.3
1	200.0	100.0	66.7	40.0
15	250.0	125.0	83.3	50.0
20	333.3	166.7	111.1	66.7
25	416.7	208.3	138.9	83.3
30	500.0	250.0	166.7	100.0

Tabela 4 – Orijentaciona vremena trajanja (t2) žarišta hemijske kontaminacije u rejonu udesa, zavisno od vrste i mase opasnih materija u rezervoaru, pri izlivanju u zaštitni bazen ili po vlažnom zemljištu, pri temperaturi vazduha od 20 stepeni celzijusa i za brzine vetra od 1 do 6 m/s

Таблица 4 - Примерная продолжительность (t2) химического загрязнения в районе аварии, в зависимости от вида и массы вредных веществ в резервуаре, при разливе в защитный бассейн или на влажную почву, при температуре 20С° и скорости ветра от 1 до 6 м / с

Table 4 - Approximate duration (t2) of chemical contamination in the area of the accident, depending on the type and weight of hazardous substances in the tank, at a spill into a protective pool or on wet soil at a temperature of 20 degrees Celsius and at a wind speed from 1 to 6 m / s

Mesto izlivanja	t ₂				
	amonijak	hlor	sumpor-dioksid	ugljen-monoksid	fozgen
Zaštitni bazen	1.4 do 6 h	1 do 4 h	3 do 13 h	0.5 do 2 min	3 do 13 h
Okolno zemljište	2 do 9 min	2 do 8 min	4 do 18 min	do 10 sek	4 do 17 min

Kritične tačke u drumskom saobraćaju

Kritična tačka 1 (KT-1) $x = 4831500$; $y = 7530500$ ³ : raskrsnica puta Kruševac–Kopaonik (levo); Kraljevo–Vrnjačka Banja (pravo) iz smera Čičevca.

Zbog veoma visokog kvaliteta saobraćajnice od Čičevca ka Kraljevu (obilaznica oko Kruševca) vozila se kreću povećanom brzinom, bez obzira na ograničenje. Nedostatak semafora utiče na mogućnost udesa na samoj raskrsnici, gde može doći do sudara vozila, koja idu iz pravca Čičevca i Kraljeva sa onima koja idu iz pravca s. Makrešana.

Svoj uticaj kanališe prostiranje oblaka para direktno ka kasarni, zbog magistralnog puta Makrešane–Kruševac koji vodi od kritične tačke ka kasarni.

Kritična tačka 2 (KT-2) $x = 4829550$; $y = 7524650$: raskrsnica kod s. Jasika (kraj jasičkog puta iz smera Kruševca).

Pošto se radi o obilaznici, pomenutoj u određenoj KT-1 i raskrsnici koja ima semafore (u većini slučajeva ne rade), verovatnoća udesa je ista kao u prethodnoj tački.

Udaljenost od kasarne do ove tačke je oko 3,5 km, a visinska razlika je mala. Prateći vetar, koji duva iz ovog smera, manjeg je intenziteta, tako da je dolazak oblaka para toksičnih hemikalija manje verovatan. Gledajući udaljenje, relativnu visinsku razliku i objekte infrastrukture, ne bi trebalo da bilo kakav hemijski udes na ovoj kritičnoj tački ugrozi kasarnu.

Kritična tačka 3 (KT-3) $x = 4827050$; $y = 7528250$: raskrsnica u Bivolju (skretanje pre mosta na Rasini, kod benzinske stanice Latifović–AVIA)

U prethodne dve kritične tačke radilo se o prevozu toksičnih hemikalija, koji ne prolazi kroz Kruševac, već se koristi obilaznica. Zapaža se da je uticaj mogućeg hemijskog udesa na kasarnu veoma mali. Međutim, ulaskom cisterni u gradsku zonu problem se povećava. Deo vozila ne koristi obilaznicu, kako bi kod s. Jasika skrenuli za Kruševac (kada idu iz Čičevca), već kod KT-1 skreću levo i kroz s. Makrešane, s. Dedinu i Bivolje idu za Kruševac ili kod KT-3 skreću i nastavljaju ka jugu. Bez obzira na to što je put ka jugu, preko jezera Čelije, zabranjen za kretanje cisterni, veliki broj takvih vozila ovu deonicu koristi, znajući ili ne koje su posledice izlivanja toksičnih hemikalija u jezero.

Zbog povećane frekvencije saobraćaja kod KT-3 verovatnoća udesa je velika, signalizacija je prisutna, ali rizik ipak postoji. Tu bi neposredno bila ugrožena i reka Rasina, jer je u samoj blizini KT-3.

Relativna visinska razlika ne utiče bitno na prostiranje para toksičnih hemikalija, a udaljenost do kasarne (oko 600 m) i objekti infrastrukture (kanalisano dejstvo) čine da opasnost po kasarnu bude velika. Znajući da

³ Pravouglo koordinata topografske karte 1 : 50.000 Kruševac 4.

je verovatan smer vetra, a ujedno i najčešći sa istoka, kasarna bi bila zahvaćena parama toksičnih hemikalija i, ukoliko se pravovremeno ne preduzmu mere zaštite, došlo bi do većih posledica. Iz tabele 3 se vidi za koje vreme do kasarne stiže oblak para toksičnih hemikalija.

Kritična tačka 4 (KT-4) $x = 4826650$; $y = 7526750$: Raskrsnica kod kasarne „Car Lazar“.

Pošto deo vozila ide pomenutim delom, kroz samo središte Kruševca, nailazi na raskrsnicu kod kasarne (skretanje ka autobuskoj stanici). Iako je saobraćajnica veoma široka, nailazi se na zonu pojačanog saobraćaja, gde su saobraćajni udesi gotovo svakodnevni. Bez obzira na to što postoji semafor, do udesa dolazi prilikom naglog kočenja ili nepoštovanja prvenstva prolaza, kada signalizacija ne radi. Hemijski udes na ovoj raskrsnici ugrozio bi u potpunosti kasarnu i ljudstvo u njoj, jer se ona graniči sa raskrsnicom. Neadekvatan rad dežurnih organa doveo bi do katastrofalnih posledica u kasarni.

Kritična tačka 5 (KT-5) $x = 4826800$; $y = 7526500$: Raskrsnica kod Lazarice (Stara čaršija).

Deo vozila koji preko jasičkog puta prolazi kroz grad koristi ovu raskrsnicu. Šira je od ostalih, obezbeđena semaforima, ali se ne isključuje mogućnost nastanka udesa i na njoj, zbog velike frekvencije saobraćaja u zoni autobuske stanice. Objekti gradske i saobraćajne infrastrukture ispoljavaju negativan uticaj po kasarnu, jer kanališu prostiranje para oblaka toksičnih hemikalija direktno ka kasarni. Udaljenost KT-5 od kasarne je oko 500 m, i ukoliko duva zapadni vetar (što je karakteristično za letnji period) kasarna bi bila ugrožena, a neblagovremeno izveštavanje i preduzimanje mera zaštite moglo bi izazvati veće posledice.

Kritične tačke u železničkom saobraćaju

Pored drumskog veoma je kritičan i železnički saobraćaj. Poznavajući stanje naših pruga i vozova, i da se veliki broj TH prevozi na ovaj način, ne sme se isključiti mogućnost nastanka udesa u železničkom saobraćaju. U Kruševcu, takođe, postoje određene kritične tačke na prugama, gde je velika mogućnost nastanka hemijskog udesa.

Kritična tačka 6 (KT-6) $x = 4827700$; $y = 7529050$: Železnička stanica u Dedini.

Znajući da hemijska industrija „Župa“ i korporacija „Trajal“ koriste određene TH i da ih stalno prevoze (najčešće železnicom), verovatnoća nastanka hemijskog udesa je velika. Zbog neispravnosti vozova i pruga, kao i gomilanja kompozicija na ovoj tački, moguća su razna iskliznuća, a pošto su u neposrednoj blizini hemijske industrije, može doći do proširenja udesa i na hemijska postrojenja, pa i do hemijskih udesa širih razmera.

Udaljenost kasarne od KT-6 je oko 1,2 km, a vetar iz istočnog smera (karakterističan zimi) može dovesti oblak para TH na kasarnu i ugroziti je. Objekti gradske i saobraćajne infrastrukture mogu uticati na prostiranje para TH, zavisno od smera i jačine vetra. Međutim, kasarna nije tako blizu ove tačke, tako da neće biti direktno ugrožena, a pravovremenim obaveštavanjem mogu se izbeći bilo kakve posledice.

Kritična tačka 7 (KT-7) $x = 4827100$; $y = 7526150$: Glavna železnička stanica.

Pored železničke stanice u Dedini veliki rizik za nastajanje udesa predstavlja i glavna železnička stanica. Udaljenost do kasarne je oko 200 m, tako da bi kasarna bila neposredno ugrožena i izložena opasnosti, a ako se na vreme ne preduzmu mere zaštite i evakuacija može doći do većih posledica. Da bi pare u potpunosti zahvatile kasarnu vetar bi trebalo da duva sa severa (što je manje verovatno), ali neposredna blizina KT-7 do kasarne čini da je ona veoma ugrožena, ukoliko dođe do udesa na ovoj tački.

Sve kritične tačke su podjednako verovatne i mogućnost nastanka udesa na nekoj od njih je ista. Nije isključen ni udes van ovih mesta, ali to su tačke gde u normalnom saobraćaju dolazi do najvećeg broja saobraćajnih udesa, tako da je i hemijski udes na njima najverovatniji. Međutim, može se zaključiti da sve kritične tačke ne ugrožavaju podjednako kasarnu, i da su najopasnije KT-4, KT-5 i KT-7 zbog neposredne blizine.

Da li će oblak para stići do kasarne zavisi od količine oslobođene materije, relativne visinske razlike tačke i kasarne, objekata gradske i saobraćajne infrastrukture, a prvenstveno udaljenosti mesta udesa od kasarne i smera i jačine vetra (pošto se smer duvanja vetrova ne može predvideti, ne može se tačno znati ni hoće li kasarna biti zahvaćena ili ne). Najsigurnije je preduzeti adekvatne mere zaštite i evakuaciju (ako je potrebna) odmah po obaveštavanju, bez obzira na to o kojoj se udaljenosti radi, radi zaštite ljudskih života. Na taj način mogu se izbeći bilo kakve posledice i eventualni gubici ljudstva.

Organizacija zaštite od hemijske kontaminacije kao posledice hemijskog udesa u rejonu kasarne

Zaštita od hemijskih kontaminacija organizuje se na nivou garnizona, na osnovu izvršenih procena opasnosti. Za potrebe zaštite razrađuju se precizna uputstva za postupke dežurnih organa, timova, jedinica i ustanova i komandi i štabova u zaštiti ljudstva, hrane, vode, sredstava, opreme i objekata. Osnovu zaštite čine formacijska zaštitna sredstva i zaštitna svojstva objekata i opreme jedinica. U odnosu na izvršene procene i stepen opasnosti objekti se prilagođavaju potrebama zaštite ljudi i materijalnih dobara (hermetizacija, pokrivanje i sl.). Zaštita jedinica AB-

HO i drugih čije se angažovanje predviđa u neposredno ugroženim rejonima (utvrđivanje vrste i stepena opasnosti, uklanjanje posledica) oganizuje se i upotrebom posebnih formacijskih i drugih zaštitnih sredstava posebne namene (zaštitni kombinezoni, izolujući aparati, rezervna , industrijska cedila).

Organizacija zaštite je prioritetan zadatak svih nosilaca aktivnosti u obezbeđenju, sprovodi se radi očuvanja života i zdravlja ljudi i stvaranja uslova za život i rad jedinica.

Organizacija zaštite obuhvata:

- postupke jedinica na znak upozorenja i uzbune,
- način zaštite ljudstva od kontaminacije,
- mere za zaštitu životinja, artikala hrane, vode i materijalnih dobara i
- izbor pogodnih rejona i pravaca za evakuaciju iz ugroženih rejona.

Specifičnosti kasarne „Car Lazar”

Kasarna „Car Lazar” locirana je u severoistočnom delu Kruševca i nalazi se na nadmorskoj visini od oko 160 metara. Njen položaj je veoma nepovoljan, jer se nalazi u samom gradskom jezgru, na takvoj udaljenosti od mogućih udesa da bi aero-zagađenje u relativno kratkom vremenu stiglo do nje. Udaljenost kasarne od kritičnih tačaka i uticaj mogućeg hemijskog udesa sa tih mesta obrađeni su u prethodnoj tezi.

Iz svega toga može se i zaključiti da na bezbednost kasarne i organizaciju zaštite od potencijalnog hemijskog udesa u drumskom i železničkom saobraćaju značajan uticaj ima i njen geografski položaj. U kasarni su smešteni 246. bataljon ABHO (bez 1. i 3. čete), Centar ABHO (C ABHO), Vojna akademija (VA) – smer ABHO, Komanda za razvoj rasinske brigade (KzR Rsbr) i Centar za obuku logistike (COLo).

Lična zaštita

Ukoliko je došlo do nailaska para toksičnih hemikalija, samo pravilna lična zaštita sa odgovarajućim sredstvima može spasiti život pojedincu. Naravno, da li će zaštita biti pravilna zavisi od opremljenosti pojedinca ličnim zaštitnim sredstvima i obučenosti u rukovanju. Lična, odnosno pojedinačna zaštita predstavlja osnovnu zaštitu pojedinca, gde sam pojedinac neposredno učestvuje u zaštiti sopstvenog tela, i od njega najviše zavisi da li će ona biti uspešna ili ne. Najbitnija je zaštita organa za disanje koja je obavezna i primarna. Ne manje važna je i zaštita tela, ali se ona ne primenjuje uvek, već samo u određenim slučajevima. 246. bataljon ABHO, Centar ABHO (C ABHO), Vojna akademija (VA) – smer ABHO, Komanda za razvoj rasinske brigade (KzR Rsbr) i Centar za obuku

logistike (COLO) opremljeni su formacijskim sredstvima za ličnu zaštitu tj. ličnim zaštitnim kompletom:

- zaštitna maska M2 i M2 F;
- zaštitne rukavice;
- zaštitni ogrtač;
- zaštitne čarape;
- lični pribor za dekontaminaciju M3.

246. bataljon ABHO, Centar ABHO (C ABHO) i Vojna akademija (VA) – smer ABHO opremljeni su zaštitnim kombinezonima i zaštitnim čizmama, što u suštini predstavlja opremu za kompletnu zaštitu tela. Veliki problem može se javiti u prepodnevnom satima, kada je u kasarni prisutan veliki broj zaposlenih koji nemaju zaštitna sredstva. Taj problem može biti rešen samo blagovremenim izmeštanjem, dok pare toksičnih hemikalija ne stignu do kasarne, što predstavlja izuzetno složen posao.

Kolektivna zaštita

Osnovu kolektivne zaštite čine veštački i prirodni objekti (pećine, vrtače). U veštačke objekte svrstavaju se fortifikacijski i građevinski objekti.

U fortifikacijske objekte spadaju:

- skloništa poljskog tipa,
- saobraćajnice,
- rovovi i sl.

Građevinski objekti koji se mogu koristiti za kolektivnu zaštitu su:

- gradska, industrijska skloništa,
- podrumne prostorije,
- metro,
- tuneli,
- propusti i dr.

Potpunu zaštitu od para i gasova toksičnih hemikalija pružaju samo skloništa.

Kasarna „Car Lazar“ nema svoje sklonište, ali postoje podrumne i druge prostorije koje u određenim slučajevima mogu poslužiti kao objekti za kolektivnu zaštitu. Kod objekata u kasarni javlja se problem hermetizacije. Građevine su starijeg datuma, pa prozori u prostorijama slabije dihtuju, tako da hermetizacija nije na potrebnom nivou. Da bi se postojeći objekti mogli koristiti za kolektivnu zaštitu stolarija se mora zameniti novom i tako obezbediti potrebna hermetizacija. Uz korišćenje ličnih zaštitnih sredstava u ovako uređenim prostorijama ljudstvo se može zaštititi od mogućeg nailaska para i gasova toksičnih hemikalija. Naravno, u granicama mogućnosti, jer ako su u pitanju veoma visoke koncentracije, ljudstvo je neophodno evakuisati u rejonu na kojima je kontaminacija manje verovatna ili nemoguća.

Evakuacija ljudstva

Evakuacija, kao jedan od bitnijih elemenata zaštite ljudstva, mora biti pravovremena i unapred planirana (u zavisnosti od nailaska para toksičnih hemikalija). U slučaju nailaska kontaminacije i odlučivanja za evakuaciju mora se povesti računa o samom načinu evakuacije ljudstva i kojim bi se pravcem ona izvela. Kasarna se nalazi u samom gradu, tako da je evakuacija veoma otežana, zbog malog broja komunikacija i njihovog zakrčenja. Saobraćaj bi bio prekinut na komunikacijama Kruševac–Stalać, Kruševac–Gaglovo i Kruševac–Kraljevo zbog povećane frekvencije saobraćaja. Zbog hitnosti je najsigurnije da se evakuacija izvrši peške, jer vozila mogu biti jedan od otežavajućih faktora ukoliko dođe do zakrčenja komunikacija.

Prohodnost pravcem istok–zapad otežana je ulicom kroz stari deo grada (stara čaršija), iako je obilaznica duž Zapadne Morave rešila delimično problem do mosta kod s. Jasika. Prohodnost pravcem sever–jug relativno je dobra, ali „uska grla“ mogu biti deonice od Industrije „14. oktobar“, kroz gradsko jezgro do aerodroma. Komunikacije prema eventualnim rejonima za evakuaciju su seoskog tipa sa asfaltnom podlogom i sa malim kapacitetom. Komunikacije prema podnožju Gledićkih planina su suženog kapaciteta zbog malog broja broja mostova na Zapadnoj Moravi. Sam rejon sela Konjuh, Kukljin i Jasika nije pogodan za evakuaciju zbog deponije koja je locirana u selu Srnje. Pogodni rejon za evakuaciju, ako se uzimaju u obzir svi već navedeni podaci, bili bi u rejonu Jastrebcu i podjastrebačkih sela. Kapacitet tih naseljenih mesta je takav da privremeno mogu primiti celokupno gradsko stanovništvo.

Mora se računati i na faktor panike, ne samo kod pripadnika vojske, već i kod ostalog stanovništva, što itekako utiče na prohodnost i mogućnost izvršenja evakuacije. Panika može mnogo uticati na izvršenje celokupne zaštite ljudstva, Počevši od postupaka dežurnih organa, koji su najpresudniji za usmeravanje situacije, pa sve do kraja (izvršenja moguće evakuacije), ljudstvo se mora pravilno upućivati i adekvatno informisati kako ne bi došlo do panike, koja bi ugrozila živote i izazvala neposredne gubitke. Zbog toga dežurni organi i komandiri jedinica moraju vladati stanjem u jedinici i ne dozvoliti širenje panike.

U tabelama 5 i 6 navedeni su podaci o mogućim gubicima ljudstva u žarištu udesa i u zonama prostiranja para opasnih materija.

Tabela 5 – Mogući gubici u ljudstvu u žarištu udesa izazvanih opasnim materijama, zavisno od obezbeđenosti ljudstva zaštitnim maskama⁴

Таблица 5 – Возможные потери населения в очаге аварии транспорта с опасным грузом, в зависимости от наличия защитных средств

Table 5 – Potential losses in manpower in the focus of accidents caused by dangerous substances, depending on the protection of personnel by protective masks

Obezbeđenost specijalnim zaštitnim maskama, %	0	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Gubici u ljudstvu, %	do 100	75	65	58	50	40	35	25	18	do 10

Tabela 6 – Mogući gubici u ljudstvu u zoni prostiranja oblaka para opasnih materija čiji je stepen štetnosti 4 ili 3 (hlor, fosgen, fluorovodonik)

Таблица 6 – Возможные потери населения в зоне распространения облака зараженного воздуха, со степенью опасности 4 или 3 (хлор, фосген, фтороводород)

Table 6 – Possible losses in manpower in the area of spreading vapor clouds of dangerous substances with the degree of hazard of 4 or 3 (chlorine, phosgene, hydrogen fluoride)

Nivo gubitaka	Obezbeđenost zaštitnim maskama, %	Opšta ocena uslova zaštićenosti ljudstva	Gubici, %
1	100	<i>povoljan: visok stepen efikasnosti sistema obaveštavanja i obučenosti ljudstva</i>	2 do 3
2	100	<i>srednji: prosečan stepen efikasnosti sistema obaveštavanja i obučenosti ljudstva</i>	4 do 6
3	100	<i>nepovoljan: nizak stepen efikasnosti sistema obaveštavanja i obučenosti ljudstva</i>	7 do 10
4	0	<i>krajnje nizak stepen efikasnosti sistema obaveštavanja i obučenosti ljudstva</i>	25 do 30

Zaključak

Sagledavajući sve specifičnosti udesa pri proizvodnji i transportu visokotoksičnih materija, može se zaključiti da je organizacija odgovora na takvu vrstu udesa, kao jedan od prioriternih zadataka, izuzetno složena i kompleksna aktivnost. Ona zahteva potpunu stručnu osposobljenost svih subjekata, pa je potrebno obučavanje adekvatnog kadra koji će biti u mogućnosti da efikasno odgovori na udes izazvan opasnim materijama.

Uzimajući u obzir sve specifičnosti udesa sa opasnim materijama, može se zaključiti da je organizacija upravljanja rizikom kod ovakvih vrsta

⁴ Podaci se odnose na opasne materije sa stepenom štetnosti 4 ili 3 (hlor, fosgen, fluorovodonik i dr.), prema JUS Z.C0.012

vanrednih situacija izuzetno složena i kompleksna i da zahteva sistemizovan i multidisciplinarni pristup. Krajnji cilj svih napora pri razmatranju ovog problema svodi se na tzv. minimizaciju rizika u svim fazama procesa upravljanja akcidentnim situacijama.

Postojanje kritičnih tačaka u drumskom i železničkom saobraćaju na teritoriji Kruševca u direktnoj je vezi sa mogućnošću nastanka udesa izazvanog opasnim materijama. Vojska Srbije ima značajno mesto i ulogu u obezbeđenju sopstvenih snaga i sredstava i struktura van svog sastava od takvih udesa. Sagledavanjem svih elemenata procene potencijalnog udesa izazvanog opasnim materijama i njihovog međusobnog uticaja izvodi se zaključak na osnovu kojeg se planira i izvodi obezbeđenje jedinica i ustanova Vojske od takvog udesa.

Kasarna „Car Lazar“ u Kruševcu je veoma ugrožena u slučaju nastanka udesa izazvanog opasnim materijama u drumskom i železničkom saobraćaju, pa naročitu pažnju treba obratiti na obezbeđenje od takvog udesa.

Literatura

Bursać, Ž., Galović, I., Hrvačić, N., Kocijan, S., 1990, Opasne stvari – mjere sigurnosti, sprečavanje, saniranje posljedica, Zavod za općenarodnu odbranu i društvenu samozastitu, Zagreb.

Luković, Z., Milenković, Z., Marinković, G., 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, Beograd, GŠ VSiCG Sektor KoV, Uprava ABHO.

Privremeno uputstvo za obezbeđenje Vojske Srbije od nuklearnih i hemijskih udesa u miru, 2008, Beograd, GŠ VS, Uprava za operativne poslove.

Rutić, S., 2009, Obrazovne potrebe starešinskog kadra Vojske Srbije za upravljanje u udesima sa opasnim materijama, magistarska teza, Niš.

Službeni glasnik RS, br. 60/94, 1994, Pravilnik o metodologiji za procenu opasnosti od hemijskog udesa i od zagađivanja životne sredine, merama pripreme i merama za otklanjanje posledica.

ПРОГНОЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВАРИИ ТРАНСПОРТА С ОПАСНЫМ ГРУЗОМ НА КАЗАРМУ «ЦАР ЛАЗАР» В ГОРОДЕ КРУШЕВАЦ

Срджан З. Рутич

Вооруженные силы РС, Штаб по обучению, Центр РХБЗ, г. Крушевац,

Деян Р. Инджич

Университет обороны в г. Белград, Военная академия

ОБЛАСТЬ: охрана окружающей среды, химические технологии

ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

В данной работе выполнен прогноз рисков от железнодорожной и автодорожной аварий транспорта с опасным грузом на территории города Крушевац. Определены критические пункты железнодорожного и автодорожного маршрута в городе Крушевац, выполнен анализ рисков от аварий железнодорожного и автодорожного транспорта с опасным грузом, а также выполнен прогноз последствий аварии для казармы «Цар Лазар» в городе Крушевац.

Результаты анализа показали, что казарма «Цар Лазар» находится в зоне риска от последствий аварии автодорожного и железнодорожного транспорта с опасным грузом. В этой связи необходимо уделить особое внимание обеспечению мер по безопасности и предотвращению аварии транспорта с опасным грузом.

Ключевые слова: токсичные химикаты, прогноз ситуации, критические пункты, автодорожный и железнодорожный транспорт, опасные вещества, РХБЗ, авария транспорта с опасным грузом.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ACCIDENTS INVOLVING
HAZARDOUS SUBSTANCES ON CAR LAZAR MILITARY
BARRACKS IN KRUŠEVAC

Srđan Z. Rutić

Army of Serbia, Training Command, CBRN Centre, Kruševac

Dejan R. Indjic

University of defence in Belgrade, Military academy

FIELD: Environmental protection, Chemical technology

ARTICLE TYPE: Professional paper

ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Summary:

The paper analyzes the risk of accidents involving hazardous substances during road and rail traffic in the city of Kruševac. Critical points in road and rail transport in the city of Kruševac are defined, followed by an analysis of the possibility of accidents in the transport of dangerous goods as well as an assessment of their impact on Car Lazar military barracks in Kruševac. It was concluded that Car Lazar barracks in Kruševac are significantly threatened by a possibility of accidents with hazardous materials in road and rail transport; therefore, particular attention should be paid to the prevention from accidents involving hazardous substances.

Introduction

Risks of chemical contamination due to accidents with hazardous materials are diverse and possible to occur as events in the past few years have shown.

In urban areas, there are frequent breakdowns in stationary and mobile facilities (in production systems, warehouses, storage tanks, pipelines and conveyor belts). Harmful and hazardous substances can be poured into the environment, often suddenly and without control.

By transporting highly toxic substances from one location to another, transport vehicles become active participants in traffic. Failure to comply with traffic regulations, especially in road transport, can often cause large-scale chemical accidents although all other measures related to proper handling and storage of hazardous substances in the vehicle are complied with.

One of the factors comprised in the methodology of risk management is a three-phase analysis of the risk of accidents:

- first phase - identification of hazards,*
- second phase - analysis of the consequences, and*
- third phase - risk assessment.*

The first phase deals with the collection of all data on dangerous activities and hazardous materials necessary for the impact analysis and risk assessment. The ultimate goal is to determine the types of potential contaminants and the type and properties of chemical substances that are transported. A starting point must be a collection of data on companies and other subjects engaged in the production, processing, storage and transportation of hazardous materials, as well as information about the type and amount of these substances. All hazardous materials are defined in the Regulations, in the list of hazardous substances. Risk assessment is done when hazardous substances that can cause chemical accidents are present in quantities equal to or greater than those specified in the list of hazardous substances (Article 4, Regulations on the methodology for risk assessment of chemical accidents and environmental pollution, Official Gazette of RS No. 60/94, Belgrade, 1994). A registry of potential hazardous sources is then created. Each substance from the registry has its properties determined. This data is important because of protection types, decontamination methods, methods for measuring affected areas, etc.

In the second phase, during preparation for the analysis, a team of professionals of different specialties is formed. A display of possible developments is obtained by modeling the effects, which leads to modelling a possible extent of accidents and their consequences for lives and health of people and the environment. Modeling is a complex process, performed by using different models of effects: ideal, real, two-phase or combined ones. Their application helps in calculating the effects of the maximum amount of hazardous substances simultaneously released during an accident.

The third phase is risk assessment. During transportation of highly toxic substances, it is extremely important to estimate a position of potential sources of danger. The parts of risk assessment are:

- data on transport communications,*
- distance of the communications from facilities,*

- azimuth,
- sectors with the highest probability of an accident,
- relative altitude difference,
- natural and artificial barriers between hazard sources and vulnerable facilities.

Military facilities in Kruševac are at unfavorable locations (notably Car Lazar barracks), because they are in the city center and are likely to be put at risk in case of a chemical accident in the city.

All critical points in road and rail transport are equally probable and the possibility of an accident at one of them is the same. Accidents can happen anywhere, but since these are the points with the largest number of traffic accidents during everyday traffic, chemical accidents are most likely to occur at these points. However, it can be concluded that the most dangerous points for endangering Car Lazar barracks are CT-4, CT-5 and CT-7 because of their proximity to the barracks.

Whether vapor clouds are to reach the barracks depends on the amount of released material, the relative altitude difference, urban and transport infrastructure, and, primarily, on the distance of the accident from the barracks as well as the direction and strength of wind (since winds are unpredictable, it is not possible to know with certainty whether the barracks will be affected or not). It is safest to take adequate measures for the protection and evacuation (if necessary) immediately upon notification, regardless of the distance to the accident point, with the aim of saving human lives, thus avoiding any consequences and possible loss of manpower.

Protection from chemical contamination is organized at the level of the garrison, on the basis of completed risk assessment. For the purpose of protection, there are specific, elaborated guidelines for the activities of on-duty bodies, teams, units and institutions as well as for the activities of commands dealing with the protection of personnel, food, water, weapons, equipment and facilities. The protection fundamentals comprise protective equipment and protective properties of buildings and equipment of units. In accordance with the assessment and a hazard level, facilities are adapted to protect people and goods (air-tight sealing, coverage, etc.). The protection of NBC units and others engaged in immediately affected regions is also provided by protective equipment for special purposes (protective overalls, isolating equipment, spare and industrial strainers).

The organization of protection is a priority task for all safety personnel and it is carried out in order to save lives and health of people and create favourable conditions for life and operation of units.

Conclusion

When all the specific details of accidents during production and transport of highly toxic substances are taken into account, it can be concluded that the organization of the answer to this kind of accidents is an extremely complicated and complex activity that requires fully

qualified personnel, trained to effectively respond to accidents with hazardous materials.

It can also be concluded that the organization of risk management in this kind of emergency situation is an extremely complicated and complex activity, requiring a systematic and multidisciplinary approach. The ultimate goal of all efforts in addressing this problem is to reduce, ie. to minimize risk in all phases of accident management.

The existence of critical points in road and rail transport in Kruševac is directly related to a possibility of accidents involving hazardous substances. The Army of Serbia has a significant place and role in preventing such accidents both in the military and the civilian sector. After taking into account all the elements of the assessment of potential accidents involving hazardous substances and their mutual influence, one can draw a conclusion which is a basis for planning and organising Army units and institutions in case of accidents involving hazardous substances.

Car Lazar barracks in Kruševac are at high risk of accidents with hazardous materials in road and rail transport; therefore, a particular attention should be paid to the prevention from accidents involving hazardous substances.

Key words: toxic chemicals; assessment; critical point; road and rail transport; hazardous materials; CBRN; accidents involving hazardous substances.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 21. 09. 2014.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 15. 10. 2014.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 17. 10. 2014.

© 2016 Autori. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirao se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Авторы. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Authors. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



ORGANIZACIJA INŽINJERIJSKIH RADOVA PRI RUŠENJU DEONICE PUTA

Nenad V. Kovačević

Univerzitet odbrane u Beogradu, Vojna akademija,
kadetska brigada

e-mail: inz.84kula@gmail.com

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0840-0063>

DOI: 10.5937/vojtehg64-7432

OBLAST: inženjerija

VRSTA ČLANKA: iskustva iz prakse

JEZIK ČLANKA: srpski

Sažetak:

Prilikom upotrebe minsko-eksplozivnih sredstava za rušenje elemenata, materijala i objekata jako je bitna organizacija izvođenja radova prilikom pripreme i u toku izvođenja samog rušenja. Za izvođenje ovih radova u Vojski Srbije postoje specijalizovane i namenske jedinice. Radi se o jedinicama jedne od specijalnosti u okviru roda inženjerije, pionirske specijalnosti, koje egzistiraju u okviru inženjerijskih bataljona, odnosno brigada KoV. Organizacija inženjerijskih radova zapravo predstavlja iznalaženje najcelishodnijeg rešenja u pogledu upotrebe pokretnih stvari, ali i naprezanja ljudstva, pri rušenju konkretnog objekta – deonice puta. Pri tome veliki problem predstavlja literatura, a posebno norme za izvođenje radova, jer izuzev nekoliko skripti za internu upotrebu, sve se svodi na literaturu iz sedamdesetih ili početak osamdesetih godina prošlog veka. Posebno je razrađena primena mera zaštite prilikom upotrebe eksploziva.

Ključne reči: putevi, literatura, eksplozivi, inženjerijski radovi, rušenje.

Uvod

Pod rušenjem elemenata podrazumevamo fizičko narušavanje oblika i prestanak njihove osnovne funkcije. Elementi se mogu rušiti samostalno, pojedinačno ili više elemenata zajedno. Skup elemenata povezanih u jedan konstruktivni sistem predstavlja jedan objekat. Elementi u jednom sistemu ruše se zajedno sa objektom koji se ruši. Pod pojmom

rušenja podrazumeva se uništavanje ili onesposobljavanje objekata, predmeta ili materijala radi stvaranja ili uklanjanja prepreka. Prepreke koje nastaju kao posledica rušenja delova komunikacija, komunikacijskih i drugih objekata, predstavljaju važan element sistema zaprečavanja na zemljišnim prostorijama. One mogu znatno da uspore, otežaju, a u povoljnim uslovima i da spreče oružanim snagama pokret određenim pravcima. Pored toga, rušenjem raznih objekata nanosi se određena materijalna šteta, otežava ili onemogućava proizvodnja i korišćenje materijalnih dobara. (Škarec, 1979)

U zavisnosti od cilja koji se rušenjem želi postići, raspoloživog vremena, snaga i sredstava i neprijateljskih tehničkih mogućnosti, objekti se mogu rušiti:

- potpuno ili
- delimično. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

Potpuno rušenje objekata vrši se razaranjem u toj meri da postanu nefunkcionalni, a njihova opravka neracionalna. Potpuno rušenje većinom se izvodi kod manjih objekata, propusta, mostova manjih raspona (čija je dužina manja od tehničkih mogućnosti sredstava za savlađivanje prepreka), kraćih tunela, zgrada, objekata i raznih pomoćnih manjih konstrukcija. Veliki objekti, kao luke, pristaništa, aerodromi, nasipi, mostovi većih raspona, kompleksna industrijska proizvodna i energetska postrojenja izuzetno se ruše potpuno.

Delimičnim rušenjem objekata razaraju se samo njihovi pojedini važni delovi, a izvodi se presecanjem osnovnih konstruktivnih elemenata na objektima ili potpunim rušenjem dela objekta (jednog ili više raspona mosta, deonice puta, tunela, lukobrana i slično). Pri delimičnom rušenju moguća je opravka ili adaptacija, zavisno od vrste oštećenja – rušenja, što usporava aktivnost oružanih snaga u vidu pokreta i/ili proizvodnje, a iziskuje angažovanje specijalizovanih i posebno opremljenih jedinica za savlađivanje prepreka i uspostavljanje normalne funkcije objekta.

Nadležnost o donošenju odluke o potpunom ili delimičnom rušenju, stavljanju u prvi ili drugi stepen pripravnosti i izdavanju izvršnih naređenja za rušenje reguliše se u svakoj konkretnoj situaciji zapovešću ili posebnim naređenjem. Komandanti brigada i jedinica istog ranga donose odluku o rušenju objekata u zoni dejstva vlastitih jedinica, sem za one objekte koji su značajni za višu komandu. Viša komanda je dužna da u svakoj konkretnoj situaciji saopšti nižim komandama koji su objekti u njenoj nadležnosti. Bez obzira na to da li se objekti ruše potpuno ili delimično, njihovom rušenju prethode određeni pripremni radovi (izviđanje, procena situacije sa proračunom, donošenje odluke i izrada plana rušenja objekata, izrada minskih bunara, postavljanje eksplozivnih punjenja, izrada mreža za paljenje i drugo). (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

U radu je naveden primer organizacije inženjerskih radova pri rušenju elementa, materijala i objekata, obrađenih na osnovu plana rušenja deonice puta. U tom primeru prikazan je načelan plan rušenja deonice puta sa osnovnom pripadajućom dokumentacijom, proračunom ljudstva za izvršenje radova i specifikacijom pokretnih stvari (u daljem tekstu PS) prilikom sprovođenja odredbi plana rušenja.

Pojam organizacije inženjerskih radova

Organizacija inženjerskih radova je svrsishodna delatnost koja je usmerena na usklađivanje ljudskih i materijalnih potencijala neke inženjerske jedinice po vremenu, prostoru i vrstama radova, radi kvalitetnog i potpunog izvršavanja inženjerskih zadataka, uz najracionalniji utrošak vremena, radne snage, sredstava i energije (Hristov, 1978).

Po mnogo čemu organizacija inženjerskih radova je vrlo slična organizaciji građevinskih radova (slična načela, principi, metodi rada, itd.), i upravo zbog te sličnosti pri realizaciji zadataka i razradi organizacije za njih se koristi i literatura iz domena građevinarstva. Uprkos navedenoj sličnosti organizacija inženjerskih radova je i vrlo različita, pre svega zato što počiva na vojnim pravilima upotrebe, sredstvima, kadrom, vojnom sistemu logističke podrške i slično.

Organizacija inženjerskih radova zapravo predstavlja izuzetan način „umrežavanja” ili spoja, poznavanja teoretskih i praktičnih mogućnosti jedne inženjerske jedinice (tehničkih i ljudskih), kao i iznalaženje najpovoljnijeg načina kao bi se te mogućnosti mogle što bolje i rentabilnije iskoristiti radi njene namenske upotrebe, ali prevashodno i realizacije deljenog zadatka. Komandanti i/ili komandiri inženjerskih jedinica, ali i komandanti kojima su one potčinjene predstavljaju posebnu vrstu menadžera. Ako se tome doda činjenica da u okviru roda inženjerije postoji osam specijalnosti, može se pretpostaviti koliko znanja i sposobnosti ta grupa ljudi mora posedovati.

Po načelima organizacije inženjerskih radova, svakom angažovanju jedne inženjerske jedinice ili njenog dela prethodi priprema inženjerskih radova koja sadrži sledeće elemente:

- proučavanje zadatka sa pratećim podacima i informacijama:
 - upoznavanje sa sadržajem, obimom, težinom i uslovima,
 - proučavanje tehničkog rešenja i
 - izrada plana izviđanja i priprema jedinice za izvršenje zadatka;
- procena situacije:
 - neprijatelj (blizina, aktivnost),
 - vlastite snage (popunjenost ljudstva i PS)

- zemljište (saobraćajnice, reljef zemljišta, svojstva zemljišta – geološki sastav i hidrološka svojstva, nalazišta građevinskog materijala, mogućnost korišćenja lokalne pogonske energije, uslovi za smeštaj, snabdevanje i zaštitu, maskiranje) i
 - vreme (povećanje normi zbog neprijatelja, meteo uslova, ljudski faktor);
- izviđanje rejonu izvođenja radova – zavisi od vrste radova koji se izvode;
- uređenje logora i radilišta:
- vrši se prema sledećim načelima: grupisanja, očuvanja kvaliteta, tehnološkog prioriteta, tehnološke uzastopnosti, gravitacije, komunikativnosti i bezbednosti.
- organizacija pripreme materijala – zavisi od vrste radova koji se izvode;
- organizacija transporta:
- spoljašnji i
 - unutrašnji;
- izdavanje operativnog naređenja (u daljem tekstu OPNAR), zavisi od radova koji se izvode ali, u načelu, mora da ima sledeće elemente:
- zadatak svakoj potčinjenoj jedinici prema projektnoj dokumentaciji (izrada, opravka, održavanje deonice puta i slično),
 - mesta građevinskog materijala, način dobijanja, transport,
 - način regulisanja saobraćaja u rejonu radova,
 - izrada pomoćnih objekata i postrojenja (skela, platformi, prilaznih puteva, utovarnih rampi, uređenje majdana građevinskog materijala i slično),
 - mere zaštite na radu,
 - mere borbenog obezbeđenja i
 - rok gotovosti pojedinih faza i zadataka u celini.

Rušenje elemenata i materijala

Rušenje objekata, njihovih konstruktivnih elemenata i materijala predstavlja njihovo onesposobljavanje ili potpuno uništavanje i onemogućavanje za dalju upotrebu u namenjene svrhe. Rušenje predstavlja vrlo kompleksan zadatak koji izvršavaju namenske i specijalizovane jedinice Vojske Srbije (u daljem tekstu VS) – inženjerske jedinice, odnosno zadatak izvršavaju pripadnici pionirske specijalnosti u okviru roda inženjerije. Po načelima upotrebe inženjerije, za realizaciju zadataka iz domena rušenja pionirske jedinice mogu biti ojačane jedinicama i/ili delovima jedinica drugih rodova, prevashodno pešadije i oklopnih jedinica. (Kitanović, 2000)

Postoje mnogobrojne klasifikacije rušenja na osnovu različitih kriterijuma, ali jedna od osnovnih klasifikacija rušenja obuhvata objekte rušenja:

- elemente,
- materijale i
- objekte.

U članku su navedeni tipični predstavnici svake od navedene vrste sa osnovnim karakteristikama, kao i formulama neophodnim za proračun potrebne količine eksplozivnog punjenja (u daljem tekstu EP). Za uspešno rušenje bilo koje vrste neophodno je poznavanje karakteristika objekta koji se ruši, ali i EP koje se koristi za isto.

Rušenje drveta

Drvo se može rušiti pomoću eksploziva, mehaničkim sredstvima i spaljivanjem. Osnovni način rušenja drvenih elemenata je pomoću eksploziva, a u nedostatku eksploziva može se rušiti mehanički ili spaljivanjem u povoljnim meteorološkim uslovima (drveni mostovi, stambeni objekti-barake i slično). Pre rušenja potrebno je utvrditi mesto rušenja, položaj, oblik EP, osobine drveta i dimenzije poprečnog preseka na mestu rušenja. Drvo se može rušiti (stablo, balvan, šip, greda i slično) i u vodi i na suvom, spoljnim ili unutrašnjim punjenjem, koncentrisanim ili pružnim. Količina eksploziva potrebna za potpuno rušenje drvenog elementa zavisi od dimenzija poprečnog preseka, tvrdoće drveta, stepena vlažnosti (sirovo ili suvo), mesta postavljanja EP (u vodi, spoljašnje, unutrašnje) i vrste eksploziva predviđenog za rušenje.

Potrebna količina eksploziva – trotila određuje se proračunom ili očitavanjem iz tablica. Količina eksploziva za koncentrisano i pružno EP proračunava se prema obrascima:

➤ za spoljno EP: $P = F * M$

➤ za unutrašnje EP: $P = \frac{F * M}{10}$

➤ za EP postavljeno u vodi na dubini većoj od 0,5 m:

gde je: $P = \frac{F * M}{2}$

P – potrebna količina eksploziva za jedno EP izraženo u g,

F – površina poprečnog preseka drvenog elementa na mestu postavljanja EP izraženo u cm². Površina se izračunava prema obrascima adekvatnim geometrijskim telima,

M – činilac otpornosti materijala, koji zavisi od dimenzija elementa, tvrdoće i stepena vlažnosti vazduha, a njegova vrednost se kreće od 1 do 4 (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972).

2 i/ili 10 – faktori smanjenja količine eksploziva za EP koja se postavljaju u vodi na 0,5 m ispod površine vode i unutrašnja EP koja su postavljena u bušotine.

Ako se za rušenje upotrebljava neki drugi eksploziv, proračunata količina eksploziva po obrascima množi se sa faktorom odnosa upotrebljenog eksploziva prema trotilu koji je dat u tabeli 1, na stranicama od 24. do 31. Uputstva za rušenje. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

U zavisnosti od oblika i karakteristika drveta, rušenje drveta se može svrstati u sledeće kategorije:

- rušenje drveta okruglog preseka,
- rušenje drveta četvrtastog preseka,
- rušenje grupe drvenih elemenata,
- rušenje – krčenje panjeva.

Rušenje čeličnih elemenata

Čelični (metalni) elementi pojavljuju se u raznim veštačkim objektima u sklopu neke konstrukcije ili samostalno u vidu čeličnih šipki, ploča, cevi, raznih nosača, užadi, šina i slično. Rušenje se vrši koncentrisanim, pružnim, kumulativnim ili kombinovanim EP. Za rušenje čeličnih elemenata upotrebljava se eksploziv trotil, njemu jednaki eksplozivi po jačini ili jači, dok se slabiji eksplozivi od trotila načelno ne koriste. Potrebna količina eksploziva za rušenje čeličnih elemenata može se odrediti prema debljini elemenata u centimetrima, proračunom ili prema tablicama.

Količina eksploziva za rušenje čeličnih elemenata prema debljini određuje se na sledeći način:

- za čelične elemente čija je debljina manja od 0,04 m, količina eksploziva se određuje tako da se na svaki cm debljine elementa uzima po jedan red eksplozivnih metaka od trotila mase 0,2 kg. Na primer: za čelični element debljine 0,03 m uzima se tri reda ovih metaka eksploziva,
- broj metaka u jednom redu određuje se prema širini elementa na mestu rušenja (presecanja), tako što se u cm podeli dužinom eksplozivnog metka u cm. Broj eksplozivnih metaka u EP za rušenje dobija se kada se broj eksplozivnih metaka za jedan red pomnoži sa brojem potrebnih redova (debljinom elemenata u cm). Ovako određena količina eksploziva treba da se poveća za još 25%,
- za čelične elemente debljine preko 0,04 m količina eksploziva se određuje na isti način kao i za elemente debljine do 0,04 m, s tim što se na svaki centimetar debljine elementa, umesto jednog reda eksplozivnih metaka, uzimaju po dva reda metaka trotila od 0,2 kg. I ovako određena količina povećava se za 25%.

Osnovni način određivanja količine eksploziva za rušenje čeličnih elemenata računa se po obrascu:

$$P = F \cdot M$$

gde su P, F i M isti parametri kao i kod rušenja drveta.

Dovoljno tačne količine eksploziva za rušenje čeličnih elemenata standardnih dimenzija i oblika mogu da se odrede i po tabeli 13 na strani 147. i 148. Uputstva za rušenje. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

Rušenje čeličnih elemenata može se svrstati u sledeće kategorije:

- rušenje čeličnih šipki,
- rušenje čeličnih ploča,
- rušenje čeličnih profilisanih nosača,
- rušenje čeličnih cevi,
- rušenje čeličnih užadi.

Rušenje armiranobetonskih elemenata

Armiranobetonski elementi sastoje se od betona i ugrađenih čeličnih žica i šipki raznih profila koje predstavljaju armaturu. Zavisno od procenta i rasporeda armature u elementu, dimenzija elementa i položaja armiranobetonskog elementa koji se ruši u konstruktivnom sistemu objekta, elementi od armiranog betona mogu se rušiti spoljnim ili unutrašnjim EP pružnog, koncentrisanog, kumulativnog ili kombinovanog oblika.

Pružna EP primenjuju se za rušenje armiranobetonskih elemenata debljine do 0,5 m, a izuzetno do 1 m debljine, naročito pri rušenju armiranobetonskih stubova. Pružna EP primenjuju se kao spoljna i unutrašnja. **Unutrašnja** EP postavljaju se u minske bušotine. Izrada bušotina u elementu može biti ograničena, zavisno od procenta i rasporeda armature, kao i samog položaja elementa u objektu. **Koncentrisana** EP primenjuju se za rušenje armiranobetonskih elemenata debljine veće od 0,5 m. **Kumulativna** EP veoma efikasno se mogu primeniti za rušenje svih vrsta armiranobetonskih elemenata. Uz najmanji utrošak kumulativno oblikovanog plastičnog ili drugog eksploziva postižu se najbolji rezultati pri rušenju – presecanju armirano-betonskih elemenata.

Kombinovana EP primenjuju se zbog različitog preseka i rasporeda armature u poprečnom preseku elementa. Za armirani deo elementa potreban je veća količina eksploziva, dok je za beton potrebna manja količina, što omogućuje primenu kombinovanih punjenja za rušenje elemenata, pa se time ujedno postiže racionalna upotreba eksploziva.

Ako je armatura skoncentrisana na jednom mestu (gornjem ili donjem pojasu) manje od 5% ukupne površine poprečnog preseka sa

šipkama prečnika manjeg od 0,02 m i rastojanjem između šipki većem od 0,05 m, potrebna količina eksploziva proračunava se po obrascima:

- za sva koncentrisana EP, koja ruše samo beton:

$$P = M * Z * h^3;$$

- za sva spoljna pružna EP koja ruše samo beton:

$$P = M * Z * h^3 * l;$$

- ostali deo armaturnobetonskog nosača u kojem je skoncentrisana armatura ruši se po obrascu za rušenje čeličnih elemenata:

$$P = F * M.$$

gde su:

P, F i M isti parametri kao i u prethodnim obrascima;

Z – činilac začepljenja

h – računaska linija otpora i

l – dužina elementa koji se ruši na mestu presecanja izražava se u m.

Kada je u poprečnom preseku armiranobetonskog elementa armatura veća od 5% (šipke deblje od 0,02 m, a međusobno rastojanje manje od 0,05 m), armiranobetonski element se ne ruši sa dva različita EP, već sa jednim EP za koje se količina eksploziva proračunava kao za rušenje čeličnih elemenata debljine preko 0,04 m. Armiranobetonski element sa neravnomerno raspoređenom armaturom proračunava se tako što se za površinu elementa koja sadrži više od 5% armature eksploziv proračunava kao za čelik debljine preko 0,04 m, a površina poprečnog preseka sa procentom armature do 5% ruše kao slabo armirani beton.

Prema obliku, veličini i položaju armiranobetonskih elemenata, kao konstruktivnih delova armiranobetonskih objekata, razlikuju se sledeći elementi koji se ruše:

- rušenje armiranobetonskih stubova i lukova,
- rušenje armiranobetonskih zidova,
- rušenje jednostavnih i kontinuiranih armiranobetonskih greda,
- rušenje jednostavne armiranobetonske ploče,
- rušenje rebraste armiranobetonske ploče.

Rušenje elemenata od prednapregnutog betona

Elementi od prednapregnutog betona izrađeni su od visokokvalitetnog betona koji ima čvrstoću na pritisak za 2 do 3 puta veću od običnog armiranog betona. U prednapregnuti element ugrađene su upredene čelične žice koje su prednapregnute velikim silama i ankerisane

(učvršćene) na krajevima elementa. Armatura je lučno povijena od jednog kraja prema drugom. Na krajevima elementa armatura je raspoređena po čitavoj visini, dok je na visini elementa skoncentrisana na najmanjoj površini u donjem delu pojasa elementa. Prednapregnuti elementi upotrebljavaju se za izradu vijadukata, hangara, raznih mosnih konstrukcija i drugih građevinskih objekata.

Elementi od prednapregnutog betona ruše se spoljnim koncentrisanim EP koji se postavljaju tačno na sredini elementa. Kod viših elemenata EP se sastoji od dva dela: jednog EP koje se postavlja sa donje strane elementa, namenjeno za presecanje armature (količina eksploziva za presecanje tog dela nosača proračunava se po obrascu kao i za čelik deblji od 0,04 m) i drugog dela EP koje se postavlja vertikalno po visini elementa, a namenjeno je za razbijanje betona. Količina eksploziva za ovu vrstu EP proračunava se kao i za beton sa armaturom do 5%. Elementi od prednapregnutog betona mogu se rušiti i na drugi način uz manji utrošak eksploziva. Na zadnjim trećinama dužine elementa, prema osloncima, postave se dva EP, sa svake strane po jedno. Eksplozivno punjenje postavlja se po čitavoj visini elementa, a proračunava se kao i za armirani beton sa armaturom do 5%.

Rušenje objekata

Rušenje objekata predstavlja niz radnji i postupaka kojima se primenom eksploziva i drugih sredstava objekti uništavaju ili onesposobljavaju u tolikoj meri da se ne mogu koristiti u namenjene svrhe. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972) U zavisnosti od konkretne situacije, vrste i karakteristike samih objekata koji se ruše, mesta i stepena njihovog rušenja, ali i cilja koji se želi postići njihovim rušenjem, pokret neprijatelja se na određenim pravcima otežava i/ili usporava, nanose mu se gubici u živoj sili i PS i otežava i/ili onemogućava eksploatacija resursa zemlje.

Moderni način vođenja borbenih dejstava, sa izrazito brzim promenama situacije na bojištu, nameće brži, snažniji i efikasniji manevar snaga i PS na terenu. U takvoj situaciji posebnu pažnju prevashodno treba posvetiti mestu postavljanja minsko-eksplozivnih prepreka i obezbeđenju kretanja i manevra jedinica pri izvođenju borbenih dejstava. Otuda i proizilazi potreba da se od inženjerskih jedinica i jedinica drugih rodova obrazuju privremeni sastavi za izvršenje konkretnih zadataka (rušenje objekata i delova položaja, postavljanje minsko-eksplozivnih prepreka i slično).

Od inženjerskih jedinica mogu se obrazovati sledeći privremeni sastavi:

- grupa za zaprečavanje (u daljem tekstu GZ),
- grupa za dopunsko zaprečavanje (u daljem tekstu GDZ),
- grupa za održavanje puteva (u daljem tekstu GOP).

Ove grupe su elementi borbenog rasporeda onih jedinica koje ih obrazuju. (Garašanin, 1979)

U skladu sa situacijom na bojištu, pored navedenih privremenih sastava, mogu se formirati i drugi privremeni sastavi:

- grupe za opravku aerodroma (u daljem tekstu GOA) – opravke oštećenja po poletno-sletnim stazama,
- grupe za savlađivanje (raščišćavanje) prepreka – obrazuju ih jedinice rodova prilikom izvođenja borbenih dejstava preko zaprečenih prostorija i rejona,
- grupe za rušenje objekata – obrazuju ih jedinice rodova prilikom napada na jako utvrđene položaje i objekte,
- ekipe za spasavanje posada – obrazuju ih oklopne jedinice kada vrše savlađivanje vodenih prepreka vožnjom pod vodom ili dubokim gazom.

Rušenje objekata ne izvodi se samo u okviru borbenih dejstava, već i prilikom realizacije određenih zadataka iz domena III misije VS (rušenje delova nasipa, rušenje delimično ili potpuno oštećenih objekata za stanovanje, industrijskih objekata i slično), i može se izvoditi kao preventivna mera (sprečavanje daljih razaranja), ali i kao korektivna mera (otklanjanje posledica elementarnih nepogoda). U nastavku rada navode se osnovni elementi rušenja određenih infrastrukturnih objekata: puteva, mostova, tunela, železničkih pruga i aerodroma, ali i zgrada i industrijskih postrojenja.

Rušenje mostova

Mostovi se grade na mestima gde putevi i železničke pruge prelaze preko prirodnih i veštačkih prepreka radi omogućavanja neprekidnog saobraćaja. S obzirom na materijal od kojeg su izgrađeni, mostovi mogu da budu: drveni, čelični, zidani (od opeke i kamena), betonski, armiranobetonski i od prednapregnutog betona. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

Potpuno rušenje mostova primenjuje se kada se želi izbaciti most iz upotrebe za duži period, odnosno njegova opravka traje duže vreme nego izgradnja novog mosta. Kod kraćih i manje važnih mostova načelno se ruše sve potpore (obalske i međupotpore) i svi rasponi kako bi za opravku bilo potrebno više vremena, snaga i sredstava. **Delimično** rušenje mostova primenjuje se kada se želi ostvariti manji stepen oštećenja, tako da se porušeni objekti ne mogu koristiti u namenske svrhe bez prethodne opravke. Pri delimičnom rušenju mostova treba težiti da se ruše oni delovi čija je opravka najteža i vremenski najduže traje.

Mostovi se sastoje od više raznih elemenata međusobno povezanih u stabilan konstruktivni sistem. Rušenjem pojedinih ili svih elemenata mosta narušava se međusobni odnos statičke stabilnosti i dolazi do pada

konstrukcije mosta, pri čemu se delimično ili potpuno oštećuju njegovi konstruktivni elementi. Mostovi se ruše po preseccima elemenata gornjeg i donjeg stroja. Na određenom mestu za presecanje mosta postave se EP i povežu u mrežu za paljenje sa ostalim punjenjima na mostu. Rušenje mostova može se svrstati u sledeće kategorije:

- rušenje drvenih mostova,
- rušenje čeličnih mostova,
- rušenje zidanih i betonskih mostova,
- rušenje armiranobetonskih mostova i
- rušenje mostova od prednapregnutog betona.

Način rušenja mostova, proračun potrebnog EP za pojedine elemente mosta, zavisno od materijala od kojeg je izrađen, detaljno je regulisan u tačkama od 235. do 270. Uputstva za rušenje. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

Rušenje tunela

Tuneli su podzemni objekti infrastrukture pomoću kojih se podzemnim putem savlađuju prepreke. Namenjeni su za sprovođenje saobraćajnica (železnica, puteva i plovnih kanala) i u hidrotehničke svrhe (vodovod, odvodnjavanje, dovod vode u hidrocentrale). Zavisno od vrste zemljišta kroz koji su prokopani tuneli mogu biti obloženi ili bez obloge (Škarec, 1979)

Tuneli predstavljaju veoma osetljive objekte infrastrukture za rušenje. Priprema tunela za rušenje – onesposobljavanje zahteva dosta vremena, s obzirom na obim radova koji se izvode na pripremi tunela za rušenje. Tuneli dužine do 100 m ruše se potpuno, odnosno čitavom dužinom. Za postavljanje EP izrađuju se minski bunari (kod tunela gde je sloj zemlje iznad svoda manji od 8 m) ili minski hodnici (kada je sloj zemlje deblji od 8 m). Rušenje – onesposobljavanje tunela može se vršiti:

- rušenjem eksplozivom:
 - delimično rušenje i
 - potpuno rušenje;
- rušenjem zakrčivanjem, što se postiže kombinacijom eksploziva, voznog parka i drugog materijala, a ako se ne raspolaže eksplozivom, onda samo upotrebom voznog parka i drugog materijala.

Rušenje železničkih pruga

Rušenje železničkih pruga i postrojenja na njima obuhvata rušenje donjeg i gornjeg stroja železničkih pruga, rušenje objekata i instalacija na prugama i železničkim stanicama i rušenje (onesposobljavanje) voznog

parka. Rušenje donjeg stroja železničkih pruga vrši se rušenjem trupa železničke pruge izrađenog od tucanika i materijala određene kategorije kroz koji pruga prolazi. Rušenje donjeg stroja pruge vrši se, u principu, na isti način kao i rušenje puteva u nasipu, useku i zaseku. Specifičnost rušenja donjeg stroja, u odnosu na rušenje puteva, odnosi se na manju širinu planuma, veći broj veštačkih objekata (propusta, mostova i tunela), zbog manjeg uzdužnog nagiba, nemogućnost obilaska za železnički transport, što sve iziskuje manju količinu eksploziva. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

Rušenje gornjeg stroja železničkih pruga obuhvata presecanje železničkih šina, skretnica, ukrsnica, okretnica i pragova. Rušenje se može izvesti eksplozivom i mehaničkim sredstvima. Rušenje objekata, instalacija i voznog parka obuhvata: stanične zgrade, kontrolno-saobraćajne tornjeve, radionice, ložionice, vodostanice, rampe, blokovske uređaje, sredstva za signalizaciju, sredstva veze, dizalice, rezervoare za gorivo, skladišta i ostale pomoćne objekte. Rušenje voznog parka obuhvata rušenje lokomotiva i vagona (uništavaju se isti delovi kako bi se otežala opravka zamenom delova).

Rušenje aerodroma

Rušenje aerodroma obuhvata razaranje: poletno-sletnih staza i rulnih staza, objekata i uređaja za komandovanje, vezu i kontrolu letenja, stajanki i zaklona za vazduhoplove, ljudstvo i materijalno-tehnička sredstva. Poletno-sletne, rulne i druge staze na aerodromima, zavisno od vrste i namene aerodroma i operativno-taktičkih zahteva, ruše se postavljanjem EP (pojedinačno, u redovima ili po grupama) na svakih 50 do 300 m dužine poletno-sletne i druge staze, ili postavljanjem EP na 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 i 1/6 dužine poletno-sletne i druge staze ili rušenjem staza po deonicama dužine 30 do 50 m, naizmenično, tako da iza svake porušene deonice ostane neporušena deonica približno iste dužine.

Rušenje poletno-sletnih, rulnih i drugih staza na aerodromima vrši se koncentrisanim ili pružnim punjenjima koji se postavljaju u minske bunare, minske bušotine ili minske komore. Dubina minskih bunara, načelno, ne treba da bude manja od 1,5 ni veća od 3 m. Kada se poletno-sletne i druge staze na aerodromima ruše pojedinačnim ili manjom grupom EP, minski bunari mogu biti dubine i 4 m. Aerodromi se mogu onesposobljavati za upotrebu i zaprečavanjem (postavljanjem minsko-eksplozivnih i drugih prepreka). (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972)

Rušenje zgrada

U zavisnosti od cilja koji se rušenjem želi postići, raspoloživog vremena, snaga i sredstava, zgrade mogu da se ruše:

- spaljivanjem (načelno samo u ratnim dejstvima),
- mehaničkim sredstvima (metodama guranja, potezanja, udara i kombinovanom metodom) i
- eksplozivom, što daje najbrže i najpotpunije rezultate primenom sledećih metoda:
 - urušavanje;
 - prevrtanje:
 - ✓ prva faza – rušenje nosećih elemenata zgrade upravno postavljenih na smer rušenja;
 - ✓ druga faza – rušenje spoljnih (fasadnih) zidova;
 - ✓ treća faza – rušenje unutrašnjih nosećih elemenata
 - ✓ četvrta faza – rušenje spoljnih zidova, suprotno od smera prevrtanja zgrade;
 - zalamanje i
 - odsecanje.

Rušenje industrijskih postrojenja

Potpuno rušenje industrijskih postrojenja predstavlja obiman posao, uz veliki utrošak sredstava i angažovanje više radne snage za relativno duže vreme. Pri potpunom rušenju uništavaju se ili onesposobljavaju svi sastavni delovi. Delimično rušenje obuhvata rušenje najvažnijih vitalnih delova industrijskih postrojenja koji imaju najznačajniju ulogu u procesu proizvodnje, odnosno čijim se rušenjem (onesposobljavanjem) proces proizvodnje prekida za kraće ili duže vreme. Rušenje industrijskih postrojenja, načelno, obuhvata rušenje: mašinskih postrojenja za proizvodnju, energetskih izvora, fabričkih zgrada za smeštaj postrojenja, proizvoda i sirovina i uništavanje ili oštećenje sirovina ili gotovih proizvoda. Kategorije industrijskih postrojenja koji se ruše:

- rudnici
- električne centrale – elektrane i
- proizvodna industrijska postrojenja.

Rušenje deonice puta sa organizacijom inženjerskih radova

Put je objekt infrastrukture namenjen za direktnu vezu između dva veća naseljena mesta ili delova zemlje za promet robe i putnika. Sastoji se od gornjeg i donjeg stroja. Donji stroj puta sačinjava trup puta i putni

objekti. Trup puta postavljen je na prirodnom terenu i izgrađen je od zemlje, kamena i kamene sitneži. Prema položaju terena, trup može biti u nasipu, zaseku, useku, u horizontu ili tunelu. U trup puta ubrajaju se i bočni jarci za odvodnjavanje, potporni i obloženi zidovi. Gornji stroj puta sačinjava kolovoz koji se sastoji od podloge i kolovoznog zastora. Kolovozni zastor izrađuje se od tucanika, asfalta, betona, kamene kocke itd. Opremu puta čine: saobraćajni znaci, daljinske oznake, putokazi, oznake puta, ograde i zaštitni zidovi – stubovi i snogobrani. (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1965)

Cilj rušenja puteva jeste da se stvore prepreke koja savremena borbeno i neborbena vozila ne mogu savladati bez zaustavljanja i preduzimanja posebnih mera za njihovo savlađivanje ili promenu pravca kretanja obilaskom prepreka. Putevi se ruše po deonicama dužine, načelno, od 50 do 100 m. Najefikasnije rušenje puteva postiže se eksplozivom, a u nedostatku eksploziva i sredstava za paljenje putevi se mogu onesposobljavati za saobraćaj prekopavanjem, preoravanjem, izradom rovova, jama uz upotrebu građevinske mehanizacije (dozeri, utovarivači i mašine sličnog tipa) ili ručno – alatom za zemljane radove. Rušenje puteva obuhvata: rušenje donjeg stroja, rušenje gornjeg stroja i rušenje tehničkih uređaja za obezbeđenje saobraćaja. Rušenje puteva može biti:

- u horizontu,
- u nasipu,
- u useku i
- u zaseku.

Nezavisno od vrste rušenja puteva, pre izvođenja rušenja komandiru pionirske jedinice ili privremenog sastava uručuje se OPNAR, a u prilogu „F” – Inženjerija OPNAR-a, koji izrađuje referent inženjerije u komandi brigade i/ili jedinice istog ranga, razrađuje se plan inženjerskih dejstava, a u okviru njega konkretan zadatak i plan rušenja određene deonice puta. Takođe, tu se komandiru preciziraju i dodeljene pokretne stvari (u daljem tekstu PS) i ljudstvo.

Nakon prijema i shvatanja zadatka, komandir izdaje potčinjenim komandirima pripremno naređenje (u daljem tekstu PRIPNAR), a sa članovima komande organizuje komandirsko izviđanje dodeljene deonice puta (u praksi najčešće nema vremena za ovu aktivnost, već se koriste informacije dobijene iz pretpostavljene komande), nakon čega komandir razrađuje tehničko rešenje za njeno rušenje i pristupa izradi organizacije radova. Za rešavanje ovog zadatka komandir može angažovati još neka lica iz svog sastava (zamenika, iskusnog podoficira ili profesionalnog vojnika). (Generalštab VS, 2013)

Norme za rušenje deonice puta navedene su u tablicama od 135 do 138, na stranama od 230. do 231. Taktičko-tehničkog priručnika (Generalštab JNA, 1967), i odnose se na pionirsku četvu. Prema navede-

nom priručniku, pionirska četa za jedan radni dan, pri rušenju deonice puta u zaseku sa ili bez potpornih zidova, širine od 6 do 8 m može da izvrši rušenje u dužini od:

- zemljište I-IV kategorije tla = 120 m, odnosno
- zemljište V-VII kategorije tla = 60 m.

Osnovni problem koji se ovde nameće jeste činjenica da trenutno ne postoji literatura novijeg datuma, odnosno savremena norma za rušenje deonice puta, kao i da se postojeća norma odnosi na organizacijsko-formacijsku strukturu i mogućnosti pionirske čete iz vremena tadašnje JNA, što predstavlja enormnu razliku u pogledu strukture i mogućnosti pionirske čete VS. Radi prevazilaženja navedenog problema i dostizanja mogućnosti ispunjenja postojećih normi, neophodno je izvršiti: promenu materijalne strukture pionirske čete VS i promeniti zadatke, a samim tim i standard obučenosti pripadnika jedinice i same jedinice – kroz izmenu postojećih standarda, ali i kroz individualnu i kolektivnu evaluaciju.

U nastavku rada navodi se primer zadatka plana rušenja, specifikacije potrebnih PS (tabela 1) i dela organizacije inženjerskih radova pri rušenju deonice puta (tabela 2). (Hristov, 1978)

ODOBRAVA:
KOMANDANT
brigadni general
N.N.

Brojna oznaka prema
evidenciji 03/20XX

Z A D A T A K

1. Deonicu puta u rejonu sela Glibovac (Smederevska Palanka), 250 m udaljenog od reke Kubršnice, porušiti u dužini od oko 50 m prema tehničkom rešenju uz zadatak.
2. Deonicu puta staviti u prvi stepen pripravnosti najkasnije do 16.00 časova, dana: 25.03.20XX. godine posle dolaska na put, o čemu dostaviti pisani izveštaj kurirom.
Drugi stepen pripravnosti narediću radio-vezom po signalu „SUN-CE“. Deonicu puta staviti u drugi stepen pripravnosti najkasnije 4 časa posle prijema naređenja, o čemu me izvestiti radio-vezom po signalu „KISA“.
3. Izvršno naređenje za rušenje izdaće komandant radio-vezom po signalu „GROM“, uz prethodno legitimisanje po signalu „MUNJA“. O izvršenju rušenja deonice puta izvestiti me radio-vezom po signalu „OLUJA“.

O izvršenju stepena pripravnosti i rušenja deonice puta izvestiti me radio-vezom po signalu „NEBO“.

O izvršenju stepena pripravnosti i rušenja deonice puta izvestiti i komandanta u rejon s. Glibovac – zgrada škole.

4. Neposredno osiguranje deonice puta u toku izvođenja radova do izvršenja rušenja izvršiti sopstvenim snagama i sredstvima, po naređenju i zapovesti komandira. U pogledu borbenog osiguranja šireg rejona deonice puta osloniti se na mere borbenog osiguranja.
5. Kretanje preko deonice puta do izvršenja rušenja regulisaćete sopstvenim snagama.
6. Na deonici puta nisu izvršene nikakve pripreme.

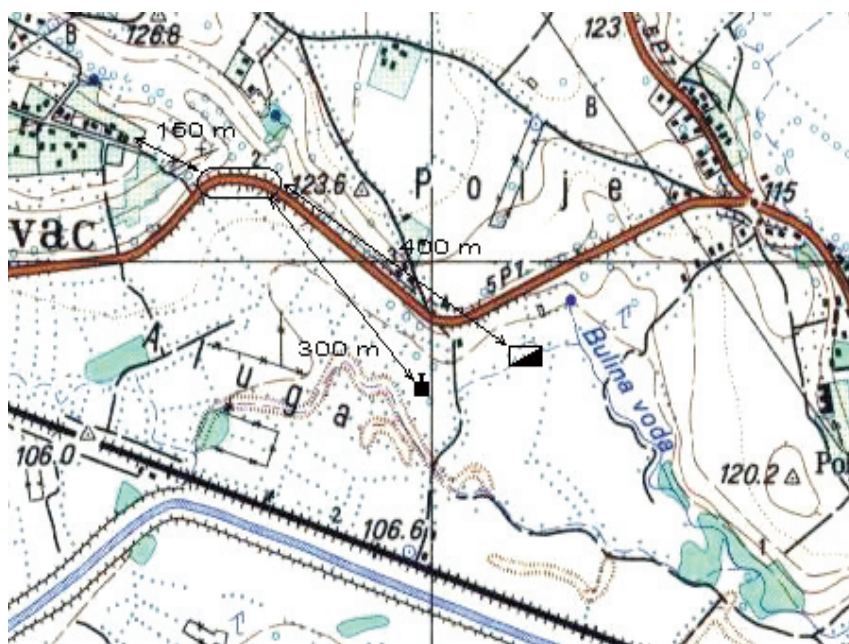
PLAN RUŠENJA

Deonica puta u rejonu: s. Glibovac (Smederevska Palanka)

Karta: Kraqujevac 2, sekcija 2, R=1 : 50000, Izdanje: VGI 1986.

Koordinate : x = _____ , y = _____

Skica mesta deonice puta
(isečak sa karte razmere 1 : 50000)



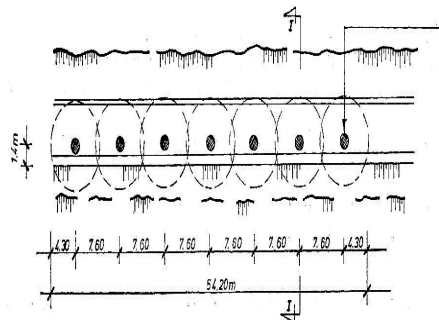
Slika 1 – Položaj deonice puta koja se ruši

Рис. 1 – Местоположение участка разбираемой дороги

Figure 1 – Location of the road section demolition

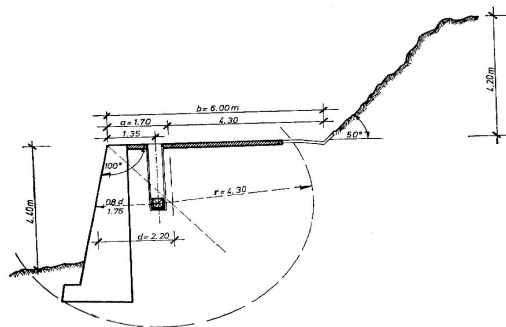
TEHNIČKO REŠENJE ZA RUŠENJE

a) situacija deonice puta sa mrežom za paljenje



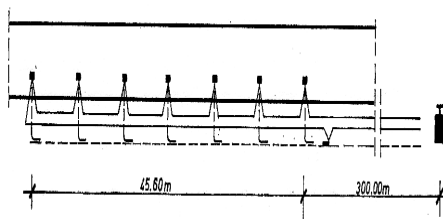
Slika 2 – Raspored minskih bunara
 Рис. 2 – Положение минных колодцев
 Figure 2 – Plan of mine wells

b) poprečni presek deonice puta sa proračunom EP



Slika 3 – Poprečni presek deonice puta
 Рис. 3 – Поперечное сечение участка дороги
 Figure 3 – The cross-section of the road section

c) šema mreže za paljenje



Slika 4 – Šema mreže za paljenje
 Рис. 4 – Схема сети сгорания
 Figure 4 – Schematic network for ignition of an EC

Naizmenična električna mreža izgrađena je od standardnog minerskog kabla i električnih detonatorskih kapisli (u daljem tekstu EDK) tip „A” sa bakarnim provodnicima 2x2 m. Proračunski elementi električne mreže:

- ukupni otpor mreže iznosi 33,8 Ω ,
- jačina struje $I = 0,8$ A,
- napon iznosi 100 V. (Generalštab JNA, 1967)

Tabela 1 – Popis potrebnih sredstava
Таблица 1 – Спецификация необходимых средств
Table 1 – List of needed funds

Specifikacija potrebnih PS trajne i potrošne vrednosti

Red. broj	Naziv PS	Jedinica mere	Količina		Svega
			za 1 bunar	za mrežu	
I za rušenje					
1.	eksploziv	kg	160	-	1120
2.	detonirajući štapin	m	7	350	400
3.	sporogoreći štapin	m	-	2	2
4.	EDK	kom.	2	2	18
5.	DK broj 8	kom.	1	3	8
6.	minerski kabl	m	-	1000	1000
7.	traka za izolaciju	kotur	-	1	1
8.	EKA 350	kom.	-	1	1
II za izradu bunara					
1.	eksploziv	kg	-	-	70
2.	EDK	kom.	-	-	80
3.	minerski kabl	m	-	-	100

Opšti podaci za proračun radova (Hristov, 1978):

- dimenzije minskih bunara: $r = 4,30$ m; $h = 1,4$ m;
- zemljište: fliš, IV kategorija $\Rightarrow \gamma = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;
- radna grupa 3 vojnika sa motornim bušačem (u daljem tekstu MB) Pionjar 120 (norma za MB = 250–300 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$; $G = 0,3 \times 2000 = 600$ kg (Gardijan, 2001);
- približna težina iskopa, $G = V \times \gamma = 81,3 \times 2000 = 162546$ kg;
- 0–1 m dubine sa motornim bušačem Pionjar 120;
- svi minski bunari izrađuju se u istoj geološkoj sredini sa radnim grupama u istom sastavu, angažuju se 4 radne grupe koje izrađuju 7 minskih bunara;
- ostatak sastava voda angažuje se na ostalim radovima.

Proračun radova:

- 1) izrada minskog bunara do 1 m dubine sa motornim bušačem Pionjar 120 je: $1000 : 300 = 3 \text{ h i } 20 \text{ min} + 5 \text{ min za pripremu} = \mathbf{3,4 \text{ h}}$ (Gardijan, 2001);
- 2) miniranje: postavljanje EP u bušotinu, začepljenje i paljenje ~ 10 min = **0,16 h**;
- 3) izbacivanje materijala ručno (lopatom i velikim šančanim alatom) prosečno 2,5 kg u jednom ciklusu. Za oko 12 radnih ciklusa (izbačaja) u minuti izbacuje se oko $30 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$, a 600 kg se izbacuje za 20 min ~ **0,33 h**;
- 4) Ukupno vreme za izradu 1 m dubine ~ **3,89 h**;
- 5) Vreme za izradu minskog bunara dubine 1,4 m ~ **4,86 h**;
- 6) Postavljanje EP, norma ~ $3 \text{ h} : 3 = \mathbf{1,00 \text{ h}}$;
- 7) Začepljenje minskih bunara, norma ~ $4 \text{ h} : 3 = \mathbf{1,33 \text{ h}}$;
- 8) Ukupno vreme po minskom bunaru = $4,86 + 1,00 + 1,33 = \mathbf{7,19 \text{ h}}$;
- 9) Ukupno vreme za sve minske bunare na deonici puta ~ **14,5 h**.

Tabela 2 – Proračun ostalih radova
Таблица 2 – Расчет других работ
Table 2 – Calculation of other works

Redni broj	Vrsta radova	Jedinica mere	Radnih časova	Obim radova	Ukupno radnih časova
u prvom stepenu pripravnosti					
1.	ispitivanje otpora i ispravnosti EDK	sa 10 detonatora	0,50	1	0,50
2.	izrada mreže od detonirajućeg štapina	sa 10 detonatora	1,50	1	1,50
3.	izrada električne mreže	sa 10 detonatora	2,50	1	2,50
4.	postavljanje električne mreže	sa 10 detonatora	1,00	1	1,00
5.	postavljanje štapinske mreže	sa 10 detonatora	1,00	1	1,00
6.	polaganje kablova do stanice za paljenje	za 100 m	0,25	4	1,00
7.	kopanje jarkova za kablove	10 m	0,40	40	16,00
8.	izrada stanice za paljenje	kom.	25,00	1	25,00
9.	obavljane službe neposrednog osiguranja	3 vojnika			
Ukupno: 63 radnih časova za prvi stepen pripravnosti					
u drugom stepenu pripravnosti					
1.	povezivanje EDK	10 kom.	0,40	22	8,80
2.	spajanje krajeva detonatorskog štapina	10 kom.	0,30	22	6,60
3.	zatvaranje i maskiranje električne i štapinske mreže	10 kom.	0,30	23	6,90
4.	provera električne mreže	sa 10 kapisli	2	6	12,00
Ukupno: 3,30 radnih časova za drugi stepen pripravnosti					

U zavisnosti od raspoloživog vremena za izradu dokumentacije, kao njen sastavni deo, izrađuje se i paralelni dinamički plan izvršenja radova, koji omogućuje preglednost u pogledu zadataka (aktivnosti) pojedinih radnih grupa, kako zajedničkih, tako i pojedinačnih, ali i vremena trajanja svake aktivnosti koja je unesena u plan.

Optimizacija organizacije inženjerskih radova na ovom zadatku mogla bi se uraditi prevashodno primenom, odnosno uvođenjem u operativnu upotrebu savremenijih inženjerskih mašina za zemljane radove.

Mere bezbednosti i zdravlja pri radu sa eksplozivima

Prilikom rada sa eksplozivima i sredstvima za paljenje posebna pažnja posvećuje se merama bezbednosti i zdravlja. Mere koje se navode ne odnose se samo na one koje se primenjuju prilikom rušenja, već na mere za bezbedan i zdrav rad sa eksplozivima koje su dužni da poznaju i u svoj rad implementiraju svi pripadnici VS. Potrebno je naglasiti da se posebne mere utvrđuju u zavisnosti od vrste i karakteristika materijala, elemenata i objekata koji se ruše. Pregled opštih mera bezbednosti i zdravlja odnosi se na radove sa eksplozivima, prilikom:

- rušenja elemenata i materijala,
- transportovanja minsko-eksplozivnih sredstava (u daljem tekstu MES),
- prenosa eksploziva na rukama,
- rada sa sredstvima za električno aktiviranje i
- rada sa sredstvima za štapinski način aktiviranja EP.

U tabeli 3 navedeni su iznosi minimalnih sigurnosnih rastojanja u zavisnosti od vrste i obima radova koji se izvode sa eksplozivima. Tabela je rađena prema tabeli 5 Uputstva za rušenje (Generalštab JNA – Uprava inženjerije, 1972).

Pre nego što se pristupi rušenju bilo koje vrste materijala, elemenata ili objekata nužno je odrediti (proračunati) sigurnosna rastojanja na kojima će ljudstvo i objekti biti potpuno zaštićeni od dejstva eksplozije i svih efekata koji je javljaju pri njoj. Rastojanja se proračunavaju radi zaštite ljudstva i objekata od:

- vazdušno-udarnog talasa,
- seizmičkog dejstva i
- dejstva (razbacivanja) komada materijala koji se ruši.

Proračun rastojanja vrši se na osnovu posebnih obrazaca, u kojima su ključni parametri oni koji se odnose na sastav i strukturu materijala koji se ruši, odnosno od kojeg su elementi i objekti izgrađeni. (Papić, 2011, pp.130-131)

Mere zaštite koje sprovodi starešina jedinice koja izvodi radove na rušenju

1. Pre početka izvođenja radova obavezno proveriti obučenosť ljudstva u poznavanju osobina i načinu rukovanja sa sredstvima koja se koriste pri realizaciji rušenja.
2. Detaljno proveriti sve pripadnike jedinice u poznavanju osnovnih mera bezbednosti i zdravlja pri radu sa eksplozivima, ali i posebnih mera koje se primenjuju u skladu sa konkretnom situacijom.
3. Pre početka radova obavezno izvršiti kontrolu priprema za rušenje na celom rejonu izvođenja radova, kao i proveru veze sa licima određenim za izvršenje paljenja i licima koja se angažuju za potrebe neposrednog obezbeđenja.
4. Proveriti ispravnost sredstava koja će se koristiti.
5. Odrediti mesta i odstojanja ljudstva koje se angažuje za potrebe neposrednog obezbeđenja.
6. Odrediti način održavanja veze sa licima određenim za izvršenje paljenja i postupak nakon paljenja.
7. Odrediti signale (znake) opasnosti i prekida opasnosti, a po potrebi se određuju i drugi, i sa njima mora biti upoznat celokupan sastav jedinice. Signali (znaci) moraju biti jasni, čujni i razgovetni kako pripadnici jedinice ne bi bili dovođeni u nedoumicu prilikom izvršenja zadatka.
8. Odrediti mesto skladištenja (poljsko skladište) i regulisati način čuvanja, izdavanja, prenošenja i upotrebe eksploziva i sredstava za njihovo paljenje.
9. Odrediti zonu sigurnosti i odstojanje zaklona ili skloništa u koje se sklanja ljudstvo, transportna sredstva i oprema tokom paljenja EP. Ukoliko ne postoje adekvatni prirodni zakloni obavezna je izrada veštačkih, pre početka paljenja EP.

Mere zaštite prilikom rušenja elemenata i materijala

1. Aktiviranje EP izvoditi isključivo električnim putem, a kao rezervu izraditi štapinsku mrežu za aktiviranje EP u zemlji.
2. Treba izbegavati aktiviranje svih EP odjednom, već aktiviranje izvoditi po grupama.
3. Između elemenata ostaviti potrebno rastojanje kako eksplozije ne bi uticale jedna na drugu ili elemente razdvojiti grudobranom.
4. Rasturanje parčadi prilikom rušenja elemenata i materijala treba usmeriti ka zemlji i postavljanjem elemenata u odgovarajuće zaklone iskopane u zemlji, postavljanjem fašina preko elemenata.

5. Aktiviranje EP vrši starešina jedinice iz stanice za aktiviranje, pošto se uverio da je ljudstvo na sigurnom mestu. Do tog vremena stanica za aktiviranje je obezbeđena stražarom, krajevi provodnika svih vodova su izolovani, a ključ od mašine za aktiviranje nalazi se kod starešina jedinice.
6. Pripremljene elemente za rušenje ograditi koljem i žicom, a staze za kretanje vidno obeležiti. Ograda mora biti visoka 1,3 m i udaljena od EP najmanje 3 m. Kretanje ljudstva dozvoljeno je samo izvan ograde i obeleženim pravcem.
7. Za vreme obilaska pripremljenih elemenata i materijala za rušenje detonatorske kاپisle (u daljem tekstu DK) moraju biti van EP postavljene na za to pripremljene kočice. Kočice se pobijaju ispred svakog elementa za rušenje na visini 1 m od zemlje i na udaljenje 1 m od EP.
8. Nakon odlaska ljudstva u skloništa DK uvlače u EP 1 do 2 odabrana vojnika iz svakog odeljenja, a pod kontrolom komandira odeljenja i komandira voda.
9. Prilikom uvlačenja DK u EP i prilikom začepljenja EP zabranjeno je upotrebljavati silu.
10. Provodnici glavnog voda moraju biti ukopani ili postavljeni izvan staze za kretanje ljudstva.

Mere zaštite prilikom transportovanja MES

1. Pri utovaru MES transportno sredstvo (u daljem tekstu TrS) mora biti zaustavljeno 10 m od skladišta, ukočeno, a motor ugašen.
2. Prijem MES na TrS vrše najviše dva čoveka.
3. Utovar MES vrši se ručno.
4. Sanduke slagati tako da se udaraju međusobno, a niti o stranice TrS.
5. Sanduci se utovaraju do visine stranica sanduka, a TrS se opterećuje do 70% nosivosti.
6. TrS mora biti sa obe strane sanduka označeno upozoravajućim zastavicama.
7. Sa eksplozivnim sredstvima na TrS ne smeju se prevoziti ljudi niti drugi materijali.
8. Sredstva za aktiviranje mogu se transportovati sa eksplozivom jedino ako se obezbedi da budu u originalnom pakovanju, maksimalno 1000 /kom/ i da su udaljena 1 m od eksploziva.
9. Za obezbeđenje utovara, transporta i istovara određuje se pokretna straža, na dva vozila ide jedan stražar.
10. Kada se MES prevozi u više TrS u koloni, u prvom vozilu se prevoze sredstva za aktiviranje, a narednim vozilima eksploziv. Na dobrim putevima brzina kretanja je $6,94 \frac{m}{s}$, a odstojanje je od 50 – 100 m. Po lošim putevima brzina je $2,78 - 4,17 \frac{m}{s}$.

11. Naseljena mesta treba izbegavati, a ako to nije moguće onda se kretati sporednim i manje prometnim putevima.
12. Zastanke i odmore unapred planirati na mestima koji pružaju maksimalne uslove bezbednosti kolone i okoline.
13. Za vreme vremenskih nepogoda, naročito grmljavine vozila se zaustavljaju na određenom rastojanju kao i tokom vožnje, a ljudstvo se udaljava od vozila na najmanje 50 m.
14. Ako dođe do kvara na TrS koji prevozi MES, vozilo se mora najpre istovariti, a zatim se otklanja kvar.

Mere zaštite prilikom čuvanja eksploziva u poljskim skladištima

1. U jednom poljskom skladištu, na jednom mestu ne sme se čuvati više od 2000 kg eksploziva.
2. Zabranjeno je na jednom mestu skladištiti brizatne eksplozive zajedno sa štapinima, sredstvima za paljenje i artificijama.
3. Sva sredstva za paljenje čuvaju se u posebnim skladištima koja moraju biti udaljena najmanje 60 m od skladišta sa eksplozivom.
4. Eksploziv i sredstva za paljenje ne smeju se polagati direktno na pod skladišta, već na podmetače koji moraju biti izdignuti najmanje 0,15 m iznad poda skladišta.
5. Zabranjeno je slaganje eksploziva na visinu veću od 2 m.
6. Zabranjen je pristup neovlašćenih lica skladištu.
7. U rejonu skladišta strogo se zabranjuje pušenje, loženje vatre ili upotreba sredstva za osvetljenje sa otvorenim plamenom.
8. Skladišta se moraju obezbeđivati sa određenim brojem stražara koji se postavljaju na udaljenosti od skladišta najmanje 50 m.
9. Najmanje odstojanje između dva susedna poljska skladišta iznosi 60 m. Udaljenost poljskog skladišta od drugih objekata: objekti za stanovanje – 800 m (ukoliko u skladištu ima manje od 150 kg eksploziva – manje od 50 m), železnička pruga – 200 m. U naseljenim mestima ne sme se čuvati više od 300 kg eksploziva.

Mere zaštite pri prenosu eksploziva na rukama

1. Lice može prenositi odjednom najviše 30 kg eksploziva ili 5000 kom. DK br. 8 ili 500 kom. EDK.
2. Sredstva se prenose u originalnim pakovanjima.
3. Pri prenošenju eksplozivnih sredstava ne smeju se prenositi druga zapaljiva sredstva niti izvori električne struje.
4. MES se ne sme nositi u džepovima, torbicama i slično.
5. Sredstva koja se prenose ne smeju se prevrtati, okretati sa ambalažom i bacati, već se moraju uvek pažljivo prenositi.

Mere zaštite pri električnom paljenju EP

1. Pre upotrebe EDK obavezno je ispitivanje njihove ispravnosti i merenje otpora.
2. Prilikom ispitivanja EDK treba ih postaviti u odgovarajući zaklon tako da licu koje ispituje ili se nalazi u blizini garantuje bezbednost i sigurnost u radu.
3. U jednoj mreži ne smeju se upotrebiti kapsle čija je razlika u otporu veća od $0,2 \Omega$.
4. Pre upotrebe treba proveriti i ispitati ispravnost instrumenta mašine za aktiviranje i uređaja za zaštitu mreže od groma.
5. Ključ od mašine za aktiviranje nalazi se kod starešine jedinice, a stanica za aktiviranje obezbeđena je stražarom.

Mere zaštite prilikom paljenja EP sporogorećim upaljačima

1. DK br. 8 je veoma osetljiva na udar, trenje, varnicu i visoku temperaturu.
2. Zabranjeno je udaranje kapisle o bilo kakav predmet.
3. Zabranjeno je okretati kapislu oko štapina i silom uvlačiti štapin u kapislu.
4. Zabranjeno je sečenje detonirajućeg štapina više puta na istom mestu i kada je postavljen u detonatorsku kapislu.
5. Ispitivanje ispravnosti detonirajućeg štapina obavezno se vrši pre svake upotrebe. Detonirajući štapin je ispravan za upotrebu ako su svi njegovi krajevi detonirali. Ako jedan ili više krajeva nisu detonirali, štapin je neispravan i NE SME se upotrebljavati.
6. Zabranjeno je aktiviranje detonirajućeg štapina šibicom.
7. Zabranjena je upotreba neispravnog i neispitanog sporogorećeg štapina.
8. Minimalna dužina sporogorećeg štapina koja se sme upotrebljavati za izradu sporogorećeg upaljača je 0,6 m.
9. Rukovanje štapinom mora biti oprezno, naročito zimi kada gubi elastičnost i lako se lomi, što dovodi do prekida srži.

Tabela 3 – Minimalna sigurnosna rastojanja pri rušenju
 Таблица 3 – Минимальное расстояние от места демонтажа
 Table 3 – Minimum safety distance in demolition

Vrste radova uz upotrebu eksploziva	Minimalna rastojanja od mesta miniranja u m
Površinski radovi na rušenju: - primena spoljnih punjenja - primena malih bušotina do 0,1 m - primena kotlovskih metoda - primena rukavica - primena velikih bušotina preko 0,1 m - primena komorskih punjenja - razbijanje stena punjenjima u potkopu - krčenje panjeva - izrada zaštitnih kanala radi sprečavanja šumskih požara	400 200 200 300 prema projektu 200 400 200 50
Rušenje u blatu: - pri izradi prokopa - pri izradi nasipa	200 100
Produbljivanje korita: - pri rušenju kompaktnog tla - pri rušenju slojevitog tla - u prisustvu ledenog pokrivača	100 200 200
Rušenje leda: - pri rušenju ledenog pokrivača - pri rušenju ledenih santi	100 200
Rušenje metala: - na otvorenim poligonima - pri rušenju ograda - pri rušenju u naseljenim mestima	1500 50 prema projektu
Rušenje zgrada i postrojenja: - pri rušenju zgrada - pri izradi temelja - probijanje malih bušotina - probijanje većih bušotina	100 100 50 100

Zaključak

Taktički gledano, rušenjem se isključivo bave specijalizovane inženjerske jedinice – pionirske jedinice. Konkretno, pre otpočinjanja borbenih dejstava po naređenjima komandanta operativnog nivoa, od pionirskih jedinica se formiraju privremeni inženjerski sastavi, specijalizovani za pripremu i rušenje objekata i komunikacija – GZ. Naređenje za rušenje određenih objekata ili komunikacije (na primer deonice puta) isključivo i jedino mogu da naredi komandanti jedinica operativnog nivoa.

Veliki problem prilikom dodeljivanja zadataka i procene vremena za njihovu realizaciju predstavlja činjenica da ne postoje savremene norme, odnosno adekvatna literatura iz koje bi se moglo orijentirno odrediti vreme neophodno za organizaciju radova na pripremi i izvođenju rušenja konkretnog objekta. Neophodno je u narednom periodu, na osnovu postojećeg realnog stanja jedinica i sredstava, izvršiti normiranje radova prilikom rušenja deonice puta i/ili ostalih objekata, odnosno razraditi sveobuhvatnu i temeljnu organizaciju inženjerskih radova prilikom realizacije ovih zadataka, tj. baviti se preventivom, a ne samo posledicama, jer se rušenje deonice puta može koristiti i u miru za potrebe izvršenja zadataka iz domena III misije VS.

Članak predstavlja pokušaj da se sagledaju sve specifičnosti rušenja jednog određenog objekta – deonice puta i njegovih sastavnih elemenata, odnosno da se ukaže na značaj pravovremene i kvalitetne organizacije inženjerskih radova pri izvršenju ovog zadatka.

Literatura / References

- Garašanin, R. 1979. *Taktika inženjerije*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Gardijan, P. 2001. *Mehanizacija u inženjeriji*. Obrenovac: Vojna štamparija.
- Hristov, S. 1978. *Organizacija inženjerskih radova*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Kitanović, R. 2000. *Inženjerska dejstva u boju*. Beograd: Vojna štamparija.
- Papić, Z. 2011. Miniranje leda. *Novi glasnik*, 1-4, str. 130-131.
- Škarec, Ž. 1979. *Rušenje*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Generalštab VS – Uprava za planiranje i razvoj (J-5). 2013. *Uputstvo za operativno planiranje i rad komandi u Vojsci Srbije*. Beograd: Medija centar Odbrana.
- Generalštab JNA. 1965. *Uprava inženjerije, Inženjerski priručnik I*. Beograd: Vojnoštamparsko preduzeće.
- Generalštab JNA. 1967. *Taktičko-tehnički priručnik*. Beograd: Vojnoizdavački zavod.
- Generalštab JNA – Uprava inženjerije. 1972. *Uputstvo za rušenje*. Beograd: Vojna štamparija.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ ПО ДЕМОНТАЖУ УЧАСТКОВ ДОРОГ

Ненад В. Ковачевич

Университет обороне г.Белград, Военная академия, кадетская бригада

ОБЛАСТЬ: инженерство
ВИД СТАТЬИ: практический опыт
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

В процессе применения минно-взрывных средств для сноса элементов, материалов и объектов значительным фактором является организация производства работ, как при подготовке, так и в самом процессе сноса и демонтажа.

Демонтаж с применением минно-взрывных устройств входит в профессиональные обязанности специализированных частей ВСРС, таких как дорожно-строительные и дорожно-технические взводы, входящие в состав инженерного батальона, то есть бригады КоВ.

Организация инженерных работ, описанных в статье представляет собой поиск самых оптимальных решений, касательно как материальных, так и человеческих ресурсов, задействованных в производстве демонтажных работ конкретного объекта – участка дороги.

Одной из проблем данной области является научная литература, особенно техническая, определяющая стандарты и нормы по производству работ. Проблема заключается в том, что за исключением нескольких экземпляров пояснительных записок, подавляющее большинство литературы опубликовано в 70-80-ые годы прошлого века.

В работе особое внимание уделено правилам безопасности при взрывных работах.

Ключевые слова: дороги; литература; взрывчатые вещества; инженерные работы; демонтаж.

ORGANIZATION OF ENGINEERING WORKS DURING DEMOLITION OF A ROAD SECTION

Nenad V. Kovačević

University of Defense in Belgrade, Military Academy, Cadet Brigade

OBLAST: Engineering

VRSTA ČLANKA: Professional practice

JEZIK ČLANKA: Serbian

Summary:

When using explosive ordnance for the demolition of elements, materials and facilities, organization is very important in the preparation of works as well as during demolition itself. In the Army of Serbia, for this kind of works, there are specialized expert units within Land Forces engineering battalions or brigades. The organization of the engineering work given in the article is a purposeful solution, regarding the use of movable property and stress imposed on people as well, when performing demolition of a concrete structure - road section. Lack of literature is a big drawback, especially lack of norms for demolition works. Except for some unofficial lectures for internal use, most of the literature dates back to the seventies or early eighties. A special emphasis in this paper is given to the application of protective measures in the use of explosives.

Introduction

After the definition of demolition engineering works, the introductory part points to the distinction between the two types of demolition works: complete and partial.

The concept of the organization of engineering works

The basic definition of the organization of engineering works is given as well as an overview of the elements of preparatory work in the execution of engineering work on a particular construction.

Demolition of a road section

The concept of a road is explained as well as the methods of its demolition. The documents required for the organization of the demolition of a road section are presented as well as standards for the preparation of a road section for demolition.

Safety and health at work with explosives

Safety measures when working with explosives are explained in detail for different situations.

Conclusion

The importance of the organization of engineering works of demolition of a road section is explained, both under war and peacetime conditions.

Key words: roads; literature; explosives; engineering works; demolition.

Datum prijema članka / Дата получения работы / Paper received on: 23. 12. 2014.
 Datum dostavljanja ispravki rukopisa / Дата получения исправленной версии работы / Manuscript corrections submitted on: 22. 02. 2015.
 Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje / Дата окончательного согласования работы / Paper accepted for publishing on: 24. 02. 2015.

© 2016 Autor. Objavio Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Ovo je članak otvorenog pristupa i distribuirao se u skladu sa Creative Commons licencom (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 Автор. Опубликовано в "Военно-технический вестник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier" (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). Данная статья в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией "Creative Commons" (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).

© 2016 The Author. Published by Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (www.vtg.mod.gov.rs, втг.мо.упр.срб). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/>).



САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА
СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Бомбардерска битка¹

У следећих неколико недеља америчко ратно ваздухопловство објавиће одлуку о томе ко ће градити следећу генерацију бомбардера великог домета.

Програм америчког ратног ваздухопловства LRS-B Long Range Strike Bomber – бомбардер великог домета биће ускоро додељен једном или другом конструкторском тиму, компанији Northrop Grumman или компанији Lockheed Martin/Boeing team која ће добити задатак да пројектује и изгради око 100 невидљивих летелица. Амерички званичници очекују да ће до зиме 2015. прогласити победника. Пентагон је упутио индустрији захтев за предлозима у вези с програмом LRS-B, тако да већина детаља и даље представља непознаницу.

Упркос томе што је програм вредан више милијарди долара, не налази се на врху Пентагонове листе жеља, али је ипак приоритет као што је и набавка ловца F-35 Lighting II JSF и летећег танкера Boeing KC-46A. Програм новог бомбардера представља део три главна америчка нуклеарна програма, као што су замена стратешких балистичких подморница класе Ohio, продужетак животног века ракети Trident II D-5 и модернизовање интерконтиненталних балистичких ракета Minuteman III.

Нуклеарни приоритети

Високи званичници Пентагона били су изузетно упорни по питању програма LRS-B са нуклеарног становишта. По њима је Америка последњих 20 до 25 година била потпуно неактивна када је у питању стратешко одвраћање и нуклеарна интеграција система за разлику од својих ривала Русије и Кине.



Нови LRS-B допуниће флоту бомбардера B-2

¹ Jane's Defence Weekly 2 september 2015.

Врло је важно довршити програм LRS-B с обзиром на то да највећи део америчке бомбардерске флоте чине авиони Boeing B-52, од којих је најновији сишао са производне траке још 1962. године, а мораће да остану у оперативној употреби све до 2040. године. Поред овог авиона постоји само један нуклеарно способни бомбардер – B-2 Spirit који је произведен у тако малом броју да укупан број авиона, након једног удеса 2008. године, није већи од 20.

Међутим, сам LRS-B неће бити довољан за модернизацију застареле бомбардерске флоте. Нови крстарећи пројектил LRSO (Long Range Standoff) развијен је ради замене крстареће ракете AGM-86 (ALCM Air-launched cruise missile) која је пројектована још седамдесетих година, док је у употреби од осамдесетих. Ракета ће бити повучена из употребе средином 2020. године, а 2027. очекује се почетак производње LRSO. Већ је потрошено 4,8 милијарди долара, а очекује се да та сума достигне између 10 и 20 милијарди долара.

Критике трошкова

Иако је постављен лимит од 550 милиона долара по једној летелици за флоту коју ће чинити 80 до 100 авиона, критичари се осврћу на набавку бомбардера B-2 Spirit који је произведен током осамдесетих година по цени вишој од 700 милиона долара по летелици, што указује на то да је постављени лимит од 550 милиона долара више него оптимистичан.

Уколико Пентагонов план потрошње за будуће године (FYDP – Future Years Defence Plan) буде извршаван од 2017. године, финансирање пројекта ће достићи 1,5 милијарди долара до краја седмогодишњег развоја. Истраживање, развој, тестирање и евалуација (RDT&E Research, development, test and evaluation) за програм LRS-B износили су 319 милиона долара у 2014. години, 914 милиона долара у 2015. години са планираних 1,2 милијарде долара за 2016. годину. Трошкови ће затим расти на 2,2 милијарде долара за 2017, па до 3,7 милијарди долара за 2020. годину. Процењује се да ће укупни трошкови развоја авиона износити 35 милијарди долара.

Реорганизација и модернизација флоте

Америчко ратно ваздухопловство започело је реструктурирање своје глобалне ударне команде (AFGSC) која ће укључити и LRS-B. Реорганизације ће ступити на снагу у октобру 2015. године и укључиваће авионе Rockwell B-1B Lancer, B-52H Stratofortress и B-2 Spirit, као и интерконтиненталне ракете Minuteman III. Наиме, LRS-B ће се придружити флоти од 63 авиона B-1B, 76 авиона B-52 и 20 авиона B-2, као и људству од 20.000 припадника ваздухопловних трупа.

Све постојеће флоте бомбардера већ су модернизоване, што је омогућило да ове летелице остану оперативне деценијама, а остаће још толико и у будућности. Бомбардер B-1B носи највећи арсенал вођених и невођених убојних средстава. Бомбардер је развијен још 1970. године као замена за B-52. Очекује се да ће B-1B остати у оперативној употреби све до 2040. године, а да ће му бити додата мисија за блиску ваздушну подршку.



Нови LRS-B летеће и уз B-1B

Компанија Boeing проширила је носивост убојног терета са 15 на 48 ракета JDAM (Joint Direct Attack Munitions) уз 96 бомби SDB Small Diameter Bomb. Очекује се да ће B-1B бити наоружан и морнаричком невидљивом противбродском ракетом великог домета LRASM, која ће заменити ракете Harpoon из седамдесетих година.

Осим тога што ће бити наоружан већим и разноврснијим убојним арсеналом, B-1B ће добити и интегрисану борбену станицу IBS као модеран дијагностички систем. На тај начин осим „стакленог“ кокпита, авиони ће бити умрежени у глобалну комуникациону мрежу, што ће омогућити већу флексибилност и ситуациону информисаност.

Летелица ће, такође, бити опремљена новим инерцијалним навигационим системом који ће допринети тачности погађања циљева, што је већ испробано за време рата у Ираку, где је B-1B био опремљен подвесним нишанским уређајем.

У међувремену и најстарији од постојећих америчких бомбардера B-52 је модернизован током протеклих деценија. Модернизације ће омогућити летелици да остане у употреби и након 2040. године. Биће инсталиран нови конвенционални ротациони лансер у унутрашњем спремишту за бомбе. Такође, биће омогућена интеграција ракета JDAM, од којих ће осам бити у унутрашњем лансеру, док ће других 12 бити на подвесним носачима. Биће омогућено и ношење минијатурног ваздушног мамца. Очекује се да свих 76 авиона буде модернизовано до октобра 2017. године.

До сада је бомбардер могао да носи прецизно навођено оружје само на подвесним носачима. Осим тога, B-52 ће бити опремљен дигиталном опремом, односно технологијом за борбену мрежну комуникацију – Combat Network Communications Technology – CONECT), модернизованим радаром AN/APQ-166, што ће му омогућити интеграцију подвесног AN/AAQ-33 за прецизније гађање као допуну постојећег AN/AAQ-33. CONECT такође омогућује модернизацију сателитске комуникације путем врло високих фреквенција (ELF).

Чак и најновији од ова три бомбардера, невидљиви В-2, пролази кроз фазе модернизације које ће га одржати у флоти до увођења нове невидљиве летелице. Компанија Northrop Grumman припремила је нови софтверски пакет познат као Flexible Strike programme који ће увезати неколико постојећих софтверских пакета који су до сада били укључивани у зависности од мисија. Нови софтверски пакет умањиће трошкове одржавања и повећати поузданост.


Овај софтверски пакет је први који ће искористити предности нових комуникационих структура, бржих процесора, мреже састављене од оптичких каблова и повећан капацитет смештаја података.

Пре крај 2012. године компанија је завршила модернизацију радара са фазираном решетком која ће бити примењена на радар AN/APQ-181 на летелици. Друга побољшања односе се на оружани интерфејс у кокпиту који ће бити у могућности да употреби нове пројектиле, као што су SDB II и Massive Ordnance Penetrator. Комуникациони систем ће такође бити модернизован, а биће инсталиран и универзални оружни интерфејс.

Компанија Northrop Grumman такође модернизује софтвер и хардвер за дефанзивни систем летелице AN/APR-50 који је пројектовала компанија Lockheed Martin. Компанија Lockheed Martin Mission Systems and Training division развија нови графички процесор за авионске инструменте, док компаније L-3 Communications Randtron Antenna и Systems Ball Aerospace раде на новим антенама које ће бити употребљене у новом систему.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Нова вишенаменска граната 120 mm за тенк Abrams²

Компаније General Dynamics Ordnance and Tactical Systems (GD-OTS) и Orbital ATK добиле су уговор о развоју пројекта за нову напредну гранату 120 mm (Advanced Multipurpose (AMP) за тенк M1A2 Abrams.

Вредност уговора је по 16 милиона долара за сваку компанију. Очекује се да ће фаза развоја бити завршена до 2019. године, пробна производња до 2019. док би пун произвођачки потенцијал био остварен до 2021. године.

Гранату AMP, која се води под ознаком XM1147 High Explosive Multi-Purpose with Tracer (HEMP-T), развио је амерички војни центар за истраживање наоружања ARDEC (US Army Armement Research, Development and Engineering Center).

Граната ће бити опремљена даталинком са вишенаменским програмирајућим упаљачем који ће одредити време детонације, ударом по циљу или распрскавајућим ефектом.

Током фебруара ове године компанија Watervliet Arsenal добила је уговор за модернизацију неколико тенкова M1A2 са опцијом уграђивања муницијског даталинка (Ammunition Data Link) помоћу којег би били у могућности да испале гранату AMP. Ова граната процесуира сигнал са тенковског система за управљање ватром и прослеђује податке упаљачу гранате.

² Jane's International Defence Review September 2015



Испаљивање AMP гранате на тестирању

Једноделна граната AMP има 6,5 кг погонског пуњења, а њена укупна маса износи 21 кг. Поседује расклапајућа крилца ради стабилности у лету, а предвиђена је за напад на лакооклопљене циљеве, посаде вођених противоклопних ракета, противтенковске запреке на раздаљинама до 2.000 м, као и на пешадијске снаге.

Очекује се да ће AMP заменити високоексплозивну противтенковску гранату М 830, вишенаменску противтенковску гранату М830А1, као и гранате М1028 и М908. Граната М830А1 била је намењена борби против хеликоптера. Ова вишенаменска граната објединиће убојне мисије више граната и знатно поједноставити логистичке задатке.

Очекује се годишња производња од око 3.500 граната које ће бити око 30% јефтиније од постојеће муниције.

Тенк М1А2 носи 40 граната за топ М256 од 120 мм. Очекује се да ће увођење гранате ХМ1147 довести до коришћења само две врсте гранате и то AMP и APFSDS-TM829Е4 – поткалибарног пенетратора.

Граната М829Е4 је успешно прошла прва тестирања и ускоро се очекује почетак серијске производње на основу уговора вредног 80 милиона долара.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Ново амфибијско оклопно возило Terex 2³

Сингапурска компанија Singapore Technologies (ST) приказала је своје најновије оклопно возило – точкаш 8X8 Terex 2. Ово возило представља наставак програма возила Terex која су већ у употреби у оружаним снагама Сингапура, као и у заједничком програму амфибијског борбеног возила за амерички марински корпус у сарадњи са америчком компанијом Applications International Corporation (SAIC).



Место возача са два екрана осетљива на додир која омогућују бржи приступ информацијама о возилу уместо класичних инструмената, док се приказ дешавања око возила такође приказује на екранима.

Пројекат возила Terex 2 представља кулминацију деценијског дизајнирања заштићених мобилних платформи, као што су борбено возило пешадије Bionix и оклопни транспортер Terrex.

Terex 2 има масу од 30 тона и тежи је од постојећег возила Terex који тежи 24 тоне, омогућава већу носивост товара, наоружања и залиха. Возило има два члана посаде – возача и командира и 12 потпуно опремљених припадника десанта који су смештени у посебно пројектована седишта која штите од експлозија, а која се могу лако скинути и на тај начин омогућити складиштење различитих ствари у трупку возила или бржи приступ ради одржавања.

Повећан је степен преживљавања посаде, тако што је труп састављен од две секције обликоване као слово V (V-over-V). У доњем делу трупа смештени су погонски и амортизациони део, док се у горњем делу налази простор за смештај посаде и десантног одељења. Доњи део трупа задужен је за апсорбовање почетног експлозивног удара који потиче од мине или од импровизоване експлозивне напаве, док други, горњи део трупа у облику слова V, умањује ризик од рањавања посаде.

³ Jane's Defence Weekly 9 September 2015



Нова Terex 2

Компанија ST Kinetics наглашава значај амфибијских операција које су и главни покретачи програма Terex 2. Хидродинамички облик возила у комбинацији са шноркел системом и посебно дизајнираним пропулзионим системом омогућава возилу постизање брзине од 6 чворова у води и то при великим таласима.

Возила Terex и Terex 2 деле исту конфигурацију на осам точкова, али Terex 2 представља потпуно нови дизајн са новим технологијама и повећаном носивошћу.

Нема сумње да ће ова унапређења значити и додатне трошкове, тако да није изненађујуће што компанија ST Kinetics и даље нуди тржишту оригинални Terex.

Компанија је прилично сигурна у свој наступ на међународном тржишту, чему је сигурно допринео и успех заштићеног теренског возила Warthog у Авганистану, као и прогрес у оквиру програма америчког моринског корпуса ACV 1.1.

Очекује се да ће ново возило бити приказано на сајму наоружања у Лондону, од 15. до 18. септембра, а месец дана касније у бази америчке морнаричке пешадије у Квантику.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Нове варијанте породице *Rosomak*⁴

Компанија Polish Armament Group (PGZ) приказала је нове варијанте породице точкаша 8X8 *Rosomak* на изложби наоружања MSPO, која је одржана почетком септембра 2015. године.

То су модернизовани *Rosomak-M*, унапређени *Rosomak-XP*, возило за подршку *Rosomak DSV* са топом 120 mm, инжињеријско возило *Rosomak WPT*, као и возило исте породице *ZSSW-30* са даљински управљаним топом.

Rosomak-M је модернизовано борбено возило пешадије са унапређеном куполом *HitFirst-30P* која има носивост 200 до 300 kg и опремљена је системом *Rosomak Battlefield Management System*. Ово возило је само модернизовано, а сачуване су му амфибијске способности упркос већој маси, што је остварено захваљујући новом немачком нанометричном челичном оклопу, као и проширењу ширине самог возила Све то резултирало је масом која је повећана за 1.600 kg.



Rosomak-XP

Други нови *Rosomak* је *Rosomak-XP* који је опремљен побољшаним амортизационим системом помоћу којег је боље распоређена маса возила од 30 тона. Маса је повећана ради побољшане балистичке заштите која је сада на нивоу STANAG 4569, ниво 4 и ниво 4a/b, што пружа заштиту од мина и импровизованих експлозивних направа.

Rosomak DSV опремљен је куполом компаније Cockerill Mechanical Industries (CMI) XC-8 120 HP наоружаном топом 120 mm L/47, а компанија тренутно ради на куполи која ће бити опремљена новим топом 120 mm и која ће бити понуђена за будући програм пољског возила за подршку *Gerard*.

⁴ Jane's Defence Weekly 9 September 2015.



Rosomak DSV

У међувремену, на изложби MSPO пољска компанија Huta Stalowa Wola (HSW) приказала је други прототип даљински управљане куполе ZSSW-30 намењене возилу Rosomak M2 и будућем пољском гусеничном БВП који се припрема у оквиру програма Vorsuk. Овај прототип биће опремљен електрооптичким нишанским уређајем PCO GOC-1 уместо уређајем Nike Selex ES који се налазио на првом прототипу.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Nexter полаже наде у БВП VBCI⁵

Компанија Nexter Systems приказала је борбено возило пешадије (БВП) VBCI-2 на изложби наоружања DSEI 2015. Возило је развијено средствима компаније ради привлачења потенцијалних клијената који траже БВП са већом ватреном моћи и вишим нивоом заштите.

VBCI-2 у конфигурацији БВП има нови, у потпуности заварен труп са вишим кровом од стандардног возила VBCI које се налази у употреби француске војске, што му омогућава већи интерни волумен. Новине су и јаки дизел мотор, усавршен амортизациони систем, шире гуме ради боље проходности, опција управљања задњим точком, електронска архитектура и термална камера за возача.

⁵ Jane's Defence Weekly 23 September 2015.



Најновија верзија VBCI-2 опремљена је најновијом куполом Т 40 наоружаном топом СТАИ 40 mm

Најновија верзија VBCI-2 опремљена је најновијом куполом Т 40, наоружаном топом СТАИ 40 mm, и даљински управљаном оружном станицом опремљеном митраљезом 7.62 mm. За разлику од ње, стандардна купола на возилу VBCI наоружана је топом 25 mm M811 са двоструко пуњеном муницијом и митраљезом 7.62 mm. Са сваке стране куполе налази се вођена противтенковска ракета коју бира сам корисник.

Као и код већине нових возила, VBCI-2 је опремљен камерама које омогућају прегледност у радијусу од 360 степени.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Кина открива нову генерацију беспилотних летелица⁶

Компанија Chengdu Aircraft Corporation открила је јавности другу генерацију турбопропелерских беспилотних летелица Wing Loong II током изложбе наоружања у Пекингу, која је одржана половином септембра 2015. године.

На основу слике и доступних података јасно је да постоји велика сличност са беспилотном летелицом америчке компаније General Atomics MQ-9 Reaper која лети на великим висинама и има велики радијус дејства. Доступни подаци указују на то да су тестирања летелице започела још током марта 2015. године.

⁶ Jane's Defence Weekly 23 September 2015.



Wing Loong II je prikazan tokom izložbe naoružanja u Pekingu, koja je održana polovinom septembra 2015. godine.

Očekuje se da će letelica ući u inventar Narodnooslobodilačke vojske Kine i biti upotrebljavana u sadejstvu sa maњom bespilotnom letelicom Chengdu GJ-1/Wing Loong.

Wing Loong II po svojoj konfiguraciji i dimenzijama spada u istu klasu kao i američka BL MQ-9 Reaper. Obe pokreće jedan potisni turbopropelerски motor. Satelitski komunikacioni sistem i primarni optički sistem smesteni su u nosu letelice i obe koriste velike V stabilizatore sa maњim vertikalnim stabilizatorima.

Iako su skoro identične po veličini, њихove performanse se razlikuju, najviše zbog različitih pogonskih sistema. Dok MQ-9 Reaper ima maksimalnu brzinu od 444 km na čas i dostiže maksimalnu visinu od 15.240 m, Wing Loong II postiže maksimalnu brzinu od 370 km na čas i postiže visinu od 9.000 m.


Razlikuje se i nosivost; MQ-9 nosi 1.360 kg na podvesnim nosačima, dok Wing Loong II može nositi samo 480 kg.

Slika sa brošure pokazuje kako Wing Loong II nosi 12 raketa vazduh-zemlja, ali se tu verovatno radi o raketama vazduh-zemlja Norinco Blue Arrow 9 od 26,5 kg koje su prvi put prikazane tokom 2014. godine.

Očekuje se napredovanje u performansama kineske bespilotne letelice ako Kina bude nastavila da razvija snaжnije motore za BL. Međutim, vrlo je verovatno da će izvozni uspeh ove letelice biti određen upravo њenom cenom koja se odnosi na letelicu i kopnени kontrolni sistem.

Dragan Vucković (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Нови кинески оружани системи⁷

На петнаестој војној паради, која је одржана у Пекингу, учествовало је 12.000 војника и 56 генерала кинеске Народноослободилачке армије и још 1.000 војника из 17 земаља.



Кинеска противбродска ракета YJ-12

На војној паради приказано је 500 оружних система које користи копнена војска и 200 летелица. Иако је јавно речено „да се ови оружни системи први пут приказују“ већи део је већ приказан у разним кинеским војним публикацијама и на вебсајтовима.

Стратешке ракете биле су у центру пажње, нарочито ракета DF-21D, прва балистичка противбродска ракета која употребљава маневришућу бојеву главу, опремљену вишеструким сензорима, која омогућава напад на покретна пловила на мору. Очекује се да ће ова ракета бити употребљавана заједно са класичним противбродским ракетама лансираним из ваздуха и са мора ради лакшег савладавања ешелониране одбране група бродова.

Први пут у јавности је приказана и балистичка ракета средњег домета DF-16, коју употребљава Други артиљеријски корпус и то од почетка 2011. године. Ракета је преузела степен на којем се налази бојева глава балистичке ракете кратког домета DF-11A, али јој је додат јачи мотор који јој омогућује већи радијус дејства и веће брзине ради избегавања нових ракета ракетне одбране Тајвана коју је испоручила Америка.

⁷ Jane's Defence Weekly 09 September 2015.



DF-21D, прва балистичка противбродска ракета

Интерконтинентална стратешка ракета DF-5 В, са вишеструким бојевима главама, домета 15.000 км, такође је први пут приказана у јавности. Она се налази у оперативној употреби кинеске војске још од 2008. године, а на паради је приказан модел који се лансира из заштићених силоса, а користи исту технологију као и ракета за лансирање товара у свемир – Long March - 2С. Иако се шпекулисало да ова ракета носи три бојеве главе, судећи по њеној величини, могуће је да је тај број умањен.

Кина је приказала и одређен број копнених оружних система, као што је тенк Т-99А, који је први пут приказан 2011. године, а чија купола са оштрим ивицама указује на то да је употребљена друга генерација композитног и реактивног оклопа.



Тенк Т-99А

Први пут је приказана и противтенковска ракета ATF-10, вођена оптичким каблом и предвиђена за гађање мета ван визуелног домета. Осам таквих ракета носи модификован оклопни транспортер ZBD-044. Народноослободилачка војска Кине први пут је исказала потребу за системом гађања ван визуелног домета још 2011. године, а ракета ATF-10 први пут је употребљена на војним маневрима 2014. године.

Морнарица је приказала нову суперсоничну противбродску ракету YJ-12 коју покреће рамџет мотор, а лансира је авион J-15 са носача авиона.

Новину представља и балистичка ракета малог и средњег домета DF-26 за коју је речено да се производи и у противбродској варијанти.



Балистичка ракета малог и средњег домета DF-26

Поврх основне мисије пројектила, у коју спадају мисије нуклеарних противудара, DF-26 може нападати и бродове средње носивости у оквиру конвенционалних мисија удара на великим даљинама.


Како је домет ракете DF-26 од 3.000 до 4.000 км, она би могла гађати америчке циљеве на острву Гуам.

С обзиром на дефиницију циљева средње носивости, очекује се да би се ракетом могли гађати и бродови величине разарача, а не само носача авиона. У том смислу ова ракета би представљала другу генерацију балистичких ракета које могу гађати америчке бродове и то на даљинама које сежу до острва Гуам.

То ствара нову претњу САД које сада морају смислити начин да заштите своје и интересе својих савезника у североисточној Азији, а нарочито на Тајвану.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Уједињени Арапски Емирати купују нови торпедо⁸

Уједињени Арапски Емирати највероватније користе неупадљиве бродове који су наоружани торпедом са највећим дометом на свету. То би им омогућило да гађају иранске подморнице класе „Кило”.

Извештај немачке владе о извозу наоружања открио је да су две „пловеће платформе са опремом за лансирање торпеда” извезене у УАЕ током 2014. године заједно са одговарајућом опремом за подводно лоцирање.

Немачка компанија Atlas Elektronik одбила је било какав коментар на ту тему, али је изгледа неспорно да су УАЕ нови клијент за торпедо SeaHake mod 4 ER који има највећи радијус дејства на свету – више од 140 км.



Лансирање торпеда SeaHake mod 4 ER


Mod 4 ER је флексибилан систем који се може монтирати и на камион, тако што се торпеда спуштају у воду преко извлачеће рампе. Торпедо се може избацивати и из постојећих торпедних цеви које се морају мало модификовати с обзиром на дужину торпеда, а систем за лансирање торпеда може се инсталирати и на наменска пловила.

Немачки израз пловећа платформа вероватно значи да су се УАЕ определили за верзију која се може инсталирати на комерцијалне бродове који не привлаче пажњу.

Са друге стране, немачка документација говори да се реч „платформа” односи и на нови тип торпедног чамца. На тај начин може се објаснити зашто их Немачка подврстава у „војне бродове” у свом годишњем извештају о извозу наоружања.

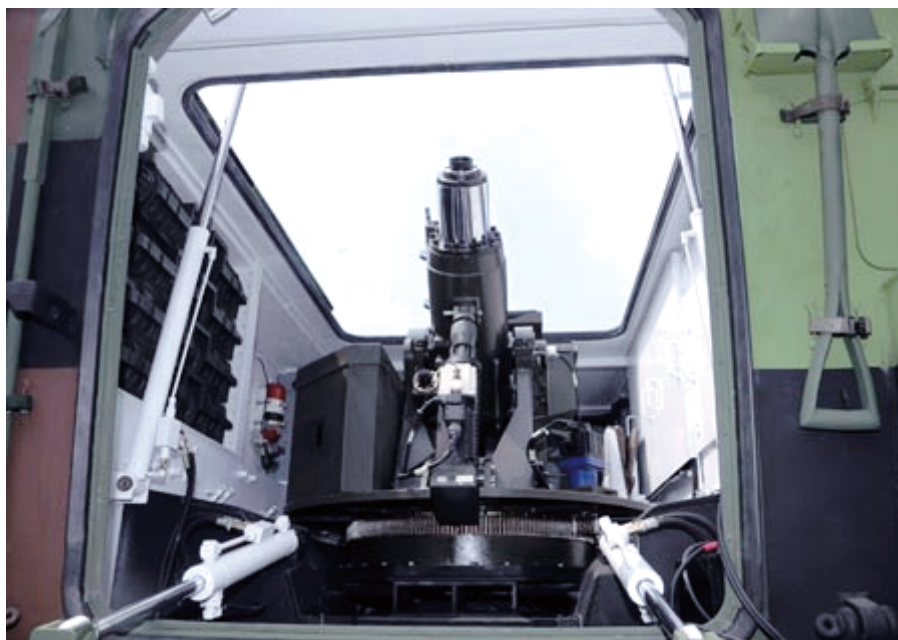
⁸ Jane's Defence Weekly 23 September 2015

Уколико су УАЕ крајњи корисници, тада су бродови на којима се налази систем mod 4 ER у ствари бродови класе RmaH које производи компанија Nobiskrug. Они личе на компјутерски генерисане слике бродова опремљене са mod 4 ER на којима се налазе системи за лансирање четири торпеда, а који изгледају као обични бродски контејнери на палуби.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Тајвански самоходни модуларни минобацач⁹

Тајванско министарство одбране започело је са пројектом напредног мобилног минобацачког модуларног система на који се монтирају минобацачке цеви од 81 или 120 мм.



Мобилни минобацачки систем (ММС)

Мобилни минобацачки систем (ММС) независни је електромеханички систем који садржи хидраулични склоп чији је циљ умањење повратног трзаја и до 70%, што му омогућује да се монтира на велики број возила точкаша или гусеничара, без потребе за ојачавањем система амортизације. Склоп се окреће за 360 степени по азимуту, док је степен елевације од 45 до 85 степени, иако је могуће и ручно покретање.

⁹ Jane's International Defence Review October 2015



Полуаутоматски минобацачки систем

Мобилним минобацачким системом управља дигитални систем за управљање ватром са интегрисаним балистичким компјутером који омогућује нишанцији много прецизније испаливање мине. Иако је систем могуће монтирати на различите платформе, прототип ММС-а је интегрисан на оклопном транспортеру 8X8 Cloud Leopard. Возило је модификовано тако што је омогућен већи отвор на крову, али и одговарајући простор за 44 мине. У овој конфигурацији возилом управља 5 чланова посаде: возач, командир, нишанција, помоћник нишанције и специјалиста за муницију.

Приказан је и нови полуаутоматски систем пуњења цеви за минобацач 120 мм.

Систем омогућује посади да пуни мине од 120 мм тако што пуни модул који се тада аутоматски спушта у цев. Нови систем омогућује посади минобацача да остане заштићена оклопом транспортера за време ватрене подршке. Пређашњи системи доводили су посаду у опасност, јер су припремне радње биле обављане без заштите. Оне су сада знатно редуциране, тако што је минобацач спреман за ватру оног тренутка када оклопни транспортер стане и када је кров отворен. Посада мора само да убаци координате циља у систем за управљање ватром и напуни оружје мином.

Интеграција система ММС 81 мм са оклопним транспортером Cloud Leopard доказала је могућност испаливања и до 15 мина у минути. Планирана је и интеграција слично конфигурисаног система ММС и на laku платформу HMMWX – High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle, иако ће развој таквог система започети тек након успешно завршеног тестирања на оклопном транспортеру Cloud Leopard.

Компанија 202nd Arsenal развила је нову минобацачку мину која се заснива на минобацачкој мини М374 А 3 (HE High Explosive), а која се због старелости избацује из наоружања војске САД, а и даље је у наоружању јужнокорејске војске.

Нова минобацачка мина ХТС 103 НЕ поседује шест пуњења која се налазе на аеродиначнијем телу мине уместо четири које су се налазиле на телу мине М374 А 3, што новој мини омогућује и до 25 % већи домет, односно до 6.300 м.

Тренутно се ради на развоју минобацачке мине која ће садржати 1.150 металних куглица око експлозивног пуњења, што ће знатно утицати на ефекат експлозије.

Још један пројекат који је део развоја система ММС налази се на тестирању, а то је систем за ваздушно осматрање и нишањење. Овде се ради о беспилотној летелици са више ротора која је опремљена камером и ласерским даљинаром, а припада самом систему.

Када је лансирана, летелица доставља прецизне нишанске податке, као што су домет, временски и други услови систему за управљање ватром, што знатно повећава тачност гађања. Осим тога, као део система приказана је омнидирекциона камера која обезбеђује слику околине и у случају затварања крова возила.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Системи усмерене енергије¹⁰

Очекује се да ће технолошки демонстратори система усмерене енергије кулминирати у свом развоју за три до пет година и да ће тада, уколико буду успешни, америчко министарство одбране размотрити програме који ће их увести у оперативну употребу.

Пентагон годишње потроши око 300 милиона долара на развој система усмерене енергије, што је неопходно с обзиром на развој прецизних муниција које омогућују много модернију и слојевитију одбрану.

Системи усмерене енергије развијају се највећим делом због све већих претњи нових крстарећих и балистичких ракета.

У развоју оваквих система важна је снага напајања, па је потребно да дође до ефикасног коришћења ласера од најмање 100 киловата, јер то представља минимум потреба за сузбијање врло скромних ракетних претњи. Очекује се да ће ова граница бити достигнута у следећих неколико година и да ће до тада подсистеми који регулишу напајање, хлађење, квалитет снопа и корекцију атмосферских услова достићи жељени ниво зрелости.

Иако је тренутно приоритет у развоју система усмерене енергије окренут ка развоју против-ракетних система, појављују се и нове могућности њихове употребе, које се тичу ваздушне одбране, противракетне одбране или замене оружја на авионима топовњачама типа Lockheed Martin C-130 који имају простор за смештај већих оружних система с обзиром на то да су тренутно наоружани и хаубицама.

¹⁰ Jane's International Defence Review October 2015

У режиму одбране против лансираних ракета системи усмерене енергије би нападали саму ракету или ишли на онеспособљавање оптичких система за навођење.

У режиму ваздушне одбране системи би могли бити употребљени на само за отклањање надолазеће претње већ и у идентификацији циља, што је често и највећи проблем ваздушне одбране.

У даљем развоју биће истражене могућности за употребу ових система у неубојитом деловању, као активног система онемогућавања, на пример за разбијање демонстрација. Овакви системи могли би бити инсталирани и на беспилотне летелице или на ваздушне топовњаче.

Већ сада се ради на томе да се неубојити системи усмерене енергије интегришу на нову серију ваздушних топовњача AC-130J Ghost rider. Ови авиони, ознаке Block 60 J, већ су у употреби, али је могуће преправити један број од 37 планираних авиона на ову конфигурацију.



AC-130J Ghost rider

Америчко ратно ваздухопловство истражује микроталасе велике снаге и проблематику идентификације системима усмерене енергије с обзиром на потребе ловачке авијације. Овај концепт употребљава микроталасни генератор интегрисан у ракету који омогућава онеспособљавање непријатељевих електронских система.

Када су у питању ласери, Америчко ратно ваздухопловство пребацило је своје поље интересовања са хемијских на „чврсте“ ласере снаге неколико десетина киловата у улози самозаштите летелице. Ови ласери би, с обзиром на своју снагу, требало да униште сензоре на непријатељским оружјим системима.

Очекује се да ће у следећих пет до десет година постојати ласери снаге од 100 киловата, који би били у стању да се носе са претњама лоцираним на „средњим даљинама“, а у неком дугорочнијем периоду очекује се развој ласерских оружја снаге око 300 киловата који би могли имати и офанзивну употребу.

У међувремену и америчка копнена војска истражује могућност употребе различитих врста ласера, нарочито оних малог габарита, који би могли бити монтирани на возила, а истовремено развија и нове доктрине употребе таквих уређаја.

Кључно питање за копнену војску јесте да се ласерски снап заустави након удара у мету или да се распростре само до одређене границе уколико је мета промашена због отклањања опасности од колатералне штете која би могла обухватити авионе и сателите с обзиром на то да се ради о системима земља-ваздух.

Док се ове процедуре разрађују, америчка војска је наставила са тестирањем ласера по пројекту развоја технологије високоенергетског ласера High Energy Laser Technology Development (HELTD). Ради се о развоју ласерских оружаних система који би онеспособљавали ракете, артиљеријске гранате и минобацачке мине, као и беспилотне летелице.


Ускоро, током 2015. године, очекују се тестови у којима ће ласерски системи бити ангажовани против минобацачких мина малог калибра, као и против беспилотних летелица класе 1 и 2.

Са своје стране, америчка морнарица већ има функционалан ласерски систем снаге 30 килвата који се налази на војном броду USS Ponce. Овај систем већ је испробан у нападима против чамаца и беспилотних летелица.



Ласерски систем снаге 30 килвата који се налази на војном броду USS Ponce

Америчка морнарица планирала је да тестира ласерски систем на броду Ропсе током једне године, али је то продужено на захтев команде пете флоте, а очекује се пробно тестирање новог ласерског система снаге од 100 до 150 килвата током 2018. године.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),
e-mail: draganvučkovic@kbcnet.rs,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Развој тенкова¹¹

Најновији тенковски дизајн, руски Т 14 на паради поводом дана победе у Русији

Ове године обележава се сто година од како су тенкови први пут употребљени приликом пробоја западног фронта током Првог светског рата. Иако су се тенкови први пут појавили у западној Европи, у овом региону се, осим Немачке, готово ниједна земља не бави пројектовањем, развојем и производњом тенкова.

Због мањих буџета, консолидације индустрије и дуговечних програма производње тенкова, чак и земље које су некада неговале своје капацитете производње тенкова, као што је Шведска са својим тенком Bofors S и Швајцарска са својим тенковима Pz 61 Pz 68, прешле су на увоз. Обе земље одабрале су тенк Leopard 2 компаније Krauss Maffei Wegmann (KMW) са погоном компаније MTU.

Шведски тенкови Leopard спадају у најзаштићеније тенкове на свету, што представља необичну ситуацију да многе земље које увозе тенкове, уместо да их саме развијају, добијају много јача возила од оригинала.

На пример, Уједињени Арапски Емирати увезли су 435 француских тенкова Leclerc, чији је завршни стандард производње виши него што захтева француска војска. Једна од најзначајнијих промена је инсталација дизел мотора MTU 883 од 1.500 КС уместо оригиналног француског мотора.

УАЕ су затим тражили и уградњу додатног оклопа у виду комплекта AZUR компаније Nexter, који је намењен за борбу у градским условима и управо су возила у тој конфигурацији виђена у операцијама које се спроводе у Јемenu. Са своје стране, Француска није сматрала за сходно да појача оклопну заштиту својих тенкова Leclerc.

¹¹ Jane's International Defence Review October 2015

Компанија KMW испоручује тенк Leopard 2 за који се сматра да представља најуспешнији европски тенковски дизајн. Најчешће се извози, али је претрпео и највеће измене. Лицензно се производи у Грчкој и Шпанији, али највећи део посла ипак се односи на модернизовање постојећих платформи с обзиром на то да је тренутно у Немачкој у току производња само 64 тенка и то оних који су намењени извозу у Катар, док се све остале европске армије труде да смање своје флоте.

Чак и тенкови Leopard 2A7, који су поручени за немачку војску у ствари представљају модернизоване холандске тенкове Leopard 2A7 и Leopard 2A4 који су ремонтвани, модернизовани и прилагођени новим стандардима.

Иако не постоје информације о томе шта ће се дешавати у блиској будућности, постоје индикације да ће нови тенк заједнички развијати Немачка и Француска, која ће ускоро тражити замену за свој Leclerc. Ову могућност додатно подгрева и недавно спајање две велике компаније KMW и Nexter које су до сада биле у изразито конкурентском односу.

Русија

Чак је и руска мамутска оклопна индустрија била објекат разних спајања и консолидација, тако што је развој и производња оклопних средстава са четири производна погона сада концентрисана на један – фабрику УралВагонЗавод у Нижњем Тагилу која развија тенкове Т-62, Т-72 и Т-90 од којих је последњи у производњи за извозно тржиште. Фабрика у Омску, која је некада производила тенк Т-80, потпала је под концерн УралВагонЗавод и биће специјализована за производњу и развој тенковских платформи.

Након лажног старта са Т-95, који је био наоружан екстерним топом од 152 мм 2А83 са глатком цеви, руски развој тенкова усмерен је на тенк Т-14 Армата који је први пут званично приказан на руској војној паради у мају 2015. године.

Т-14 представља револуционаран дизајн тенка у којем је трочлана посада смештена у предњем делу изразито заштићеног трупa (заштита подразумева и активну заштиту у облику пројектила), са екстерним топом 125 мм 2А82А глатке цеви који пуни аутоматски пуњач. Користећи исту шасију, Т-14 ће предводити целу лепезу тешкооклопљених борбених возила од којих је први Т-15 тешко борбено возило пешадије (ТБВП).

Први претпроизводни примерци Т-14 налазе се на тестирању и, уколико оно буде успешно, Русија планира производњу од најмање 2.000 возила која ће заменити тенкове Т-72, Т-80 и касније и Т-90, иако није сигурно да ли ће бити могуће обезбедити одговарајућа средства.

Украјина

За време Совјетског Савеза, Украјина је развила велико искуство у пројектовању, развоју и производњи тенкова, укључујући Т-80УД, који је покретан компактним дизел мотором украјинског порекла, уместо скупом оригиналном руском гасном турбином коју карактерише огромна потрошња горива.

Рад је настављен и након распада Совјетског Савеза, па су развијене верзије Т-84 (продат Пакистану крајем деведесетих година, мада су се по-

јавила прва неслагања између Русије и Украјине, што је довело до тога да неки тенкови буду испоручени са куполама тенка Т-80).

Пројектни биро Kharkov Morozov Machine building Design Bureau био је задужен за дизајнирање тенка, у сарадњи са државном фабриком Малишев. Ова фабрика произвела је и започела извоз прве серије од 49 модернизованих тенкова VM Orlot, који су испоручени клијенту – Краљевској тајландској армији почетком 2014. године, иако садашњи статус тог програма није јасан с обзиром на дешавања у Украјини.

Израел

Египат је једина земља у северној Африци која има модерну производну линију тенкова М1А1, а суседни Израел је једина држава на Блиском истоку која је развила свој домаћи тенк. Тренутно нема производње, али се раде модернизације тенка, док се дизел мотор тенка Merkava Mk 4, GD883 компаније General Dynamics који, у ствари, представља верзију мотора компаније MTU, увози. Пројекат тенка Merkava окупио је националну индустрију одбране на начин који је својствен само Израелу, а карактерише га висок степен сарадње и интеграције већег броја компанија.



Merkava Mk 4

Дизајн самог тенка је необичан, погонски агрегат се налази на предњем делу, док је купола монтирана према задњем делу тенка. Пројектанти су нагласили да се на тај начин повећава могућност преживљавања посаде (која може напустити оштећен тенк преко задњих излаза, заштићена од непријатељске ватре), а ово решење омогућава и слободан простор за одређен број припадника десантног одељења.

Верзија Mk 4 опремљена је и активним системом заштите компаније Rafael trophy.

Турска

С обзиром на велико стечено искуство у модернизовању старијих тенкова, Турска се определила за пројекат свог сопственог тенка, који је уз помоћ локалне компаније Отокар реализован током последње деценије.

Уговор од 500 милиона долара покрио је пројектовање, развој и производњу два прототипа ПВ 1 и ПВ 2. Тренутно се воде преговори о изградњи прве серије од 250 тенкова Altay, које ће покретати дизел мотор од 1.500 Кс MTU EuroPowerPack, мада Турска жели да будуће серије тенкова покрећу домаћи агрегати.

Тенк Altay је наоружан стандардним НАТО топом од 120 мм са глатком цеви, истим топом којим су наоружани тенкови Leopard 2А6 са ручним пуњањем и домаћим системом за контролу ватре којим се нишани преко стабилованих дневно-ноћних нишанских справа, а у чијем су развоју учествовале домаће компаније.



Тенк Altay

Тенк је опремљен савременим композитним оклопом, али се у будућности очекује инсталација и активног система заштите.

Јужна Кореја

Јужнокорејска компанија Hyundai Rotem развила је и произвела тенкове K1 и K2, с тим да је развој првог прототипа K1 радила компанија Chrysler, садашња General Dynamics Land Systems, још 1983. године. Пројекат је прошао четири циклуса развоја и модернизације који је довео до садашњег тенка K1A2 који је ушао у оперативну употребу током 2013. године..

Укупна производња износила је чак 1.500 возила, али ниједно није извезено.

Упоредо са производњом овог тенка, компанија Hyundai Rotem развила је и тенк K2, потпуно нови дизајн са вишим нивоом заштите, наоружан топом са глатком цеви 1/55 са аутоматским пуњачем, који омогућава каденцу ватре до 10 граната у минути.

Првобитно је планирано да K2 покреће домаћи мотор, али како његова снага није била довољна одлучено је да тенк покреће мотор MTU MT833.

Дизајн тенка је конвенционалан, али укључује неколико новина, као што су активна амортизација која омогућава тенку да „клекне” и на тај начин напада циљеве иза заклона или повећа елевацију цеви ради захвата циљева на висинама. Читаво тело тенка се спушта или подиже у зависности од конфигурације терена.



Активна амортизација тенка K2

Пуна производња започела је 2013. године, а први тенкови ушли су у оперативну употребу током јуна 2014. године, а с обзиром на динамику производње очекује се да 100 тенкова буде испоручено до 2017. године. Тренутно још нема извозних поруџбина, али постоји интерес, нарочито када је у питању набавка тенкова за перуанску војску у оквиру које се разматрају тенкови K2, украјински Оплот и Руски Т-90.

Кина

Већина кинеских тенкова прављена је на основу руских пројеката, али су се постепено модернизовали путем домаћих компанија, да би Кина на крају била у позицији да развије сопствени тенк.

Први кинески тенкови развијени на основу тенка Т-54 били су Туре 59, Туре 69 и Туре 79. Следио их је Туре 80 који је имао нови труп са куполом наоружаном топом НАТО стандарда 105 мм и компјутеризованим системом за управљање ватром.

Најновији тенк у употреби у Народоослободилачкој војсци је Туре 99 (број означава годину када је први пут приказан на војној паради). Иако је труп сличан тенку Т-72, на његов развој утицала су и руска искуства из Авганистана, али и јадан учинак ирачких тенкова током операције Пустинска олуја .

Тенк има куполу опремљену топом са глатком цеви 125 мм, аутоматским пуњачем и модерним системом за управљање ватром.

Велики број ових тенкова произведен је за домаће и страног тржиште, а кинеска компанија NORINCO тренутно рекламира своје нове тенкове MBT-3000 (VT-4), MBT-2000 (VT-2), који су наоружани топом 125 мм са глатком цеви.



Мбт 3000

Нема много информација о развоју будућих кинеских тенкова, али најновије оклопно возило које се појавило је лаки тенк Туре 62, наоружан топом 105 мм, што представља одступање од глобалног тренда тешких тенкова. Тенк Туре 62 тежак је само 21 тону, има четири члана посаде, а намењен је употреби у планинским подручјима.

Индија

Развој индијског тенка Арјун пратила су небројена кашњења, технички изазови и астрономски трошкови, што је резултирало испоруком 124 проблематична возила Мк 1 током 2004. године (30 година након почетка развоја) и наметнутим испоруком додатних 118 модернизованих тенкова у верзији Мк2. Нова испорука започета је 2014. године, а трошак једног тенка попео се на невероватних 10 милиона долара, што га је довело на врх листе најскупљих тенкова на свету.

Иако је у основи модеран тенк, Арјун је опремљен зачуђујуће застарелим решењима, као што су топ 120 мм са олученом цеви као на британском тенку Challenger који је у пракси оцењен као неделотворан у односу на модерне оклопе.



Arjun Mk 2

Да би донекле пребродила потешкоће са тенком Arjun, Индија је купила одређену количину тенкова Т-72М1 и Т-90 који се производе по лиценци, али са најмодернијим системима, као што су нишанске справе компаније Thales. То је показало да су ипак усвојене одређене технике и правила по питању развоја тенкова.

Пакистан

Уместо да стартује од нуле, Пакистан је одабрао много паметнији приступ, који се остваривао уз блиску сарадњу са Кином.

Две земље имају историју дуге сарадње која је почела са кинеским тенком Туре 59 компаније Norinco, који је модернизован у Пакистану. На тај тенк уграђен је нови топ са олученом цеви од 105 мм и компјутеризован систем за управљање ватром. Затим је уследила домаћа производња/склапање тенкова Туре 69-II, Туре 85 и, на крају, и тенка MBT-2000 Al Khalid. Произведено је више од 300 ових тенкова од 2001. године, а производња и даље тече.

Пакистан је објавио планове са будућим тенковима који би наследили Al Khalid, као што би била производња кинеског тенка MBT-3000 (VT-4) под називом Al-Nyder. Његова тестирања започета су крајем 2014. године, а очекује се да ће производња унапредити способности Пакистана да произведе модеран тенк.

Јапан

Јапан се дуго ослањао на сопствену производњу тенкова. Али, иако је доказана способност те земље да пројектује и производи тенкове они никада нису понуђени извозном тржишту с обзиром на јапанску мирољубиву политику.



Mitsubishi Type 10

Најновији јапански тенк Mitsubishi Type 10 приказује све погодности развоја тенка који је прилагођен домаћим потребама, али и новим стандардима с обзиром на његову носивост од 44 тоне. Смањење тежине тенка било је неопходно с обзиром на потешкоће које су претходни јапански тенкови Type 50 и 90 проузроковали путној и железничкој инфраструктури, имајући у виду њихову огромну тежину и габаритете.

САД

Што се тиче америчке оклопне песнице, ту је ситуација врло јасна. Планира се останак тенка M1 Abrams све то 2050. године. Тенк ће бити сукцесивно модернизован, а то ће започети верзијом А3 за коју се очекује да ће угледати светлост дана почетком следеће деценије.

Производња се наставља, возила се извозе у Аустралију (M1A1 AIM), Египат (заједничка производња M1A1), Ирак (M1A1SA од којих су нека већ изгубљена у борбама са Исламском државом), Кувајт (M1A2) и Саудијску Арабију (M1A2), тако да САД и даље одржавају велики капацитет производње и развијају нове технологије које ће бити употребљене за производњу тенка нове генерације.

У контексту замене Абрамса, од недавно се чују и гласови који заговарају развој лаких тенкова без посаде за употребу у подручјима која нису подесна за велике и тешке тенкове.

Велика Британија

Министарство одбране Велике Британије било је једно од многих које је ушло у ризичну претпоставку да након краја хладног рата више неће бити великих потреба за тенковима у модерном борбеном окружењу.

Оваква процена утицала је на драматично резање броја британских тенкова и тенковских посада, са 14 батаљона, односно 1.000 тенкова на само три батаљона.

Данас ови батаљони имају таман толико тенкова и тенковских посада да могу обезбедити развијање само једне тенковске чете од 18 тенкова, која може бити оперативно употребљена и то тек након 30 дана. Време потребно за развијање комплетне бригаде од 56 тенкова износило би 90 дана.

У међувремену, британске оклопне снаге су два пута ангажоване, током рата у Ираку, 1990–1991. у којем су учествовале две оклопне бригаде са 171 тенком Challenger I, а затим и 2003. са две оклопне бригаде тенкова. Након тога број тенкова је смањен на једну тенковску чету.

Британска војска није употребљавала тенкове у Авганистану, иако су постојале потребе. У тој земљи употребљено је само три тенка и то инжињеријске варијанте. Тенковске посаде биле су ангажоване, али у оклопљеним точкашима.

Током 2010. године три преостала тенковска батаљона била су додељена механизованим пешадијским бригаама које припадају 3. дивизији. Ова три батаљона (пука) су Краљевски хусари, краљичини краљевски хусари и Краљевски тенковски пук.

Ови пукови опремљени су тенковима Challenger II које је произвела компанија Vickers Defence Systems (BAE systems). Укупно је произведено

386 тенкова у периоду од 1994. до 2002. године. Очекује се да ће ова возила остати у служби до 2035. године.

Ови тенкови требало је да буду наоружани топом 120 мм глатке цеви, компаније Rheinmetall, и опремљени новим системом за управљање ватром. Овај пакет модернизације, односно продужења животног века тенка Challenger II, требало је да буде инсталиран на 227 тенкова.

Новина у плану модернизације тенкова Challenger II је TES варијанта. Само 27 тенкова је модификовано по овом стандарду, а то је урађено на основу хитних оперативних потреба које су подразумевале употребу тенкова у урбаним условима. Ова унапређења састојала су се од побољшане заштите против кумулативних пројектила и импровизованих експлозивних направа нарочито од експлозија са стране и испод возила. Ове пасивне мере заштите појачане су активним електронским ометањем. Остале измене укључују термалну камеру возача и телефон за контакт са пешадијом. Такође, инсталирана је даљински управљана оружна станица на предњем делу отвора за пуниоца. Ова побољшања довела су до повећања масе тенка са 62,5 на 74,84 тоне.

Неки нови тенкови, као што су израелски Merkava 3 BAZ, Merkava 4, као и јапански Type 90, имају могућност аутоматског праћења мете (АТТ), али Challenger 2 то не може. Challenger 2 није никада имао ни инерцијални навигациони систем, нити GPS ресивер, иако је он монтиран на тенку Challenger 1 током рата у Ираку.


Challenger 2, за разлику од својих западних партнера, има само појачивач светлости за вожњу ноћу. Није потребно ни поменути да нема ни даљински управљану оружну станицу, осим TES варијанте.

По питању противоклопне борбе, тенк Challenger 2 користи гранату L27A1, поткалибарну гранату која садржи пенетратор од осиромашеног уранијума која је развијена још осамдесетих година, а ушла је у оперативну употребу 1994. године. Осим те гранате, у оперативној употреби је и граната L23A1, која поседује пенетратор од мешавине волфрама и других материјала. Ова граната је сигурнија по питању употребе с обзиром на радиоактивни ефекат претходне гранате од осиромашеног уранијума, али је са друге стране њен учинак на циљу знатно лошији. Ради превазилажења овог проблема, када је у питању пробојност на самом циљу, појачано је пуњење гранате, што је довело до веће брзине пенетратора, а самим тим и веће пробојности, али је и поставило питање издржљивости тенковске цеви. Неки војни кругови ипак оцењују да је пробојност британског пенетратора знатно мања од потребне за пробој савремених тенкова, а нарочито новог руског тенка Т-14.

Вероватно је да ће одређене компоненте TES варијанте бити укључене у програм LEP. Овај програм је још увек у концепт-фази и не очекује се да ће бити имплементиран пре краја декаде, мада су ту могућа одређена померања с обзиром на узбуну која је настала у британском министарству одбране када је на руској паради први пут приказан тенк Т-14. Очекује се да ће британски Challenger 2 са изменама остати у оперативној употреби и након 2035. године.

Драган Вучковић (Dragan Vučković),

e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID ID:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Специјалистичка опрема припадника руске Управе „А“

Дана 29. јула 1974¹². године, на седници Савета министара тадашњег СССР-а, председник КГБ (рус. Комитет госудárственной безопа́сности) Јуриј Андропов потписао је наредбу заведену под бројем 0098/ОВ (рус. особая важность), која се највећим делом односила на измене у организацији тадашње Седме управе, односно на устројавање посебне Групе „А“. Бројне успешне интервенције, велика дела, али и жртве припадника, изградиле су традицију вредну сваког поштовања. Данас се руске „Алфе“ сматрају изузетно обученим и професионалним специјалцима високог морала и оданости својој земљи. Извршавање сложених тактичких задатака, поред осталог, захтева и квалитетну специјалистичку опрему која им помаже да у опасним ситуацијама остваре предност у односу на противнике.

Турбулентне деведесете

Слом руске економије током деведесетих година прошлог века у великој мери се одразио и на део националне индустрије која производи тактичку опрему и наоружање. Нестабилност домаће валуте обликује процесе производње националних произвођача који се одлучују за што просте пројекте. Пред конструкторе су постављани захтеви да крајња решења буду робустна, поуздана у што већој мери, релативно једноставна, али првенствено јефтина за производњу. Заједничка карактеристика пројеката овог периода односила се на то да је већина њих, у ствари, представљала модификације чувеног система „Калашњиков“ који се прилагођавао потребама тадашњих руских јединица за специјалне намене. Такође, врло мало пажње обраћало се и на спољашњи изглед оружја, што је пракса коју руски конструктори почињу да напуштају тек у данашње време. Неки од ранијих пројеката јесу¹³ и чувени „АС Вал“ (рус. Автомат Специальный Вал), као и модулarna пушка „Гроза“¹⁴, „Алтин“ титанијумски балистички шлем и други.

Чињеница да је највећи део опреме и наоружања руског спецназа долазио од националних произвођача, поред економског, била је последица и политичког фактора, односно политичких односа СССР, па затим и Русије, са „западњачким“ земљама.

Буђење руског медведа

Крајем прве деценије новог миленијума Русија, на челу са Владимиром Путином, бележи економски раст. Прилике у земљи се стабилизују, а држава постаје све значајнији фактор на међународној политичкој сцени. То се у великој мери одражава и на војну моћ земље: техника се умножава и развија до те мере да данас руски конструктори у многим областима представљају најновија достигнућа, постављајући тако стандарде остатку света. Прилив новца узроковао је велике промене и у опремању руског спецназа¹⁵, чије јединице уводе у

¹² Поменути датум прославља се као Дан елитне Управе „А“ и обележава се сваке године.

¹³ И даље су у употреби у јединицама руског спецназа.

¹⁴ Пуне ознаке „ОЦ-14 Гроза“, а последња реч преводи се као „олуја“.

¹⁵ Израз настао од руске фразе „специјално назначение“, која у преводу значи „специјална намена“. Поменути израз често се погрешно употребљава за означавање руске специјалне јединице, јер се, у ствари, односи на све руске јединице за специјалне намене.

употребу и опрему бројних компанија Западне Европе, али и САД (на пример немачке „Heckler & Koch“, швајцарске „SIG Sauer“, шведске „Aimpoint“, америчке „Colt“, „Remington“ и др). Руским државним руководиоцима и специјалцима постаје јасно да, уколико желе да одрже корак са остатком света, морају прихватати и производе из иностранства, иако та пракса и данас наилази на бројне критике. Јединица која је у томе предњачила јесте елитна Управа „А“, за коју се данас може тврдити да међу руским специјалним јединицама користи највише различитих модела опреме иностраних произвођача.

Спој старог и новог

У оквиру опреме сваке формације, посебно када су у питању јединице ове врсте, треба направити разлику између опреме којом јединица располаже и оне која је у активној употреби. Имајући то у виду, руске „Алфе“ располажу и моделима наоружања и опреме из осамдесетих и деведесетих година прошлог века, али се врло ретко користе. Њихова употреба се великим делом ограничава на обуку млађих генерација „Алфи“, пре свега због тога што је највећа шанса да се специјалци сукобе са непријатељима који су наоружани управо овим старијим моделима, који су, захваљујући ниској цени и хиперпродукцији, веома заступљени на црном тржишту. Специјалци морају знати основне карактеристике оружја које може бити употребљено против њих, али такође и знати да га употребе приликом интервенције уколико буде потребно.



Стари комплекти посебне опреме "Алфи". Фото: Константин Лазарев.

У другој категорији јесу модели наоружања и опреме које данашње „Алфе“ најчешће користе приликом интервенција, а односе се на најновије серије националних и произвођача из иностранства.

У категорији пиштоља највише су заступљени полуаутоматски модели, међу којима на првом месту треба издвојити аустријске „Glock 17 Gen 3“, као и моделе четврте генерације исте серије, сви у калибру 9x19 mm Parabellum/Luger. Конструкције рамова ових модела дозвољавају монтирање тактичке опреме помоћу које стрелац прилагођава оружје потребама интервенције. Тако, елитним „Алфам“ на располагању стоје уређаји „TLR-1“ и „TLR-2“ компаније „Streamlight“ који обједињују тактичку лампу и ласерски обележивач циља. Заступљени су и швајцарски модели „SIG Sauer P-226“, затим бразилски „Taurus PT 24/7 G2“, сви у калибру 9 милиметара. Јединица располаже и мањим бројем пиштоља „CZ-75 SP-01 Shadow“ који се најчешће користе приликом такмичења у стрељаштву. Међу моделима националних произвођача заступљени су „CP-1M“, као и „CP-1MP“, у калибру 9x21 mm. Присутни су и пригушени компактни модели „ПБ¹⁶ 6П9“ у калибру 9x18 mm, али и нови руски „СТРИЖ“ (енгл. Strike One), компаније „Arsenal Firearms“, који визуелно веома подсећа на аустријске „Glock“, а у јединици су у употреби модели предвиђени за калибар 9x19. За потребе спуштеног ношења око ноге „Алфе“ на располагању имају квалитетне тактичке холстере међу којима се највише користе „BLAC-KHAWK! Serpa Tactical Level 2“ и „Level 3“, затим амерички „5.11“ рађени за моделе „Glock“, као и холстере компаније „Safari Land“. Треба истаћи да је специјалцима дозвољено да лично наоружање као и опрему неограничено прилагођавају својим потребама, па се исти модели врло често могу видети у различитим конфигурацијама, па чак и обојени у различите боје и маскирне шаре.

За потребе интервенција у урбаним условима најчешће се користе различити аутомати и јуришне пушке. У категорији аутомата издвајају се немачки „HK-MP5 A5“ који су уједно и најкритикованији у руској јавности. Дозвољавајући четири режима рада (што је једна од разлика у односу на старије сличне моделе „А3“), ови поуздани аутомати предвиђени су за калибар 9x19 милиметара, а „Алфе“ их најчешће користе у конфигурацији са упуцаним „red dot“ нишаном типа „Aimpoint Comp M3“, или холографским „EOTech XPS2-0“ или моделима „552“. Руске боје заступају компактни модели „ПП-19-01 Витязь“¹⁷ предвиђени за калибар 9x19, националне компаније „ИЖМАШ“, затим „CP-2 MP Вереск“ у калибру 9x21 mm, који се често користе у конфигурацији са пригушивачем пуцња и „red dot“ нишаном типа „ПК-022“ националног произвођача. Ови компактни модели визуелно подсећају на израелско оружје за личну заштиту „Uzi“ или немачке „HK MP7“. Визуелно слични јесу и модели „АЕК-919К“. Изразито компактни¹⁸ ови модели у стандардној верзији опремљени су рефлексним нишаном и пригушивачем пуцња, а предвиђени су за калибар 9x18 милиметара Макаров.

Јединица располаже и мањим бројем „хибридних“ чешких пушака „VR-1“ које су набављене у полуаутоматској верзији и у калибру 9x19 mm Parabellum/Luger, а које се користе искључиво ради упознавања руских специјалаца на систем „Colt“, с обзиром да су поменути чешки модели веома слични америчким.

¹⁶ Рус. пистолетбесшумный.

¹⁷ Развијен посебно на захтев руске јединице Витязь.

¹⁸ Компактности оружја доприноси и телескопски кундак.

У категорији јуришних пушака свакако преовлађује систем „Калашњиков“. Јединица располаже са неколико модела који су предвиђени за 7,62x39 и 5,45x39 mm. Међу моделима најзаступљенији су „АК-74У“, „АК-74 М“, као и серије „104“, „105“, „107“, односно старије серије пушака „АС Вал“.



*Припадник „Алфи“ током такмичења у практичном стрелаштву.
Фото: Константин Лазарев.*

Сви модели су изразито модификовани, па су тако сви опремљени телескопским кундацима компаније „Magpul“, а значајан број припадника монтира и рукохвате поменуте компаније на лично наоружање. Стандардне „Picatinny“ шине набављају се од националног произвођача „Зенит“, на које се монтира различита опрема попут лампи исте фирме, као и произвођача „Перст“¹⁹, од којег се набављају и ласерски обележивачи циља. На шинама на горњој страни сандука пушака монтирају се нишански уређаји, а поред претходно поменутих, руске „Алфе“ располажу и рефлексним нишанима националног произвођача „Викинг“, затим моделима „Aimpoint Comp M4“ и „Aimpoint Micro T-1“. Ови не увеличавајући нишани могу се комбиновати са „flip-to-side“ увеличавајућим уређајима за нишањење који се набављају од компаније „EOTech“. На уста цеви се по правилу монтирају компензатори трзаја компаније „Зенит“, а за потребе потхвата оружја могу се монтирати вертикалне дршке истоименог произвођача, као и стране компаније „UTG“, од које се набављају и ергономске облоге потхвата. Руске „Алфе“ недавно су добиле и мањи контингент јуришних пушака „HK-416“ у калибру 5,56x 45 mm NATO.

¹⁹ Серије „Перст-3“ и „Перст-4“.

У категорији пушака за прецизно гађање руским специјалистима на располагању стоји више модела различитих намена. Тако за дејства на средњим дистанцама и даље се ефикасно употребљава пушка „ВСС²⁰ Винторез“ у калибру 9x39 милиметара који се одликује изузетном пробојношћу на дистанцама до 300 метара, док масивни пригушивач пуцња на устима цеви омогућава прилично тихо дејство. За ове чувене руске моделе специјалиста снајперизма „Алфи“ С.А. каже да: „ће у употреби бити докле год противници буду људи“. За исту намену користе се и немачке полуаутоматске пушке „НК-417“ у калибру 7,62x51 mm NATO, које су недавно набављене за потребе јединице. Немачке пушке прилагођавају се потребама прецизног гађања монтирањем оптичког нишана компаније „Schmidt & Bender“. У употреби је и великокалибарска пригушена пушка са системом мануелног репетирања „Выхлоп“, коју је конструктор Владимир Злобин наменио за калибар 12,7x55 mm. Као круна међу руским пушкама из ове категорије сматра се „ОРСИС Т-5000“ са системом мануелног репетирања, који се израђује у калибрима 7,62x 51 mm NATO, .308 Winchester и .338 Lapua Magnum. На ове моделе се по правилу монтирају оптички нишани „Night Force“. Од иностраних модела, заступљене су пушке из серије „Remington 700“, затим одличне финске пушке „Sako TRG“, као и мањи број пушака „Blaser R93 LRS Tactical 2“ у калибру .308 Winchester.

Међу индивидуалним средствима за подршку издвајају се руски лаки митраљез „Печењег“, на основу којег је рађен и чувени српски модел „Застава М-84“, а од скоро руске „Алфе“ располажу и мањим бројем белгијских митраљеза „FN Minimi“ у 5,56x45 mm NATO.



Део личне опреме припадника "Алфи". Фото: Константин Лазарев.

²⁰ Винтовка снайперская специальная.

Од униформи, специфично за руске „Алфе“ јесте да врло често приликом интервенција и уопште појављивања у јавности облаче дводелне униформе у маскарној шапи „Multi Cam“. Панталоне, борбени тактички дуксеви и блузе набављају се од одличног произвођача „Сге Precision“ у линијама „G2“ и „G3“. Поред ових, „Алфе“ користе и униформе у руској маскарној шапи „СУРПАТ“, затим „Woodland“, као и црне дводелне униформе за интервенције у урбаној средини. Ради заштите припадника приликом интервенција облаче се балистички прслуци који су део руског пројекта „Гладијатор“ националне фирме „Форт технологија“ и који се за потребе „Алфи“ израђују у различитим маскарним дезенима. Иста компанија испоручује и штитнике за рамена, као и препоне. Заштита главе остварује се балистичким шлемовима, међу којима руски специјалци дају предност иностраним „Ops Core FAST“ шлемовима, а од националног произвођача долазе модерни „ЗШ Тор“, затим „АЗШ-2“ и „ЗШ-09“. Јединица располаже и мањим бројем масивних шлемова „АЛТИН“. Фрагментациона заштита очију обезбеђује се наочарима „ESS“, „Revision“, које се набављају у различитим бојама стакала (за коришћене у условима јаке сунчеве светлости, при вештачкој светлости, у условима смањене видљивости и др). Обавезан део опреме сваког припадника јесу и антифоне/комуникациони сетови „PELTOR“ и „Liberator II“.

Пракса руских „Алфи“ вредна сваке похвале односи се на околност да припадници у свакој прилици облаче и монтирају комплетну борбену опрему, чак и када се такмиче у практичном стрељаштву или изводе јавни приказ грађанима. Према речима специјалисте С.А, ово из разлога што: „Специјалац мора да срасте са својом комплетном опремом како га не би ометала приликом интервенције. Без обзира је ли сунце, снег или киша, интервенција или спортско такмичење, ми увек излазимо потпуно спремни. Тако умањујемо могућност да нас неко изненади“.

Милош Јевтић (Miloš Jevtić),

e-mail: info@specijalne-jedinice.com,

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1305-7618>

Конструкцијски стандарди модерног пешадијског специјалистичког наоружања

Усложњавање безбедносних претњи током осамдесетих година прошлог века, првенствено у виду тероризма као најопаснијег вида организованог криминалитета²¹, узроковало је нову врсту оперативно-тактичких активности националних безбедносних система, а ради ефикасније борбе са новом врстом опасности. У оквиру министарстава којима се поверава надле-

²¹ Такође, у овом периоду безбедносни системи се суочавају и са специфичним и изузетно сложеним кризним ситуацијама у којима осумњичени, најчешће ради остваривања својих циљева, узимају друге особе као таоце, ограничавајући или онемогућавајући им слободу кретања, а често и угрожавајући живот и телесни интегритет. Изношењем претњи да ће угрозити животе талаца, осумњичени се труде да спрече интервенцију безбедносних снага, односно покушавају себи да обезбеде безбедан излаз са места кризне ситуације и томе слично.

жност над полицијским или војним јединицама, организују се мање, посебно обучене и опремљене јединице за различите специјалне намене које ће у наредним деценијама представљати најјаче факторе безбедносних система у борби против организованог криминалитета и других веома опасних претњи.

Специјална, правним прописима прецизно утврђена, намена јединица ове врсте подразумева извођење најсложенијих задатака и послова, често у различитим климатским, теренским и другим условима. Ефикасност специјалаца при ангажовању зависи од њихове индивидуалне и тимске обучености и синхронизованости, али и од посебне, специјалистичке опреме и наоружања.

У теорији би се могло говорити о различитим критеријумима за одређивање појма специјалистичког пешадијског наоружања, али у овој области као примарни критеријум намеће се намена наоружања. У прилог томе иде и чињеница да велики број данашњих произвођача развија и промовише посебне програме наоружања – оне који су намењени припадницима јединица за специјалне намене. Овде је веома важно указати на значај националне наменске индустрије, јер је питање опремања и наоружавања оружаних снага изразито и политичко питање. Без обзира на дипломатско-правне односе на међународном нивоу, свака држава мора имати²² активну наменску индустрију²³ која даље мора бити у стању да задовољи највећи део потреба националних оружаних снага, јер су дипломатски односи врло променљиви, непријатељства и савези брзо настају и брзо се гасе.

Данас се у свету доказаним квалитетом издвајају произвођачи попут немачке компаније „Heckler & Koch”, швајцарске “SIG Sauer”, белгијске “FN Herstal”, италијанске „Beretta”, бразилске “Taurus” и други. Понос Републике Србије у овој области свакако јесте и „Застава оружје” из Крагујевца.

Опште карактеристике

Специјалистички програми пешадијског наоружања су осетно скупљи у односу на оне који су намењени редовним војним и полицијским снагама. Произвођачи улажу знатно више ресурса у истраживања, процес производње и тестирања, што се одражава на цену специјалистичких модела пешадијског наоружања. У вези са тим јесте и чињеница да су ови програми знатно мањег обима, јер је цена обрнуто корелативна са реалном тражњом на тржишту.

Зависно од тражње, али и актуелних политичких односа на међународном нивоу, одређени специјалистички програми могу бити организовани за тачно одређеног купца и уску намену. Један од таквих случајева јесте и пројекат „SCAR²⁴” јуришних пушака белгијске компаније „FN Herstal” који је реализован првенствено за потребе припадника јединица америчке Команде за специјалне операције²⁵. Са друге стране, треба истаћи и да многи пројекти које произвођачи примарно намењују редовним службеним снагама имају велику заступљеност и међу припадницима јединица за специјал-

²² И улагати у развој.

²³ У овој области подразумевају се произвођачи оружја, тактичке опреме, муниције, експлозивних, пиротехничких средстава и сл.

²⁴ Акроним од назива Special Forces Combat Assault Rifle.

²⁵ Амер. енгл. United States Special Operations Command-USSOCOM.

не намене. Такав случај би били, на пример, аустријски полуаутоматски пиштољи „Glock“, за које се данас процењује да их користи око 65% службених лица у свету, а у великом броју елитних јединица чине примарно наоружање у овој категорији.

Такође, треба истаћи и да програми намењени за припаднике специјалних јединица обједињавају сигурно највиша конструкцијска достигнућа у овој наменској индустрији. Као најважнији стандарди који морају бити задовољени могу се означити поузданост рада оружја у екстремним климатским условима, изузетна ергономија и балансираност, једноставност обуке у руковању и употребе. Такође, може се приметити да међу конструкторима постоји стална тенденција умањивања димензија оружја, те модерни модели, посебно намењени специјалцима, имају изражену компактност²⁶ која олакшава ношење и тактичку употребу²⁷. Овом последњем иде у прилог и тенденција умањивања укупне масе оружја, што се постиже обимнијом употребом композитних материјала у изради конструкција оружја²⁸.

Пиштољи

Полуаутоматски пиштољи²⁹ производе се још од краја 19. века. Иако се конструкција наоружања из ове категорије свакако изменила и усавршила током деценија, постоје одређени сегменти који су све време заступљени у скоро истом облику. Такав је случај са системом брављења. Примера ради, систем који је патентирао Џон Мозес Браунинг (1855-1926) (енгл. John Moses Browning) се и данас користи у неколико варијанти које су врло сличне оригиналној конструкцији. Када су у питању полуаутоматски пиштољи, овај принцип брављења је и данас свакако најзаступљенији, првенствено због своје једноставности³⁰, робусности и поузданости, а данас се могу издвојити принципи „Browning-Colt“, „Browning-FN“, „Browning-Petter“, од којих се овај последњи означава и као „сигово брављење“ или тзв. „сигова брава“³¹. Око задњег дела цеви пиштоља направљен је масиван блок који улази у отвор за избацивање чаура са стране навлаке и обавља брављење метка. Захваљујући оваквој конструкцији горња страна навлаке пиштоља може бити равна што омогућава стрелцу бољу прегледност и ангажовање мета при паљби.

У вези са конструкцијама модерних пиштоља намењених припадницима јединица за специјалне намене могуће је приметити неколико стандарда који су уобличени захтевима специјалаца са једне стране, односно каракте-

²⁶ Компактност оружја се постиже на неколико начина. Скраћивањем дужине цеви, односно дизајном кундака који може бити телескопски, тј. подесив на више дужина, односно преклапајући у једну или обе стране оружја.

²⁷ Посебно у условима блиске борбе у урбаном окружењу.

²⁸ Наравно, најважнији делови, попут цеви са затварачем, увек се израђују од квалитетног челика.

²⁹ Од категорије пиштоља свакако треба разликовати категорију револвера, као једне од врста краткоцевног пешадијског наоружања. Револвери се издвајају као засебна категорија услед другачије конструкције, принципа рада, механизма брављења, начина пуњења итд.

³⁰ Што се одражава и на нижу цену у процесу производње.

³¹ Која је, примера ради, саставни део конструкције серија полуаутоматских пиштоља „ЦЗ-99“, „ЦЗ-999“ српског произвођача „Застава оружје“.

ристикима модерних оружаних сукоба, са друге стране. Тако, не може се говорити о озбиљном пиштољу ове намене уколико конструкција рама не омогућава монтирање додатне тактичке опреме, пре свега тактичке лампе и/или ласерског обележивача циља-ЛОЦ, односно уређаја који обједињава лампу и ЛОЦ, као што је познати модел „Streamlight TLR-2“. Опрема ове врсте монтира се на шине на доњој страни рама, испод цеви. Најчешће су у питању стандардне „Picatinny“ шине ознаке „MIL-STD-1913“.



Полуаутоматски пиштољ „Glock-17 Gen4“ у калибру 9 милиметара.
Фото: Милош Јевтић

Унапређује се и конструкција механичких нишана, који се израђују у различитим облицима, зависно од произвођача. По правилу, нишани пиштоља ове намене опремају се и белим трицијумским симболима који олакшавају нишањење у условима смањене видљивости. Поред тога, усавршени су и „фибер-оптик“ механички нишани, а међу најраспрострањенијим јесу модели „Novak“.

Када је реч о ергономији пиштоља, овај стандард првенствено се остварује оптимизацијом конструкције рукохвата пиштоља који мора одговарати анатомији и биомеханици људских шака. С тим у вези јесу и одвојиви улошци различитих величина које произвођачи нуде, најчешће у оквиру стандардне опреме за пиштоље ове намене. Уметањем уложака различите величине у рамове на рукохвату стрелац прилагођава његову ширину анатомији своје шаке. Конструкција ударача, код модела код којих излази из навлаке такође мора бити оптимизована како би са једне стране омогућила брзо и поуздано повлачење, ако је потребно, а умањила могућност качења за делове одеће, униформе или опреме, са друге стране.

Имајући у виду да специјалци свакодневно рукују оружјем, често и када је метак убачен у цев, изузетно важан стандард конструкције наоружања односи се на безбедносне механизме којима је заједничко да спречавају нежељено опаљење метка. У механизме ове врсте убрајају се различите кочнице ударне игле, кочнице тзв. окидачке групе, индикатори присуства метка у цеви и слично.

Претпоставка поузданости рада пиштоља и ефикасне употребе свакако јесте и квалитет конструкције окидачког механизма. За припаднике јединица за специјалне намене веома је важно да окидање буде краћег хода, уједначено и одсечно, а да конструкција обарача дозвољава удобно повлачење.


Јуришне пушке

Јуришне пушке, уз аутомате (енгл. submachine guns), представљају најчешће примарно наоружање припадника јединица за специјалне намене. Еволуција оружаних сукоба у свету, и искуства са фронтних, у највећој мери утицали су управо на конструкције модерних јуришних пушака. Најзаступљенији принцип рада свакако јесте принцип позајмице барутних гасова у различитим варијантама, са ротирајућим затварачем као системом брављења. Ипак, треба бити објективан и истаћи да се ниједан модел модерне јуришне пушке не може означити као наменски универзалан, те је веома важно приликом одлучивања о набавци контингента правилно протумачити сврху одређеног модела пушке. Тако, неки пројекти су примарно рађени за потребе блиске борбе у урбаној средини, као што је случај са моделима „Colt M-4 A4 Commando“, други за борбу у руралној средини, као што је случај са пушкама „Калашњиков“.

Треба приметити да велики број модерних модела намењених за припаднике јединица за специјалне намене нема више фиксни кундак. Поред тога, напушта се употреба дрвених делова у конструкцијама, о чему сведочи околност да чак и модерне серије пушака система „Калашњиков“ добијају телескопске и/или преклопне кундаке израђене од композитних материјала, односно да се напуштају дрвене облоге цеви. Изражена карактеристика оружја из ове категорије специфичне намене свакако јесте увећана модулност. Специјалци монтирањем различите опреме могу прилагођавати исто оружје различитим потребама на терену или својим личним, што опет истиче значај постављања већ споменутих шина које се најчешће постављају дуж горње стране сандука оружја и по принципу 9-3-6 сати (са обе бочне стране пушке и испод цеви). Такође, распоред основних команди мора бити такав да олакшава обуку и употребу и леворуким и десноруким стрелцима, што се постиже постављањем команди са обе стране оружја и њиховим логичним и лако доступним распоређивањем. Механички нишани су, по правилу, преклапајући, што значи да се могу спустити ради монтирања рефлексних³² или увећавајућих нишана различитих типова.

Милош Јевтић (Miloš Jevtić),

e-mail: info@specijalne-jedinice.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-1305-7618>

³² Холографских или „ред дот“ неувеличавајућих нишана.

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА
ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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 развоја:

– **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.

Војнотехнички гласник омогућава и примењује Creative Commons (CC BY) одредбе о ауторским правима. Детаљи о ауторским правима могу се видети на сајту часописа, страница **Ауторска права**.

Радови се предају путем онлајн система за електронско уређивање ASEE-STANT, 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, преко странице ASEEANT или СЦИНДЕКС, односно директно на линку aseestant.ceon.rs/index.php/vtg.

Детаљно упутство о регистрацији и пријави за сервис налази се на сајту www.vtg.mod.gov.rs, страница Упутство за е-Ур: Електронско уређивање – ASEEANT.

Потребно је да се сви аутори који подносе рукопис за објављивање у Војнотехничком гласнику региструју у регистар ORCID (Open Researcher and Contributor ID), према упутству на страници сајта Регистрација за добијање ORCID идентификационе шифре.

Војнотехнички гласник објављује чланке на српском, енглеском, руском, немачком или француском језику (arial, српска ћирилица или српска латиница, величина слова 11 pt, проред Single).

Поступак припреме, писања и уређивања чланка треба да буде у сагласности 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 хијерар-

хији 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 установе 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 предложити 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.

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 преводe 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 абecedном 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.

Списак рецензената Војнотехничког гласника може се видети на страници сајта **Списак рецензената**. Процес рецензирања објашњен је на страници сајта **Рецензентски поступак**.

Адреса редакције:
Војнотехнички гласник,
Браће Југовића 19, Дом Војске Србије,
11000 Београд.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Уредник
мр *Небојша* Гаћеша, дипл. инж.
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>
тел.: 011/3349-497, 064/8080-118

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), vtg.mo.yupr.srb, 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».

«Военно-технический вестник» обеспечивает читателям возможность открытого доступа, в соответствии с положениями об авторских правах, утвержденными Creative Commons (CC BY). С инструкцией об авторских правах можно ознакомиться на странице **Авторские права**, перейдя по ссылке <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html>.

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).

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».

Все авторы, предоставляющие свои рукописи на публикацию в редакцию журнала «Военно-технический вестник» должны пройти регистрацию в реестре ORCID (Open Researcher and Contributor ID), в соответствии с инструкцией на странице сайта Регистрация в реестре ORCID для присвоения идентификационного кода.

Военно-технический вестник выпускает статьи на сербском, русском, английском, немецком или французском языках (Arial, шрифт 11 pt, пробел Single).

Процесс подготовки, написания и редактирования статьи должен осуществляться в соответствии с принципами **Этического кодекса** (<http://www.vtg.mod.gov.rs/eticheskiy-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. Аффiliation 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.

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 статей. Составными частями сюжета являются цель исследования, методы и заключение. В сюжете должно быть от 100 до 250 слов, и должен находиться между титулами (заголовок, ФИО авторов и др.) и ключевыми словами, за которыми сле-

дует 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., пп. 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.

Список рецензентов Военно-технического вестника можно посмотреть на странице сайта **Список рецензентов**. Процесс рецензирования описан на странице сайта **Правила рецензирования**.

Почтовый адрес редакции:
«Војнотехнички гласник»,
11000 Београд, Ул. Браће Јуровића 19
E-mail:vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

РЕДАКТОР

Кандидат технических наук *Небойша* Гачеша
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs

http://orcid.org/0000-0003-3217-6513

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

CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Act on scientific journal editing of the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, No 110-00-17/2009-01 of 9th July 2009. This Act aims at improving the quality of national journals and raising the level of their compliance with the international system of scientific information exchange. It is based on international standards ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 and ISO 5122 and their national equivalents.

The Military Technical Courier / Vojnotehnički glasnik (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.

Military Technical Courier enables open access and applies the Creative Commons Attribution (CC BY) licence provisions on copyright. The copyright details can be found on the **Copyright notice** page of the journal's website.

Manuscripts are submitted online, through the electronic editing system ASEESTANT, developed by the Center for Evaluation in Education and Science – CEON.

The access and the registration are through the Military Technical Courier site <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page ASEESTANT or the page SCINDEKS or directly through the link (aseestant.ceon.rs/index.php/vtg).

The detailed instructions about the registration for the service are on the website <http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html>, on the page Instructions for e-Ur: Electronic Editing - ASEESTANT.

All authors submitting a manuscript for publishing in the Military Technical Courier should register for an ORCID ID following the instructions on the web page Registration for an ORCID identifier.

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 procedures of article preparation, writing and editing should be 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.

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.

The list of referees of the Military Technical Courier can be viewed at website page **List of referees**. The article review process is described on the **Peer Review Process** page of the website.

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 MSc
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
 <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

ОБАВЕШТЕЊА САРАДНИЦИМА И ЧИТАОЦИМА
СООБЩЕНИЯ ДЛЯ ПАРТНЕРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ
INFORMATIONS FOR CONTRIBUTORS AND READERS

Војнотехнички гласник постао члан OASPA

Дана 27. новембра 2015. године Војнотехнички гласник је постао члан Удружења издавача научних публикација отвореног приступа – OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association).

OASPA има мисију да подржава и представља интересе издавача књига и часописа широм света који заступају принцип отвореног приступа у свим научним, техничким и академским дисциплинама. Ова мисија ће се реализовати путем размене информација, постављања стандарда, унапређивања модела, заступања ставова, образовања као и путем промовисања иновација.

Кроз заједнички интерес у развијању одговарајућих пословних модела, алата и стандарда за подршку издаваштва отвореног приступа, можемо да обезбедимо просперитетну и одрживу будућност за добродобит наших чланова и њихових научних заједница.

«Военно-технический вестник» стал членом OASPA

27 ноября 2015 года журнал «Военно-технический вестник» стал членом Ассоциации издателей научных изданий открытого доступа – OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association).

Миссия ассоциации OASPA заключается в поддержке и представлении интересов издателей книг и журналов, представляющих свои публикации, включающие все научные, технические и академические дисциплины – методом открытого доступа. Эта миссия осуществляется благодаря обмену данными, предписанию правил и стандартов, развитию моделей, отстаиванию принципиальных позиций, образованию и ознакомлению с инновационной деятельностью.

Разрабатывая в общих интересах и совместными усилиями соответствующие бизнес-модели, инструменты и принципы для поддержки издательств открытого доступа мы сможем обеспечить успешное и благоприятное будущее для деятельности наших членов и их научных организаций.

Military Technical Courier has become a member of OASPA

As of 27 November 2015, the Military Technical Courier is a member of OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association).

The mission of OASPA is to support and represent the interests of Open Access (OA) journal and book publishers globally in all scientific, technical, and scholarly disciplines. This mission will be carried out through exchanging information, setting standards, advancing models, advocacy, education, and the promotion of innovation.

Through a shared interest in developing appropriate business models, tools and standards to support OA publishing, we can ensure a prosperous and sustainable future to the benefit of our members and the scholarly communities they serve.



СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА
СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА
LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Пуковник проф. др Марко Д. Андрејић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, начелник катедре логистике	логистика одбране	markodandrejic@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0002-6753-9786
Доц. др Милош Ж. Арсић	Пуковник у пензији	менаџмент саобраћајном подршком	misaarsa@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-2003-9880
Ванр. проф. др Војислав Ј. Батинић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војномашинског инжењерства	опште машинске конструкције	beregvojo@yahoo.com, vojislav.batinic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0001-6786-7846
Ванр. проф. др Стеван М. Бербер	Универзитет у Окленду, департман електротехнике и рачунарског инжењеринга, Окленд, Нови Зеланд	телекомуникације, бежичне комуникације, CDMA, OFDM системи, сензорске мреже, рачунарски системи у реалном времену, обрада стохастичких сигнала	s.berber@auckland.ac.nz, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088
Доц. др Радивоје М. Биљић	Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, катедра за телекомуникације	телекомуникације, нападно навигацијски системи ваздухоплова, микроталасна техника, електромагнетика, сателитски системи	biljic@etf.rs
Проф. др Бранислав А. Боровац	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за индустријско инжењерство и менаџмент, катедра за мехатронику, роботску и аутоматизацију	роботика	borovac@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-7446-1027
Проф. др Угљеша С. Бугарић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за индустријско инжењерство	операциона истраживања, масовно опслуживање, теротехнологија-одржавање, транспортни и складишни системи	ubugaric@mas.bg.ac.rs

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Проф. др Илија Ћосић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, декан факултета	индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент	ftndean@uns.ac.rs
Пуковник ванр. проф. др Горан Д. Дикић	Универзитет одбране у Београду, проректор за међууниверзитетску и међународну сарадњу	системи аутоматског управљања, праћење циљева, системи вођења и управљања ракета	goran.dikic@mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-0858-1415
Пуковник доц. др Ненад П. Димитријевић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, руководиоца последипломских студија	безбедност у саобраћају, заштита ресурса у саобраћају и транспорту	neshadim@mts.rs
Ванр. проф. др Раденко С. Димитријевић	Пуковник у пензији	експлозивне материје, муниција, убојна средства, пиротехничка безбедност	radenkod@beotel.net
Пуковник проф. др Бобан Д. Ђоровић	Универзитет одбране у Београду, проректор	процеси и методе у саобраћају и транспорту, транспортне мреже, организација транспорта	lukema@ptt.rs, http://orcid.org/0000-0001-8133-2389
Проф. др Владо П. Ђурковић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војномашинског инжењерства, начелник одсека заједничких предмета машинства	примењена механика крутог и деформабилног тела	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs, djurkovic.vlado@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5064-4117
Ван. проф. др Предраг М. Елек	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за системе наоружања	балистика на циљу, конструкција пројектила, физика експлозије	pelek@mas.bg.ac.rs http://orcid.org/0000-0002-2927-019X
Доц. др Миљко М. Ерић	Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, катедра за телекомуникације, дописни члан Инжењерске академије Србије	телекомуникације, дигитална обрада сигнала, електронско извиђање, радио-гониометрија, антенски низови, микрофонски низови, arraу процесинг	meric@mts.rs, miljko.eric@etf.rs http://orcid.org/0000-0002-9410-717X
Др Милош Р. Филиповић	научни саветник у пензији	енергетски материјали (експлозиви, пиротехника, барути и ракетна горива, сагоревање, детонација, експлозија)	milosf321@gmail.com

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Доц. др Зоран Љ. Филиповић	Институт Гоша, научни сарадник	електроника и телекомуникације (авионика, метрологија, телекомуникације)	filipovicz@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-4793-4105
Ванр. проф. др Васко Г. Фотев	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за ваздухопловство	погон летелица (авионски и ракетни мотори)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Проф. др Катарина Д. Герић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за производно машинство, катедра за материјале и спајање материјала	наука о материјалима, инжењерство материјала, испитивање материјала	gerick@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-5473-8922
Пуковник доц. др Љубомир Ј. Гивовић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра природно-математичких наука, руководилац групе наставника за војну географију и топографију	геонауке, геодетско инжењерство	ljgigovic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8388-3624
Проф. др Мирко Ј. Говедарица	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за рачунарство и аутоматику, катедра за системе, сигнале и управљање, руководилац студијског програма геодезија и геоматика	геодезија, геоматика, геоинформатика	miro@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-1698-0800
Проф. др Јанко Ј. Ходолич	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука	метрологија, квалитет, прибори и еколошко-инжењерски аспекти	hodolic@uns.ac.rs
Пуковник доц. др Слободан С. Илић	Генералштаб, Управа за планирање и развој (Ј-5), Технички опитни центар, директор	системи одржавања, наоружање	slobodan.ilic@vs.rs
Ванр. проф. др Бранислав В. Јакић	Алфа Универзитет Београд, Универзитет за пословне студије Бања Лука (пуковник у пензији)	логистика, квалитет, стандардизација, метрологија, номенклатура, кодификација, технолошки менаџмент, управљање квалитетом	bjakic@yahoo.com

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Проф. др Слободан С. Јарамаз	Универзитет у Београду, Машински факултет, шеф катедре за системе наоружања	унутрашња балистика, конструкција пројектила, физика експлозије, балистика на циљу, сагоревање барута	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Проф. др Радун Б. Јеремић	Пуковник у пензији	муниција, експлозивне материје	radjer@mts.rs http://orcid.org/0000-0002-1990-2018
Доц. др Данко М. Јовановић	Генерал мајор у пензији	управљање производњом, логистика, одржавање техничких система, квалитет, ризици, стандардизација	danko.jovanovic17@gmail.com
Доц. др Вукица М. Јовановић	Трајн Универзитет, Факултет за инжењерство и технологију, департман за конструкције и дизајн, Енгола, Индијана, САД	машинство	vukica.jovanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
Потпуковник доц. др Радован М. Каркалић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војнохемијског инжењерства	хемијска технологија (нуклеарно-хемијско-биолошка заштита, детекција, идентификација и деконтаминација)	rkarkalic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8074-7264
Проф. др Владимир А. Катић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, продекан	енергетска електроника, електричне машине, електромоторни погони, квалитет електричне енергије, обновљиви извори електричне енергије	katav@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-0138-8807
Проф. др Срђан Р. Колаковић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, продекан	грађевинарство – хидротехника	kolak@uns.ac.rs
Пуковник др Збушек Корецки	Универзитет одбране Републике Чешке, Факултет за економику и менаџмент, начелник катедре логистике	логистика одбране, мултинационална логистика	zbysek.korecki@unob.cz
Доцент др Мирко С. Козић, виши научни саветник	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт	механика флуида, нумеричка динамика флуида, аеродинамичка оптерећења	mkozic@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-7287-0780
Доц. др Никола Л. Лекић	Пуковник у пензији	радарски циљеви, радарске антене, мерење радарских циљева и антена, радарска техника и системи	lekicn@ptt.rs

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Проф. др Радо М. Максимовић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за индустријско инжењерство и менаџмент, руководилац студијских програма инжењерски менаџмент	производни системи, организација предузећа, развојни процеси у предузећу	rado@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-3551-1639
Научни саветник др Стеван М. Максимовић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт, начелник одељења чврстоће	чврстоћа конструкција, механика лома, замор, нумеричке методе	s.maksimovic@mts.rs
Др Василије М. Мановић	Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK	заштита животне средине, хемијско инжењерство	vmanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717
Проф. др Дејан М. Мицковић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за системе наоружања	конструкција класичног наоружања, аутоматска оружја, унутрашња балистика	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Проф. др Момчило П. Милиновић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за системе наоружања	ракетни системи, лансери, системи управљања ватром	mmilinovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-5361-7544
Проф. др Зоран Ђ. Миљковић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за производно машинство	технолозија машинске обраде, роботика, вештачка интелигенција, аутономни системи и машинско учење, вештачке неуронске мреже, интелигентни технолошки системи, методе одлучивања	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-9706-6134
Потпуковник доц. др Срђан Т. Митровић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војноелектронског инжењерства, начелник одсека за електротехнику и електронику	мобилни роботи, управљање у реалном времену, фази логика, фази управљање, микропроцесорски системи, управљање системима (аутоматика), алгоритми навигације возила, бродски борбени и навигациони системи	srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-1287-2792

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Потпуковник доц. др Славко Р. Муждека	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војномашинског инжењерства, шеф одсека за борбена возила	моторна возила, борбена возила	mslavko@beotel.net, http://orcid.org/0000-0002-6189-9473
Др Младен Д. Пантић	Пуковник у пензији	борбена возила	emily983@sbb.rs
Пуковник Зоран С. Патић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије	логистика, одржавање, снабдевање, пројектовање организације логистичких система	zpatic@yahoo.co.uk
Пуковник доц. др Сретен Р. Перић	Универзитет одбране у Београду, начелник катедре војномашинског инжењерства	технологија одржавања моторних возила	sretenperic@yahoo.com
Проф. др Славко Ј. Покорни	Висока школа струковних студија за информационе технологије у Београду, помоћник директора (пуковник у пензији)	поузданост, расположивост и одржавање система (хардвер, софтвер, човек), примена инфрацрвеног зрачења, информационе и комуникационе технологије	slavko.pokorni@its.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-3173-597X
Проф. др Мирослав В. Поповић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, катедра за рачунарску технику	рачунарска техника и комуникације (инжењеринг система заснованих на рачунарима)	miroslav.popovic@rt-rk.com, http://orcid.org/0000-0001-8385-149X
Проф. др Југослав Р. Радуловић	Факултет за менаџмент малих и средњих предузећа, Београд (пуковник у пензији)	муниција, менаџмент, квалитет	jugoslav.radulovic@gmail.com, jugoslav.radulovic@mef.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-4003-7209
Научни саветник проф. др Душан С. Рајић	Пуковник у пензији	противхемијска заштита, оружје за масовно уништавање (НХБ борбена средства), теорија решавања иновативних задатака	rajic.dusan1@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5226-4089
Пуковник доц. др Зоран М. Рајић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, директор Војнотехничког института	аеродинамика	rajic_zoran@yahoo.com

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Пуковник ванр. проф. др Миодраг Д. Регодић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, начелник катедре природно-математичких наука	геонауке, геодетско инжењерство	mregodic62@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-4675-4150
Др Милорад Д. Савковић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт	ракетни мотори, ракетна и бестрзајна средства за ПО борбу	savkovic.milorad@gmail.com
Проф. др Драгољуб Ј. Секуловић	Универзитет Унион – Никола Тесла, Факултет за пословне студије и право, катедра за безбедност (пуковник у пензији)	геонауке, геодетско инжењерство	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Др Срећко С. Стопић	Технички универзитет у Ахену, СР Немачка, Институт за процесну металургију и рециклирање метала, научни саветник, вођа групе за хидрометалургију и нанотехнологију	хидрометалургија, нанотехнологија, хемијске синтезе, рециклирање, заштита животне средине	stopic2003@yahoo.de, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378
Проф. др Томислав Б. Шекара	Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, катедра за сигнале и системе	управљање процесима са концентрисаним и распоређеним параметрима, оптимални индустријски регулатори, фракциони закони управљања са применом у индустрији, карактеризација процеса, адекватна дискретизација и обрада сигнала, сензори и актуатори, компензација и уштеда електричне енергије у дистрибутивним електроенергетским системима	tomi@etf.rs, http://orcid.org/0000-0001-8031-3135

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Проф. др Драган Д. Шешлија	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за индустријско инжењерство и менаџмент, катедра за мехатронику, роботiku и аутоматизацију	мехатроника, роботика, аутоматизација	seslija@uns.ac.rs
Пуковник ванр. проф. др Горан П. Шимић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, начелник Центра за симулације и учење на даљину	информатика и рачунарство	gshimic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-7563-699X
Проф. др Владимир С. Шкиљаица	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за саобраћај, катедра за технологије транспортних система	технологија водног саобраћаја, бродови, безбедност пловидбе	vlaski@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-9086-4667
Проф. др Љубиша К. Танчић	Пуковник у пензији	унутрашња балистика, наоружање	ljtancic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-1242-9333
Проф. др Бранко М. Тешановић	Пуковник у пензији	општа логистика	brate@verat.net, http://orcid.org/0000-0002-2409-9418
Потпуковник доц. др Иван А. Тот	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра телекомуникација и информатике, руководилац групе за информационалне системе	базе података, информационалне системи, заштита информационалних система	totivan@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5862-9042
Научни саветник проф. др Драгољуб А. Вујић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт	примењена механика, дијагностика, софистицирани системи одржавања техничких система	vujicd@eunet.rs, dragoljub.vujic@vti.vs.rs
Генерал мајор ванр. проф. др Младен М. Вуруна	Универзитет одбране у Београду, ректор	војно-хемијско инжењерство (погонска средства, токсиколошка средства, заштита од НХБ оружја, заштита животне средине)	mladenvuruna@yahoo.com http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Генерал мајор проф. др Бојан М. Зрнић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, начелник управе	сензорски системи, стратегијско планирање	bojan.zrnica@vs.rs http://orcid.org/0000-0002-0961-993X

СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID iD
Полковник проф. д.н. Марко Д. Андреич	Университет Обороны в Белграде, Военная академия, зав. кафедрой Логистика	логистика обороны	markodandrejic@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0002-6753-9786
Доц. д.н. Милош Ж. Арсич	Полковник в отставке	менеджмент транспортной поддержки	misaarsa@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-2003-9880
Пригл. проф. д.н. Воислав Й. Батинич	Университет Обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-машиностроительной инженерии	общие машиностроительные конструкции	beregvojo@yahoo.com vojislav.batinic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0001-6786-7846
Пригл. проф. д.н. Стеван М. Бербер	Университет в Окленде, департамент электротехники и компьютерного инжиниринга, Окленд, Новая Зеландия	телекоммуникации, беспроводные сети, CDMA, OFDM системы, сенсорные сети, вычислительные системы в реальном времени, обработка стохастических сигналов	s.berber@auckland.ac.nz, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088
Доц. д.н. Радивоє М. Билич	Университет в Белграде, Электротехнический факультет, кафедра Телекоммуникации	телекоммуникации, системы пилотажно-навигационного нападения, микроволновая техника, электромагнитное оборудование, спутниковые системы	biljic@etf.rs
Проф. д.н. Бранислав А. Боровац	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, департамент промышленной инженерии и менеджмента, кафедра мехатроники, роботехники и автоматизации	роботехника	borovac@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-7446-1027
Проф. д.н. Углеша С. Бугарич	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра промышленной инженерии	операционные исследования, массовое обслуживание, теротехнология-обслуживание, транспортно-складские системы	ubugaric@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Илия Чосич	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, декан факультета	промышленная инженерия и инженерный менеджмент	ftndean@uns.ac.rs

СПИСОК РЕЦЕНЗЕНАТА / СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ / LIST OF REFEREES pp. 319–343

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Полковник пригл. проф. д.н. Горан Д. Дикич	Университет обороны в Белграде, проректор по межуниверситетскому и международному сотрудничеству	системы автоматического управления и наблюдения, системы наводки и телеуправления ракетами	goran.dikic@mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-0858-1415
Полковник доц. д.н. Ненад П. Димитриевич	Университет обороны в Белграде, Военная академия, руководитель отдела аспирантуры	безопасность на транспорте, защита ресурсов на транспорте	neshadim@mts.rs
Пригл. проф. д.н. Раденко С. Димитриевич	Полковник в отставке	взрывчатые вещества, боевые припасы, средства поражения, пиротехническая безопасность	radenkod@beotel.net
Полковник проф. д.н. Бобан Д. Джорович	Университет обороны в Белграде, проректор	транспортные процессы и методы, транспортные сети, организация транспорта	lukema@ptt.rs, http://orcid.org/0000-0001-8133-2389
Проф. д.н. Владо П. Джуркович	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-машиностроительной инженерии, начальник департамента общего машиностроительного оборудования	прикладная механика твердых и деформируемых тел	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs, djurkovic.vlado@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5064-4117
Пригл. проф. д.н. Предраг М. Елек	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, Кафедра системы вооружения	баллистика и целевое назначение, конструкция снаряда, физика взрыва	pelek@mas.bg.ac.rs http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Доц. Д.н. Милько М. Ерич	Университет в Белграде, Электротехнический факультет, кафедра телекоммуникаций, член-корреспондент Инженерной Академии Србији	телекоммуникации, цифровая обработка сигналов, электронная разведка, радиогониометрия, антенные системы, микрофонные системы, array processing	meric@mts.rs, miljko.eric@etf.rs http://orcid.org/0000-0002-2927-019X
Д.н. Милош Р. Филипович	научный советник на пенсии	энергетические материалы (взрывчатые вещества, пиротехника, пороха и ракетные топлива, сгорание, детонация, взрыв)	milosf321@gmail.com

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Доц. д.н. Зоран Л. Филипович	Институт Гоша, Научный сотрудник	электроника и телекоммуникации (авионика, метрология, телекоммуникации)	filipovicz@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-4793-4105
Пригл. проф. д.н. Васко Г. Фотев	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра авиации	приводы летательных аппаратов (двигатели для самолетов и вертолетов)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Катарина Д. Герич	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, департамент машиностроительное производство, кафедра Материалы и соединение материалов	наука о материалах, инженерия материалов, испытание материалов	gerick@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-5473-8922
Полковник доц. д.н. Любомир Й. Гигович	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра естественных наук, руководитель группы преподавателей в области военной географии и топографии	геонауки, инженерная геодезия	ljgigovic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8388-3624
Проф. д.н. Миро Й. Говедарица	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, департамент информатики и автоматике, кафедра Системное управление сигналами, руководитель профильной программы Геодезия и геоматика	геодезия, геоматика, геоинформатика	miro@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-1698-0800
Проф. д.н. Янко Й. Ходолич	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук	метрология, качество, приборы и экологические и инженерные аспекты	hodolic@uns.ac.rs
Полковник доц. д.н. Слободан С. Илич	Генштаб, Управление планирования и развития (J-5), Технички опытно-проектный центр, директор	системы обеспечение, вооружение	slobodan.ilic@vs.rs
Пригл. проф. д.н. Бранислав В. Якич	«Алфа» Университет в Белграде, Университет бизнеса Баня Лука (полковник в отставке)	логистика, качество, стандартизация, метрология, номенклатура, кодификация, технологический менеджмент управление качеством	bjakic@yahoo.com

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Проф. д.н. Слободан С. Ярамаз	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, зав. кафедрой Системы вооружения	внутренняя баллистика, конструкция снарядов, физика взрыва, целевая баллистика, сгорание пороха	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Радун Б. Еремич	Полковник в отставке	боеприпасы, взрывчатые вещества	radjer@mts.rs http://orcid.org/0000-0002-1990-2018
Доц. д.н. Данко М. Иванович	Генерал-майор в отставке	управление производством, логистика, обеспечение технических систем, качество, риски, стандартизация	danko.jovanovic17@gmail.com
Доц. д.н. Вукица М. Иванович	«Трайн» Университет, Факультет инженерии и технологии, департамент Конструкции и дизайн, Энгола, Штат Индиана, США	машиностроение	vukica.jovanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
Подполковник доц. д.н. Радован М. Каркалич	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-химическая инженерия	Химические технологии (ядерно-химическо-биологическая защита, обнаружение, идентификация и обезвреживание)	rkarkalic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8074-7264
Проф. д.н. Владимир А. Катич	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, зам. декана факультета	энергетическая электроника, электрические машины, электродвигательные приводы, качество электроэнергии, возобновляемые источники энергии	katav@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-0138-8807
Проф. д.н. Срджан Р. Колакович	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, зам. декана	строительство – гидротехника	kolak@uns.ac.rs
Полковник др Збушек Корецки	Университет обороны Республика Чехия, Факультет менеджмента и экономики, зав. кафедрой логистики	логистика обороны, мультинациональная логистика	zbysek.korecki@unob.cz
Доцент др Мирко С. Козич, высший научный советник	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, Военно-технический институт	механика флюидов, вычислительная динамика флюидов, аэродинамическая нагрузка	mkozic@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-7287-0780
Доц. д.н. Никола Л. Лекич	Полковник в отставке	радиолокационные цели, радиолокационные антенны, измерение РЛС целей и антенн, радиолокационные системы и техника	lekicn@ptt.rs

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Проф. д.н. Радо М. Максимович	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, Департамент промышленной инженерии и менеджмента, руководитель профильной программы инженерный менеджмент	производственные системы, организация предприятия, процессы развития на предприятии	rado@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-3551-1639
Научный советник др Стеван М. Максимович	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, Военно-технический институт, начальник отдела твердых тел	прочные конструкции, механика повреждений, усталость, вычислительные методы	s.maksimovic@mts.rs
Д.н. Василий М. Манович	Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK	охрана окружающей среды, химическая инженерия	vmanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717
Проф. д.н. Деян М. Мицкович	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра системы вооружения	конструкция классического вооружения, автоматическое оружие, внутренняя баллистика	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Момчило П. Милинович	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра системы вооружения	ракетные системы, ракетные установки, системы управления залповым огнем	mmilinovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-5361-7544
Проф. д.н. Зоран Дж. Милькович	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра производственных машин	технология машинной обработки, роботехника, искусственный интеллект, автономные системы и машинное обучение, искусственные нейронные сети, интеллектуальные технологические системы, методы принятия решений	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-9706-6134

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Подполковник доц. д.н. Срджан Т. Митровић	Универзитет обороне у Београду, Војна академија, катедра војно-електронске инжењерске, начелник департмана електротехнике и електронике	мобилне роботы, управлење у реалном времену, фазна логика, фазна управлење, микропроцесорне системе, управлење системима (автоматика), алгоритми навигације транспорта, навигационе системе за судове и боровог транспорта	srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs http://orcid.org/0000-0002-1287-2792
Подполковник доц. др.н Славко Р. Муждека	Универзитет обороне у Београду, Војна академија, катедра војног машиностројења, зав. одељењем боровог транспорта	транспортне средства, борове транспортне средства	mslavko@beotel.net, http://orcid.org/0000-0002-6189-9473
Проф. др.н. Младен Д. Пантић	Полковник у одставке	борове транспортне средства	emily983@sbb.rs
Полковник Зоран С. Патић	Министарство обороне, Сектор по материјалним ресурсима, Управлење оборонске технологије	логистика, обезбеђење, снабђење, пројектовање организације логистичких система	zpatic@yahoo.co.uk
Полковник доц. др.н. Сретен Р. Перић	Универзитет обороне у Београду, зав. катедром војног машиностројења	технологја садржања и ремонта транспортних средстава	sretenperic@yahoo.com
Проф. др.н. Славко Й. Покорни	Висша школа професионалног образовања по информационам технологијама у Београду, зам. директора (полковник у одставке)	надежност, доступ и обезбеђење система (апаратно и програмно обезбеђење, човек), примене инфрацрвеног зрачења, информационам и комуникационе технологије	slavko.pokorni@its.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-3173-597X
Проф. др.н. Мирослав В. Поповић	Универзитет у г.Нови Саду, Факултет техничких наука, катедра вычислительной техники	Вычислительная техника и коммуникации (инжиниринг система, основанная на вычислительной технике)	miroslav.popovic@rt-rk.com, http://orcid.org/0000-0001-8385-149X

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Проф. д.н. Югослав Р. Радулович	Факультет менеджмента малых и средних предприятий, г. Белград (полковник в отставке)	боеприпасы, менеджмент, качество	jugoslav.radulovic@gmail.com, jugoslav.radulovic@mef.edu.rs http://orcid.org/0000-0002-4003-7209
Научный советник проф. д.н. Душан С. Раич	Полковник в отставке	химическая защита, оружие массового уничтожения (РХБ боевые средства), теория решений инновационных задач	rajic.dusan1@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5226-4089
Полковник доц. д.н. Зоран М. Раич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, директор Военно-технического института	аэродинамика	rajic_zoran@yahoo.com
Полковник пригл. проф. д.н. Миодраг Д. Регодич	Университет обороны в Белграде, Военная академия, зав. Кафедрой естественных наук	геонауки, инженерная геодезия	mregodic62@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-4675-4150
Д.н. Милорад Д. Савкович	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии Военно-технический институт	ракетные двигатели, ракетная и безоткатное оборонная техника	savkovic.milorad@gmail.com
Проф. д.н. Драголюб И. Секулович	Университет «Унион – Никола Тесла», Факультет бизнеса и юридических наук, кафедра Безопасность (полковник в отставке)	геонауки, инженерная геодезия	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Д.н. Сречко С. Стопич	Технический университет в г. Ахен, СР Германия, Институт процессной металлургии и рециклирования металла, научный советник, руководитель группы по гидрометаллургии и нанотехнологиям	гидрометаллургия, нанотехнологии, химический синтез, рециклирование, охрана окружающей среды	stopic2003@yahoo.de, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Проф. д.н. Томислав Б. Шекара	Университет в Белграде, Электротехнический факультет, кафедра Сигналы и системы	управление процессами концентрированных и распределенных параметров, оптимальные промышленные регуляторы, фракционные методы управления в промышленном секторе, характеристика процессов, соответствующая дискретизация и обработка сигналов, сенсоры и актуаторы, компенсация и сбережение электроэнергии в распределительных электроэнергетических системах	tomi@etf.rs, http://orcid.org/0000-0001-8031-3135
Проф. д.н. Драган Д. Шешлија	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, Департамент промышленная инженерия и менеджмент, кафедра мехатроники, роботехники и автоматизации	мехатроника, роботехника, автоматизация	seslija@uns.ac.rs
Полковник пригл. проф. д.н. Горан П. Шимић	Университет обороны в Белграде, Военная академия, начальник Центра моделирования и дистанционного обучения	информатика вычислительная техника	gshimic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-7563-699X
Проф. д.н. Владимир С. Шкиляица	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, Департамент транспорта, кафедра Технологии транспортных средств	технология водного транспорта, суда, безопасность плавания	vlaski@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-9086-4667
Проф. д.н. Любиша К. Танчић	Полковник в отставке	внутренняя баллистика, вооружение	ljtancic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-1242-9333

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID ID
Проф. д.н. Бранко М. Тешанович	Полковник в отставке	общая логистика	brate@verat.net, http://orcid.org/0000-0002-2409-9418
Подполковник доц. д.н. Иван А. Тот	Университет обороны в Белграде, Военная академия, руководитель группы по информационным системам кафедры телекоммуникации и информатика	базы данных, информационные системы, защита информационных систем	totivan@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5862-9042
Научный советник проф. д.н. Драголюб А. Вуич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, Военно-технический институт	прикладная механика, диагностика, софистицированные системы обеспечения технических систем	vujicd@eunet.rs, dragoljub.vujic@vti.vs.rs
Генерал-майор пригл. проф. д.н. Младен М. Вуруна	Университет обороны в Белграде, ректор	военно-химическая инженерия (приводные средства, токсикологические средства, защита от РХБ оружия, охрана окружающей среды)	mladenvuruna@yahoo.com http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Генерал-майор проф. д.н. Боян М. Зрнич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, начальник управления	сенсорные системы, стратегическое планирование	bojan.zrnic@vs.rs http://orcid.org/0000-0002-0961-993X

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Professor Colonel Marko D. Andrejić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Logistics Department	Military logistics	markodandrejic@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0002-6753-9786
Assistant Professor Miloš Ž. Arsić, PhD	Retired colonel	Transportation support management	misaarsa@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-2003-9880
Associate Professor Vojislav J. Batinić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering	General mechanical engineering constructions	beregvojo@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0001-6786-7846
Associate Professor Stevan M. Berber, PhD	The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, Senior Lecturer	Telecommunications, wireless communications, CDMA, OFDM systems, sensor network, computer system in real-time processing of stochastic signals	s.berber@auckland.ac.nz, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088
Assistant Professor Radivoje M. Biljić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Department of Telecommunications	Telecommunications, navigation/attack systems, electromagnetics, satellite systems	biljic@etf.rs
Professor Branislav A. Borovac, PhD	University in Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Chair for Mechatronics, Robotics and Automation	Robotics	borovac@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-7446-1027
Professor Uglješa S. Bugarić, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department for Industrial Engineering	Operational research, queuing theory, terotechnology – maintenance, transportation and storage systems	ubugaric@mas.bg.ac.rs
Professor Ilija Čosić, PhD	University in Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Dean of the Faculty	Industrial Engineering and engineering management	ftndean@uns.ac.rs
Associate Professor Colonel Goran D. Dikić, PhD	University of Defence in Belgrade, Vice Dean for Interuniversity and International Cooperation	Automatic control systems, target tracking, missile guidance and control systems	goran.dikic@mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-0858-1415

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Assistant Professor Colonel Nenad P. Dimitrijević, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Director of Postgraduate Studies	Traffic safety, protection of resources in traffic and transportation	neshadim@mts.rs
Associate Professor Radenko S. Dimitrijević, PhD	Retired colonel	Ordnance, ammunition	radenkod@beotel.net
Professor Colonel Boban D. Đorović, PhD	University of Defence in Belgrade, Vice Dean	Processes and methods in traffic and transportation, transportation networks, transport organization	lukema@ptt.rs, http://orcid.org/0000-0001-8133-2389
Professor Vlado P. Đurković, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Faculty Staff Teaching General Subjects in Mechanical Engineering	Applied mechanics of rigid and deformable body	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs, djurkovic.vlado@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5064-4117
Associate Professor Predrag M. Elek, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	Terminal ballistic, Projectile construction, Physics of explosion	pelek@mas.bg.ac.rs http://orcid.org/0000-0002-2927-019X
Assistant Professor Miljko M. Erić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Department of Telecommunications, corresponding member of Engineering Academy of Serbia	Telecommunications, digital signal processing, electronic reconnaissance, radio direction finding, antenna arrays, microphone arrays, array processing	meric@mts.rs, miljko.eric@etf.rs http://orcid.org/0000-0002-9410-717X
Scientific Advisor Miloš R. Filipović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Sector for Materials and Protection	Ordnance (explosives, pyrotechnics, gunpowders and rocket propellants, combustion, detonation, explosion)	milosf321@gmail.com
Assistant Professor Zoran Lj. Filipović, PhD	Goša Institute Research Fellow	Electronics and telecommunications (avionics, metrology, telecommunications)	filipovicz@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-4793-4105
Associate Professor Vasko G.	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering,	Aircraft propulsion (aircraft and rocket engines)	vfotev@mas.bg.ac.rs

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID ID
Fotev, PhD	Department of Aviation		
Professor Katarina D. Gerić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Production Engineering, Chair of Materials and Technology of Connection	Materials science, materials engineering, materials testing	gerick@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-5473-8922
Assistant Professor Colonel Ljubomir J. Gigović, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Natural and Mathematical Sciences, Head of Faculty Staff Teaching Military Geography and Topography	Geosciences, geodetic engineering	ljgigovic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8388-3624
Professor Miro J. Govedarica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Computing and Automatics, Head of the study program Geodesy and Geomatics	Geodesy, Geomatics, Geoinformatics	miro@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-1698-0800
Professor Janko J. Hodolič, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences	Metrology, quality, tools and ecological-engineering aspects	hodolic@uns.ac.rs
Assistant Professor Colonel Slobodan S. Ilić, PhD	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Planning and Development Directorate (J-5), Technical Test Center, Director	Maintenance systems, armament	slobodan.ilic@vs.rs
Associate Professor Branislav V. Jakić, PhD	Retired colonel, Alpha University Belgrade, University of Business studies Banja Luka	Logistics, quality, standardisation, metrology, nomenclature, codification, technology management, quality management	bjakic@yahoo.com
Professor Slobodan S. Jaramaz, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Head of Department of Weapon Systems	Internal ballistics, projectile construction, physics of explosion, terminal ballistics, gunpowder combustion	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Professor Radun B. Jeremić, PhD	Retired colonel	Ammunition, ordnance	radjer@mts.rs http://orcid.org/0000-0002-1990-2018

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID ID
Assistant Professor Danko M. Jovanović, PhD	Retired Major General	Production management, logistics, maintenance of technical systems, quality, risks, standardisation	danko.jovanovic17@gmail.com
Assistant Professor Vukica M. Jovanović, Phd	Trine University, Allen School of Egineering and Technology, Department of Engineering echnology, Angola, Indiana, USA	Mechanical engineering	vukica.jovanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
Assistant Professor LtColonel Radovan M. Karkalić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Chemical Engineering	Chemical technology (nuclear-biological-chemical protection, detection, identification and decontamination)	rkarkalic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8074-7264
Professor Vladimir A. Katić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	Power electronics, electric machines, electric power systems and stations, electric power quality, renewable sources of electric power	katav@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-0138-8807
Professor Srđan R. Kolaković, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	Civil engineering, hydrotechnology	kolak@uns.ac.rs
Colonel Zbyšek Korecki, PhD	University of Defence of the Czech Republic, Faculty of Economics and Management, Head of Department of Logistics	Logistics of defence, multinational logistics	zbysek.korecki@unob.cz
Assistant Professor Mirko S. Kozic, PhD, scientific advisor	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Mechanics of fluids, computational fluid dynamics, aerodynamic load	mkozic@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-7287-0780
Assistant Professor Nikola L. Lekić, PhD	Retired colonel	Radar targets, radar antennas, measurement of radar targets and antennas, radar technique and systems	lekicn@ptt.rs
Professor Rado M. Maksimović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Head of Engineering Management program of study	Production systems, organization of industrial systems, development processes in industrial systems	rado@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-3551-1639

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID ID
Scientific Advisor Stevan M. Maksimović, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Laboratory for Strength	Structural strength, fracture mechanics, fatigue, numerical methods	s.maksimovic@mts.rs
Senior Research Scientist Vasilije M. Manović, PhD	Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK	Environmental protection, Chemical engineering	vmanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717
Professor Dejan M. Micković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	Construction of classic weapons, automatic weapons, internal ballistics	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Professor Momčilo P. Milinović, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	Rocket systems, launchers, fire control systems	mmilinovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-5361-7544
Professor Zoran Đ. Miljković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Engineering	Manufacturing technology, robotics, artificial intelligence, autonomous systems and machine learning, artificial neural networks, intelligent technological systems, decision-making methods	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-9706-6134
Assistant Professor Lt Colonel Srdjan T. Mitrović, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Electrical Engineering, Head of the Section of Electrical Engineering and Electronics	Mobile robots, real time control, fuzzy logic, fuzzy control, microprocessing systems, system control (automation), vehicle navigation algorithms, naval combat and navigation systems	srđjan.mitrovic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-1287-2792
Assistant Professor Lt Colonel Slavko R. Muždeka, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Section for Combat Vehicles	Motor vehicles, combat vehicles	msslavko@beotel.net, http://orcid.org/0000-0002-6189-9473
Professor Mladen D. Pantić, PhD	Retired colonel	Combat vehicles	emily983@sbb.rs

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Colonel Zoran S. Patić	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies	Logistics, maintenance, supply, design of logistic system organisation	zpatic@yahoo.co.uk
Assistant Professor Colonel Sreten R. Perić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Department of Military Mechanical Engineering	Technology of motor vehicle maintenance	sretenperic@yahoo.com
Professor Slavko J. Pokorni, PhD	Information Technology School, Retired colonel	Reliability, availability and system maintenance (hardware, software, man) IR application, Information and Communications Technology	slavko.pokorni@its.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-3173-597X
Professor Miroslav V. Popović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Chair of Computer Technology	Computer technology and communications (computer-based system engineering)	miroslav.popovic@rt-rk.com, http://orcid.org/0000-0001-8385-149X
Professor Jugoslav R. Radulović, PhD	Faculty of Management of small and medium-sized enterprises, Belgrade, Retired colonel	Ammunition, management, quality	jugoslav.radulovic@gmail.com, jugoslav.radulovic@mef.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-4003-7209
Scientific Advisor Professor Dušan S. Rajić, PhD	Retired colonel	Chemical protection, weapons of mass destruction (NBC weapons), theory of inventive problem solving	rajic.dusan1@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5226-4089
Assistant Professor Colonel Zoran M. Rajić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Director of Military Technical Institute	Aerodynamics	rajic_zoran@yahoo.com
Assistant Professor Colonel Miodrag D. Regodić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Department of Natural and Mathematics Sciences	Geosciences, geodetic engineering	mregodic62@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-4675-4150
Milorad D. Savković, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Rocket motors, rocket and recoilless AT weapons	savkovic.milorad@gmail.com

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Professor Dragoljub J. Sekulović, PhD	University Union - Nikola Tesla, Faculty of Business Studies and Law, Department of Security, Retired colonel	Geosciences, geodetic engineering	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Scientific advisor Srećko S. Stopić, PhD	RWTH Aachen University, Germany, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Group leader for hydrometallurgy and nanotechnology	Hydrometallurgy, nanotechnology, recycling, environmental science	stopic2003@yahoo.de, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378
Professor Tomislav B. Šekara, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Department for Signals and Systems	Control of processes with concentrated and distributed parameters, industrial regulators with optimum performance, fraction laws of control in industrial application, process characterisation, adequate signal discretisation and processing, sensors and actuators, electric energy compensation and saving in electric energy distribution systems	tomi@etf.rs, http://orcid.org/0000-0001-8031-3135
Professor Dragan D. Šešlija, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Chair of Mechatronics, Robotics and Automation	Mechatronics, Robotics and Automation	seslija@uns.ac.rs
Associate Professor Colonel Goran P. Šimić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Center for Simulations and Distance Learning	Information technology and computing	gshimic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-7563-699X
Professor Vladimir S. Škiljaica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Traffic Engineering, Chair of Technology of Transportation Systems	Technology of water transportation, ships, navigation safety	vlaski@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-9086-4667

Title, name, middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID ID
Professor Ljubiša K. Tančić, PhD	Retired colonel	Internal ballistics, armament	ljtancic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-1242-9333
Professor Branko M. Tešanović, PhD	Retired colonel	General logistics, Economics	brate@verat.net, http://orcid.org/0000-0002-2409-9418
Assistant Professor LtColonel Ivan A. Tot, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Group for Information Systems at Department of Telecommunications and Information Technology	Data bases, information systems, information systems protection	totivan@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5862-9042
Scientific Advisor Professor Dragoljub A. Vujić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Applied mechanics, diagnostics, sophisticated systems for technical system maintenance	vujicd@eunet.rs, dragoljub.vujic@vti.vs.rs
Associate Professor Major General Mladen M. Vuruna, PhD	University of Defence in Belgrade, Rector	Military chemical engineering (propellants, toxicology, NBC protection, environmental protection)	mladenvuruna@yahoo.com http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Professor Major General Bojan M. Znić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Head of Department	Sensor systems, strategic planning	bojan.znic@vs.rs http://orcid.org/0000-0002-0961-993X

СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА / СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ / LIST OF REFEREES pp. 319–343

ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧНОМ ПОСТУПАЊУ
ЭТИЧЕСКИЙ КОДЕКС
PUBLICATION ETHICS STATEMENT

ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ

Објављивање чланака након стручне рецензије основна је делатност научног часописа *Војнотехнички гласник*. Неопходно је постићи сагласност о етичким начелима у поступцима свих учесника приликом објављивања чланака, од аутора, Редакције часописа и стручних рецензента до издавача.

Обавезе Редакције Војнотехничког гласника

Уредништво *Војнотехничког гласника* не тражи од аутора плаћање накнаде за аплицирање чланка за објављивање. Читав поступак уређивања и објављивања чланка за ауторе је потпуно бесплатан.

Редакција *Војнотехничког гласника* одговорна је за доношење одлуке који ће од приспелих чланака бити одабран за објављивање.

Редакција треба да поступа у складу с политиком Уређивачког одбора *Војнотехничког гласника* као и у складу са законским прописима који се односе на клевету, кршење ауторских права и плагијате. Редакција може да се консултује са члановима Уређивачког одбора или рецензентима при доношењу одлуке.

Редакција процењује садржај рукописа независно од расе, пола, полне оријентације, религијских уверења, етничког порекла, политичких уверења и државне припадности аутора.

У свом раду, према препоруци Центра за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН), Редакција користи , који омогућава транспарентност и јавност рада, подразумевајући пуну одговорност за прихватање и објављивање чланка.

Пре слања на рецензију Редакција проверава да ли је садржај рукописа плагијат, коришћењем сервиса iThenticate (CrossRef и CrossCheck).

Часопис примењује „двоструки слепи поступак рецензије“ чланака, који подразумева да аутори не знају ко су им рецензенти, нити су рецензентима познати аутори.

Нико из уређивачке куће не сме да открије ниједну информацију о пристиглом рукопису икоме, осим аутору, рецензентима, потенцијалним рецензентима, другим саветницима уређивачке куће и издавачу, према потреби.

Необјављен материјал из пристиглих рукописа не сме да се користи за истраживачки рад уређивача, осим са изричитим писменим одобрењем аутора.

Редакција се обавезује да ће повући већ објављени чланак у случају накнадног откривања следећих околности у вези рада:

- плагијаризам,
- аутоплагијаризам,
- рад је већ објављен у другом часопису или некој другој публикацији,

- нетачни подаци о ауторству (присвајање туђег рада, навођење аутора који нису учествовали у писању рада, изостављање аутора који су учествовали у писању рада),
- сукоб интереса,
- лажирање или фабриковање резултата,
- недозвољене техничке интервенције на сликама,
- озбиљнија техничка грешка, као што је изостављање делова текста, грешка у репродукцији илустративног материјала.

Обавезе рецензента

Стручни рецензент помаже Редакцији у доношењу одлуке, а посредством контаката са ауторима преко Редакције може да помаже и ауторима на побољшавању текста рада.

Уколико изабрани рецензент сматра да није довољно квалификована да изврши рецензију истраживања у рукопису или је пак спречен да заврши и достави рецензију у договореном року, о томе треба благовремено да обавести Редакцију.

Сваки рукопис прихваћен на рецензију мора да се третира као поверљив документ. Не сме се показивати трећим лицима нити дискутовати са њима, осим када то одобри Редакција.

Рецензија треба да буде објективна. Неприхватљива је лична критика аутора. Рецензенти треба јасно да образложе своје ставове и поткрепе их аргументима.

Рецензенти треба да идентификују релевантне постојеће радове које аутор није цитирао. Свака претходно јавно саопштена тврдња или аргумент треба да буду пропраћени одговарајућим цитатом. Дужност рецензента је да скрене пажњу уреднику на значајна поклапања или сличност рукописа са већ објављеним радом, уколико о томе има лична сазнања.

Информације и идеје до којих се дошло стручном рецензијом поверљивог су карактера и не смеју се користити за сопствене потребе. Рецензенти не би требало да примају рукописе који их доводе у сукоб интереса на основу конкуренције, заједничког рада или других односа с било којим аутором, компанијом или институцијом повезаним с радом.

Обавезе аутора

Када аутори пишу о оригиналном истраживању треба прецизно да прикажу обављени рад и да објективно изложе његов значај. Подаци треба да буду прецизно наведени. Чланак треба да садржи довољно детаља и референци да би могао да се репродукује. Лажне или намерно нетачне тврдње представљају неетичко поступање и неприхватљиве су.

Аутори треба да обезбеде необрађене податке у вези са чланком и пруже их на увид Редакцији, као и јавни приступ тим подацима, ако је то могуће, и да, у сваком случају, буду спремни да сачувају те податке у разумном року после објављивања.

Аутори треба да напишу потпуно оригиналне радове, а ако су користили радове и/или формулације других, онда то треба да наведу на одговарајући начин.

У принципу, аутори би требало да објаве рукопис који се суштински бави истим истраживањем само у једном часопису или примарној публикацији. Слање истог рукописа у више редакција часописа у исто време представља неетичко понашање и неприхватљиво је.

Обавезно је да аутор наведе радове које је користио у писању рукописа, као и да цитира публикације које су утицале на његов рад.

Ауторство треба да буде ограничено на оне који су значајно допринели идеји, њеном обликовању, извођењу или интерпретацији у датом истраживању. Сви који су значајно допринели раду треба да буду наведени као коаутори. Ако су појединци били битни у појединим аспектима истраживачког пројекта, треба им у захвалници одати признање за допринос.

Аутор треба да се постара да сви коаутори буду наведени као такви, као и да међу наведеним нема оних који то не заслужују. Ауторова дужност је да сви коаутори виде и одобре финалну верзију рада, као и да одобре његово објављивање.

Ако се у истраживању појављују хемијска једињења, поступци или опрема који су опасни по здравље људи или животиња, аутор то мора јасно да назначи у рукопису.

Сваки аутор треба да наведе у рукопису све врсте финансијских и осталих значајних конфликта интереса који би могли да утичу на резултате или интерпретацију његовог рада. Сви извори финансијске подршке треба да буду такође наведени.

Када аутор открије материјалну грешку или нетачност у свом објављеном раду, његова је дужност да одмах обавести Редакцију часописа или издавача и да сарађује са Редакцијом при повлачењу или кориговању рада.

ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПУСКУ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА

Публикация статей после их профессиональной рецензии является основной деятельностью научного журнала *Военно-технический вестник*. В первую очередь необходимо достичь договоренности об этических нормах и принципах, применяемых ко всем участникам в процессе выпуска журнала, начиная с автора, Совета редакторов, профессиональных рецензентов до издателя.

Обязанности редакторов *Военно-технического вестника*

Редакция журнала "*Военно-технический вестник*" сообщает, что не взывает с авторов плату за публикацию их статей, то есть, все действия, связанные с редактированием и размещением статей являются абсолютно бесплатными.

Редакция *Военно-технического вестника* несет ответственность за принятие решений о публикации представленных в адрес журнала статей.

Редакция обязана соблюдать политику Совета редакторов *Военно-технического вестника*, также положения действующего законодательства, регулирующие вопросы распространения заведомо ложных сведений, порочащих честь и достоинство другого лица или подрывающих его репутацию и несоблюдения авторских прав. Редакция имеет право проконсультироваться с Советом редакторов или рецензентами относительно принятия решений о публикации статьи.

Редакция отбирает и оценивает материалы независимо от пола, религии, расы, национальности, политических убеждений автора.

Редакция в своей работе, по рекомендациям Центра эвалюации в образовании и науке (СЕОН), пользуется, обеспечивающей отсутствие секретности и доступность любой информации, и которая подразумевает ответственность - за принятие решения о публикации статьи в полном объеме.

Редакция до момента представления статьи рецензентам должна проверить содержание работы по отношению к плагиаризму путем системы Thenticate (CrossRef и CrossCheck).

Редакция журнала проводит конфиденциальное рецензирование, применяя "двойной слепой метод". Авторы статьи и рецензенты не знают имен друг друга.

Никто из работников издательской компании не имеет право раскрывать любые сведения о представленной научной статье, за исключением случаев, если они по мере потребности нужны автору, рецензентам, возможным рецензентам и другим советникам редакторов и издателя.

Неопубликованными материалами нельзя воспользоваться для исследовательских работ без согласия автора.

Редакция обязуется исключить из публикации повторно опубликованную статью, в случае следующих нарушений:

- плагиат,
- автоплагиат,

- повторная публикация в данном или другом издании,
- неверные данные об авторе (присвоение чужой работы, указание автора не принимавшего участия в написании работы),
- конфликт интересов,
- фальсификация результатов исследования,
- неправильно оформленные изображения
- крупные технические ошибки в оформлении текста: пропуск частей текста, неправильно оформленные изображения и иллюстрации.

Обязанности рецензентов

Профессиональный рецензент оказывает поддержку Редакции при принятии решений о публикации статьей, а также, путем контактов с авторами через Редакцию оказывает содействие авторам в целях улучшения качества их работы.

В случае если рецензент считает, что он в достаточной степени не обладает качествами, необходимыми для осуществления профессиональной рецензии работы, или не сможет ее осуществить во время, то ему необходимо об этом проинформировать Редакцию.

Любая работа, представленная на рецензию, является конфиденциальным документом и ее нельзя показывать третьим лицам без одобрения Редакции.

Рецензия должна базироваться на объективных условиях. Не допускается личная критика автора. Рецензенты должны обосновать и доказать свои позиции по отношению к статье.

Рецензенты обязаны идентифицировать релевантные существующие работы, которые автор не цитировал. По любому общему сведению или аргументу приведенным в работе должны быть указаны соответствующие цитаты. Рецензент обязан обратить внимание редактору на эвентуальные сходства работы с другими опубликованными работами, в случае если такое что обнаружит.

Информация и идея до которой дошли рецензенты является конфиденциальной и ими нельзя воспользоваться для личных потребностей. Рекомендуются рецензентам не рецензировать работы, которые могут вызвать коллизию интересов (конкуренты, совместная работа, или иные отношения с автором, компанией или учреждением связанными с работой).

Обязанности авторов

В своей исследовательской работе авторы должны придерживаться принципов четкости, разборчивости, понятности с целью объективного толкования значения данной работы. Факты и показатели должны быть четко указаны. Работа должна содержать в достаточной степени фактов и деталей, чтобы она могла репродуцироваться. Неправильные или неточные утверждения являются примером неэтичного поведения и не будут приняты.

Авторы должны обеспечить необработанные данные, относящиеся к работе, и представить их на рассмотрение Редакции, и обеспечить к ним доступ всем заинтересованным лицам, если это является возможным. Также, авторы должны после публикации статьи хранить в разумные сроки полученные результаты.

Авторы должны в своих работах заниматься полностью оригинальными вопросами. В случае если они в своей работе использовали данные или факты других авторов, то об этом необходимо указать в работе.

Также, авторы должны свои работы публиковать только в одном научном журнале, или размещать публикации на сайте с прямыми ссылками. Публикация одной и той же работы в нескольких научных журналах считается неэтичным поведением и является недопустимой.

Авторы работ обязаны указать в своих работах все материалы, которыми они воспользовались при исследовании, в том числе все публикации, которые повлияли на результаты их исследований.

Авторство должно быть ограничено только теми лицами, которые в значительной степени участвовали в процессе исследования и получения результатов работы. ИОФ всех лиц, участвующих в значительной степени в процессе исследования и получения результатов работы, должны быть указаны в работе в качестве соавторов, и их необходимо поблагодарить за содействие.

Автор должен обеспечить условия, чтобы ИОФ всех соавторов, действительно участвующих в процессе исследования и содействующих получению результатов, были указаны в работе. Также, обязанностью автора является предоставление окончательной версии работы соавторам на согласование.

В случае появления в процессе исследования необходимости контакта с опасными веществами, т.е. веществами, обладающими потенциальной опасностью в отношении человека, животных и окружающей среды, то автор об этом должен четко указать в работе.

Каждый автор обязан в работе указать на все виды потенциальных финансовых или других коллизий интересов, которые могли бы повлиять на результаты исследования или ее интерпретацию. Все источники финансовой поддержки должны быть указаны в работе.

В случае обнаружения автором в работе материальной ошибки или какой-то неправильности, он обязан об этом незамедлительно сообщить Редакции журнала или издателю, также оказать содействие в отклонении неправильностей.

PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The publication of an article in this peer reviewed journal is an essential model for the scientific journal *Military Technical Courier*. It is necessary to agree upon standards of expected ethical behavior for all parties involved in the act of publishing: the author, the journal editor, the peer reviewer and the publisher.

Duties of the *Military Technical Courier* editor

There are no APCs (author processing charges) or submission charges for the articles submitted to the *Military Technical Courier*. The whole process of article editing and publishing is entirely free of charge for authors.

The editor of the *Military Technical Courier* is responsible for deciding which of the articles submitted to the journal should be published.

The editor should be guided by the policies of the journal's editorial board and constrained by such legal requirements as shall then be in force regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The editor may confer with the members of the editorial board or reviewers in making this decision.

The editor should evaluate manuscripts for their intellectual content without regard to race, gender, sexual orientation, religious belief, ethnic origin, citizenship, or political philosophy of the authors.

Following the recommendations of the CEON Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES), the editor applies the electronic editing system ASISTANT which enables transparency and public access to work and accepts a full responsibility for the acceptance and publishing of articles.

Before sending articles for peer reviews, the editor checks the content of the submitted manuscripts for plagiarism using the iThenticate service (CrossRef and CrossCheck).

Journal applies a „double blind peer review process“ for papers. Authors and reviewers are anonymous to each other in the process of review.

The editor and any editorial staff must not disclose any information about a submitted manuscript to anyone other than the corresponding author, reviewers, potential reviewers, other editorial advisers, and the publisher, as appropriate.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in an editor's own research without the express written consent of the author.

The Editorial Office has pledged to remove an already published article in case of the following, subsequently discovered facts regarding the article in question:

- plagiarism,
- self-plagiarism,
- article already published in some other journal or publication,
- inaccurate data on authorship (fake claim of authorship, listing authors who did not participate in the article's creation or omitting authors who did participate),
- conflict of interests,

- fraudulent use of data or fabrication of results,
- unauthorised technical interventions on figures,
- substantial technical error such as omitting parts of the text or an error in reproducing illustrations.

Duties of reviewers

A peer reviewer assists the editor in making editorial decisions and through the editorial communications with the author may also assist the author in improving the paper.

Any selected referee who feels unqualified to review the research reported in a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should notify the editor and excuse himself from the review process.

Any manuscripts received for review must be treated as confidential documents. They must not be shown to or discussed with others except as authorized by the editor.

Reviews should be conducted objectively. Personal criticism of the author is inappropriate. Referees should express their views clearly with supporting arguments.

Reviewers should identify relevant published work that has not been cited by the authors. Any statement that an observation, derivation, or argument had been previously reported should be accompanied by the relevant citation. A reviewer should also call to the editor's attention any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other published paper of which they have personal knowledge.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in a reviewer's own research without the express written consent of the author. Privileged information or ideas obtained through peer review must be kept confidential and not used for personal advantage. Reviewers should not consider manuscripts in which they have conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships or connections with any of the authors, companies, or institutions connected to the papers.

Duties of authors

Authors of reports of original research should present an accurate account of the work performed as well as an objective discussion of its significance. Underlying data should be represented accurately in the paper. A paper should contain sufficient detail and references to permit others to replicate the work. Fraudulent or knowingly inaccurate statements constitute unethical behavior and are unacceptable.

Authors may be asked to provide the raw data in connection with a paper for editorial review, and should be prepared to provide public access to such data if practicable, and should in any event be prepared to retain such data for a reasonable time after publication.

The authors should ensure that they have written entirely original works, and if the authors have used the work and/or words of others, that this has been appropriately cited or quoted.

An author should not in general publish manuscripts describing essentially the same research in more than one journal or primary publication. Submitting the same manuscript to more than one journal concurrently constitutes unethical publishing behavior and is unacceptable.

Proper acknowledgment of the work of others must always be given. Authors should cite publications that have been influential in determining the nature of the reported work.

Authorship should be limited to those who have made a significant contribution to the conception, design, execution, or interpretation of the reported study. All those who have made significant contributions should be listed as co-authors. Where there are others who have participated in certain substantive aspects of the research project, they should be acknowledged or listed as contributors.

The corresponding author should ensure that all appropriate co-authors and no inappropriate co-authors are included on the paper, and that all co-authors have seen and approved the final version of the paper and have agreed to its submission for publication.

If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the author must clearly identify these in the manuscript.

All authors should disclose in their manuscript any financial or other substantive conflict of interest that might be construed to influence the results or interpretation of their manuscript. All sources of financial support for the project should be disclosed.

When an author discovers a significant error or inaccuracy in his/her own published work, it is the author's obligation to promptly notify the journal editor or publisher and cooperate with the editor to retract or correct the paper.

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, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Превод на руски
Карина Аваџан, професор
е-mail: karinka2576@mail.ru
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, <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

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

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: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

перевод на русский язык
Карина Авагян, переводчик
e-mail: karinka2576@mail.ru
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, <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

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. - Год. 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

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, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Russian translation and polishing
Karina Avagyan BA
e-mail: karinka2576@mail.ru
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: draganvučkovic@kbcnet.rs, <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

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 12th September 2001, the *Military Technical Courier* is a
publication of special interest for science.

UDC: National Library of Serbia, Belgrade

