



Вол. 65, бр. 3
2017

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



ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

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



Том 65 № 3
2017



Вестник

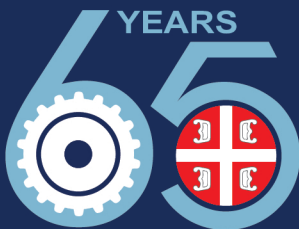
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ



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



Vol. 65, Issue 3
2017



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

2017 MILITARY TECHNICAL COURIER 3



ISSN 0042-8469
e-ISSN 2417-4753
UDC 623 + 355/359



ВОЛУМЕН 65 • БРОЈ 3 • ЈУЛ-СЕПТЕМБАР 2017.



VOLUMEN 65 • BROJ 3 • JUL-SEPTEMBAR 2017.

ВТГ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938

ISSN 0042-8469
e-ISSN 2417-4753
UDC 623 + 355/359



ТОМ 65 • НОМЕР ВЫПУСКА 3 • ИЮЛЬ - СЕНТЯБРЬ 2017.



VOLUME 65 • ISSUE 3 • JULY – SEPTEMBER 2017

ВТТ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938

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.: 011/3241-311, 064/80-80-118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

- генерал-мајор проф. др Бојан Зрнић, Министарство одбране Републике Србије, Управа за одбрамбене технологије Сектора за материјалне ресурсе, председник Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>,
- генерал-мајор проф. др Младен Вуруна, Универзитет одбране у Београду, заменик председника Уређивачког одбора, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>,
- пуковник проф. др Миленко Андрић, Универзитет одбране у Београду, Војна академија, <http://orcid.org/0000-0001-9038-0876>,
- др Сергеј А. Аргунов, Гидрографическое общество, Санкт-Петербург, Российская федерация (Hydrographic society, St. Petersburg, Russian Federation), <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>,
- проф. др Ismat Beg, Lahore School of Economics, Lahore, Pakistan, <http://orcid.org/0000-0002-4191-1498>,
- проф. др Стеван М. Бербер, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>,
- проф. др Сања Вранеш, Институт „Михајло Пуплин“, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-7054-6928>,
- проф. др Леонид И. Гречихин, Минский государственный высший авиационный колледж, Минск, Республика Беларусь (Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus), <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>,
- проф. др Александар В. 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, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>,
- др Никола Жегараш, Српска академија изумитеља и научника, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>,
- проф. др Алекса Ј. Зејак, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>,
- проф. др Вукчица М. Јовановић, Old Dominion University Norfolk, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>,
- проф. др Бранко Ковачевић, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>,
- др Сања Љ. Корица, Универзитет Унион - Никола Тесла, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>,
- научни саветник др Ана И. Костов, Институт за рударство и металургију, Бор, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>,
- ванр. проф. др Славољуб С. Лекић, Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, <http://orcid.org/0000-0002-4834-3550>,
- др Василије М. Мановић, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, United Kingdom, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>,
- потпуковник ванр. проф. др Јаромир Марес, Универзитет одбране у Брну, Чешка Република, <http://orcid.org/0000-0002-1337-3821>,
- академик Градимир В. Миловановић, Српска академија наука и уметности, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>,
- ванр. проф. др Penumarthy Parvateesam Murthy, University Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Department of Pure and Applied Mathematics, Bilaspur (Chhattisgarh), India, <http://orcid.org/0000-0003-3745-4607>,
- научни саветник др Предраг Петровић, Институт за телекомуникације и електронику ИРИТЕЛ АД, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-0455-7506>,
- проф. др Славко Ј. Покорни, Висока школа за информационе технологије, рачунарски дизајн и савремено пословање, Београд, <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>,
- проф. др Стојан Раденовић, Универзитет у Београду, Машински факултет, <http://orcid.org/0000-0001-8254-6688>,
- проф. др Андреја Самчовић, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, <http://orcid.org/0000-0001-6432-2816>,
- проф. др Јонел Старецу, 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 Д. Трајановић, Универзитет у Нишу, Машински факултет, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>,
- проф. др Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская федерация (Vladimir State University, Vladimir, Russian Federation), <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>,
- потпуковник др Небојша Н. 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: vojnotechnicki.glasnik@mod.gov.rs

Преплата 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 изора у пуном тексту. Комплетан текст *Војнотехничког гласника* доступан је у базама података EBSCO Publishing-а.

Штампа: Војна штампарија – Београд, Ресавска 406, 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 3241 311, +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>.

– Генерал майор профессор д-р Младен Вуруна, ректор Университета обороны в г. Белграде, заместитель председателя Совета редакторов, <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>.

– Полковник профессор д-р Миленко Андрич, Университет обороны в г. Белград, Военная академия, <http://orcid.org/0000-0001-9038-0876>.

– кандидат наук Sergei A. Argunov, Гидрографическое общество, Санкт-Петербург, Российская федерация, <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>.

– Профессор д-р Ismat Beq, Lahore School of Economics, Lahore, Pakistan, <http://orcid.org/0000-0002-4191-1498>.

– 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>.

– Профессор д-р Саня Вранеш, Институт «Михайло Пупин», Белград, <http://orcid.org/0000-0002-7054-6928>.

– 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>.

– Профессор д-р Желько Джурович, Белградский университет, Электротехнический факультет, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>.

– Д-р Никола П. Жегараш, Сербская академия изобретателей и ученых, Белград, <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>.

– Профессор д-р Алекса Зейак, Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>.

– Д-р Вукица М. Иванович, 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 Бранко Ковачевич, Белградский университет, Электротехнический факультет, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>.

– Д-р Саня Л. Корица, Университет «Унион – Никола Тесла», г. Белград, <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>.

– Научный советник д-р Анна Костов, Институт горного дела и металлургии, г. Боп, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>.

– Д-р Славолюб С. Пекич, Белградский университет, Факультет сельского хозяйства, <http://orcid.org/0000-0002-4834-3550>.

– Д-р Василий М. Манювич, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>.

– Подполковник д-р Яромир Марес, Университет обороны в г. Брно, Чехия, <http://orcid.org/0000-0002-1337-3821>

– Профессор д-р Градимир В. Милованович, член Сербской академии наук, Белград, <http://orcid.org/0000-0002-3255-8127>.

– Д-р Penumarthi Parvateesam Murthy, University Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Department of Pure and Applied Mathematics, Bilaspur (Chhattisgarh), India, <http://orcid.org/0000-0003-3745-4607>.

– 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>.

– Профессор д-р Стоян Раденович, Белградский университет, Факультет машиностроения, <http://orcid.org/0000-0001-8254-6688>.

– Профессор д-р Андрея Самчович, Белградский университет, Факультет транспорта, <http://orcid.org/0000-0001-6432-2816>.

– Профессор д-р Йонел Старецу, 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 Georesources and Materials

Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Deutschland, <http://orcid.org/0000-0002-1752-5378>.

– Профессор д-р Мирослав Траянович, Университет в г. Ниш, Факультет машиностроения,

<http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>.

– Профессор д-р Владимир Чернов, Владимирский государственный университет, Владимир, Российская

федерация, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>.

– Подполковник кандидат 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

Журнала выпускается ежеквартально

Первый номер Военно-технического вестника выпущен 1.1.1953 года.

Первая электронная версия журнала размещена на интернет странице 1.1.2011 года.

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

Печатает: Война штампарија – Београд, Ресавска 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 3241 311, +381 64 80 80 118, <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

EDITORIAL BOARD

- Major General *Boian Zrnić*, PhD, Professor, Ministry of Defence, Head of the Department for Defence Technologies, Material Resources Sector, Belgrade (Head of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0002-0961-993X>
- Major General *Mladen Vuruna*, PhD, Professor, Rector of the University of Defence, Belgrade (Deputy Head of the Editorial Board), <http://orcid.org/0000-0002-3558-4312>
- Colonel *Milenko Andrić*, PhD, Professor, University of Defence in Belgrade, Military Academy, <http://orcid.org/0000-0001-9038-0876>
- *Sereei A. Arunov*, MSc, Hydrographic society, St. Petersburg, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-5264-6634>
- Professor *Ismat Beg*, PhD, Lahore School of Economics, Lahore, Pakistan, <http://orcid.org/0000-0002-4191-1498>
- *Stevan M. Berber*, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, <http://orcid.org/0000-0002-2432-3088>
- Professor *Vladimir Chernov*, DSc, Vladimir State University, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-1830-2261>
- Professor *Aleksandr V. Dorohov*, PhD, Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine, <http://orcid.org/0000-0002-0737-8714>
- Professor *Željko Đurović*, PhD, University in Belgrade, Faculty of Electrical Engineering, <http://orcid.org/0000-0002-6076-442X>
- Professor *Leonid I. Gretchihin*, PhD, Minsk State Higher Aviation College, Minsk, Republic of Belarus, <http://orcid.org/0000-0002-5358-9037>
- *Vukica M. Jovanović*, PhD, Trine University, Allen School of Engineering and Technology, Department of Engineering Technology, Anqola, Indiana, USA, <http://orcid.org/0000-0002-8626-903X>
- Assistant Professor *Sanja Li. Korica*, PhD, University Union - Nikola Tesla, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-7915-9430>
- Scientific Advisor *Ana Kostov*, PhD, Institute of Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, <http://orcid.org/0000-0003-1893-7187>
- Professor *Branko Kovačević*, PhD, University of Belgrade, Faculty of Electrical Engineering, <http://orcid.org/0000-0001-9334-9639>
- Associate Professor *Slavoljub S. Lekić*, PhD, University of Belgrade, Faculty of Agriculture, <http://orcid.org/0000-0002-4834-3550>
- *Vasilije M. Manović*, PhD, Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK, <http://orcid.org/0000-0002-8377-7717>
- Lt Colonel *Jaromir Mares*, PhD, Associate Professor, University of Defence in Brno, Czech Republic, <http://orcid.org/0000-0002-1337-3821>
- 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>
- Associate Professor *Penumarthi Parvateesam Murthy*, PhD, University Guru Ghasidas Vishwavidyalaya, Department of Pure and Applied Mathematics, Bilaspur (Chhattisgarh), India, <http://orcid.org/0000-0003-3745-4607>,
- 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>
- Professor *Stojan N. Radenović*, PhD, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, <http://orcid.org/0000-0001-8254-6688>,
- Professor *Andreja Samčović*, PhD, University of Belgrade, Faculty of Transport, <http://orcid.org/0000-0001-6432-2816>,
- Professor *Ionel Staretu*, PhD, Transilvania University of Brasov, Romania, <http://orcid.org/0000-0001-5947-7557>
- Scientific Advisor *Srećko S. Stopić*, 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, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, <http://orcid.org/0000-0002-3325-0933>
- Professor *Sanja Vraneš*, PhD, Institute "Mihailo Pupin", Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-7054-6928>
- Professor *Aleksa Zejak*, PhD, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, <http://orcid.org/0000-0001-5114-2867>
- *Nikola P. Žegarac*, PhD, Serbian Academy of Inventors and Scientists, Belgrade, <http://orcid.org/0000-0002-1766-8184>
- Lt Colonel *Nebojša Gačeša*, MSc, Editor of the Military 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

УВОДНИК

Небојша Н. Гаћеша

65 година Војнотехничког гласника – изјава захвалности 591-601

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ

Јан Дрозд, Здењек Фласар, Петр Стодола

Коришћење савремених технологија за припрему и управљање борбеним јединицама 602-616

Веселин М. Рмуш

Конструкције квадратуре круга, удвајања коцке и трисекције угла 617-640

Малиша Р. Жижовић, Катарина Г. Плећић

Вишекритеријумска оцена могућих примена рачунарских игара у настави 641-650

Миодраг З. Маловић, Љиљана М. Брајовић, Томислав Б. Шекара

Компензација попречне осетљивости МЕМС акцелерометра методом тилт-теста у 24 позиције 651-661

Михаило Р. Мрдак

Својства превлаке депоноване дифузионо оксидираним прахом MoO_2 применом APS процеса 662-672

Никола П. Жегарац

Унапређење техничког одржавања система мини-хидроелектрана, анализа узрока неисправности, кварова, отказа у раду и хаварија 673-702

Миле П. Ранђеловић, Бојан Ч. Милановић

Израда таблице за бодовање остварених резултата кадеткиња Војне академије у тесту савлађивања полигона пешадијских препрека 703-718

ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ

Љиљана Р. Пауновић

Експлицитни изрази уопштених Стилтјесових полинома 719-730

Љиљана З. Милетић, Аца Д. Јовановић, Филип П. Јовановић, Весна В. Буха

Пројектовање приоритетних база података за QMS на основу стандарда ISO 9001: 2015 731-757

СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ

Обрад Т. Чабаркапа, Душан С. Рајић

Побољшање техничких карактеристика аутомобила цистерне за деконтаминацију помоћу ТРИЗ-а 758-770

Радомир И. Продановић, Иван Б. Вулић

Тачке отказа у РКI архитектури 771-784

Небојша Д. Ђорђевић

Евалуација употребљивости веб апликација 785-802

ПРИКАЗИ

Славко Ј. Покорни

7. међународни научно-стручни скуп из области одбрамбених технологија ОТЕХ-2016 (приказ зборника радова) 803-810

САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА

Драган М. Вучковић, Милош М. Јевтић

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА 833-849

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКЦИОННАЯ СТАТЬЯ

Небойша Н. Гачеша

65-летие журнала «Военно-технический вестник» – выражение благодарности 591-601

ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Ян Дрозд, Зденек Фласар, Петр Стодола

Применение современных технологий в учениях и управлении боевыми подразделениями..... 602-616

Веселин М. Рмуш

Конструкции квадратура круга, удвоение куба и трисекция угла..... 617-640

Малиша Р. Жижович, Катарина Г. Плечич

Многокритериальный анализ возможностей применения компьютерных игр в процессе обучения..... 641-650

Миодраг З. Малович, Лиляна М. Брайович, Томислав Б. Шекара

Компенсация поперечной чувствительности МЭМС акселерометров с помощью тестирования статичного угла наклона, проведенного в 24-ех позициях 651-661

Михаило Р. Мрдак

Свойства покрытия, нанесенного диффузионным оксидным порошком MoO₂ методом APS..... 662-672

Никола П. Жегарац

Повышение качества технического обслуживания систем мини ГЭС и анализ причин их выхода из строя, сбоев и аварий 673-702

Миле П. Ранджелович, Боян Ч. Миланович

Разработка оценочной таблицы результатов, осуществленных курсантами Военной академии, по тестированию прохождения препятственной полосы 703-718

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Лиляна Р. Паунович

Эксплицитные выражения для обобщенных подмножеств Стилтеса 719-730

Лиляна З. Милетич, Аца Д. Йованович, Филипп П. Йованович, Весна В. Буха

Проектирование приоритетных баз данных для системы менеджмента качества (QMS), в соответствии с ИСО 9001: 2015 731-757

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Обрад Т. Чабаркапа, Душан С. Раич

Улучшение технических характеристик автоцистерны для деконтаминации, с помощью ТРИЗ методологии 758-770

Радомир И. Проданович, Иван Б. Вулич

Точки отказа в РКI архитектуре 771-784

Небойша Д. Джорджевич

Оценка удобства использования Веб-приложений..... 785-802

ОБЗОРЫ

Славко Й. Покорни

Седьмая международная научная военно-техническая конференция OTEX-2016 (обзор сборника статей) 803-810

СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Драган М. Вучкович, Милош М. Йевтич

ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ 811-832

833-849

CONTENTS

EDITORIAL

Nebojša N. Gaćeša

65 years of the Military Technical Courier – acknowledgments..... 591-601

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

Jan Drozd, Zdeněk Flasar, Petr Stodola

Use of modern technologies for combat units preparation and management 602-616

Veselin M. Rmuš

Constructions of squaring the circle, doubling the cube and angle trisection 617-640

Mališa R. Žižović, Katarina G. Plečić

Muticriteria assesment of possible use of computer games in teaching..... 641-650

Miodrag Z. Malović, Ljiljana M. Brajović, Tomislav B. Šekara

Twenty-four position tilt test for accelerometer cross-axial sensitivity compensation..... 651-661

Mihailo R. Mrdak

Properties of the coating deposited with the diffusion of Mo&O₂ oxidized powder
using the APS process 662-672

Nikola P. Žegarac

Improving technical maintenance of systems of mini hydropower plants - analysis
of causes of malfunctions, faults, failures and system failures 673-702

Mile P. Randelović, Bojan Č. Milanović

Table of obstacle course scoring results for Military academy female cadets..... 703-718

REVIEW PAPERS

Ljiljana R. Paunović

Explicit expressions of the generalized Stieltjes polynomial..... 719-730

Ljiljana Z. Miletić, Aca D. Jovanović, Filip P. Jovanović, Vesna V. Buha

Designing priority databases for QMS according to ISO 9001: 2015 standard 731-757

PROFESSIONAL PAPERS

Obrad T. Čabarkapa, Dušan S. Rajić

Improving the technical characteristics of a decontamination tanker with the
help of TRIZ 758-770

Radomir I. Prodanović, Ivan B. Vulić

Failure points in the PKI architecture..... 771-784

Nebojša D. Đorđević

Evaluation of the usability of Web-based applications..... 785-802

REVIEWS

Slavko J. Pokorni

7th International scientific conference on defensive technologies OTEH-2016
(proceedings review) 803-810

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Dragan M. Vučković, Miloš M. Jevtić

..... 811-832

CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 833-849

УВОДНИК

РЕДАКЦИОННАЯ СТАТЬЯ

EDITORIAL

65 YEARS OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER – ACKNOWLEDGMENTS

Nebojša N. Gaćeša

Ministry of Defence of the Republic of Serbia,
Belgrade, Republic of Serbia,

e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3217-6513>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13867>

ARTICLE TYPE: editorial, acknowledgments

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

This editorial marks the jubilee which the scientific journal Military Technical Courier celebrates in 2017 - 65 years of regular and continuous publication. On this occasion, the Editorial Office expresses gratitude to individuals and institutions who have contributed most to the progress and success of the journal.

Key words: Military Technical Courier, scientific journal, jubilee, sixty fifth anniversary, acknowledgments.

In 2017, the Military Technical Courier, a scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia, marks the 65th anniversary of its regular and continuous publishing.

The journal was founded by a decree of the Chief of the General Staff of the Yugoslav Army in August 1952 in order to continue the tradition of five reviews of military branches and services (Artillery Courier, Tank Courier, Military Engineering Courier, Courier of Communications in the Yugoslav Army and Logistics and Support of the Yugoslav Army) which had been covering tactics and technique issues from 1947 to 1952. According to the founding act, the main tasks of the Military Technical Courier were “to analyze and study issues regarding armament, technical and other material equipment of the branches and services concerning the

knowledge of the materials, their handling, application, effects, storage, repair and upgrading as well as to deal with technical issues of the organisation, war experience of logistic services and military traffic and evacuation.” Chief of the General Staff’s decree of 16th December 1952 founding the first editorial board that “has a directive to be responsible for the review editing” was followed by the first issue of the Military Technical Courier in January 1953.

The Military Technical Courier follows in the footsteps of the outstanding military technical publications published in our previous countries (in the Kingdom of Serbia and Kingdom of Yugoslavia): Artillery and Engineering Courier (1905-1906), Artillery Courier (1926-1932), Infantry and Artillery Courier (1933-1941), Engineering Courier (1929-1940), Aviation Courier (1927-1941) and Nautical Courier (1933-1940). There is no doubt that their quality and professional profiles paved the way to today’s Military Technical Courier (Gaćeša, 2012, pp.7-13).

On the occasion of the journal’s 60th anniversary of the publication, marked in 2012, we listed the most significant results in its editorial policy from its foundation in 1953 until 2012 (Gaćeša, Jovanović, 2012, pp.20-45).

Taking this opportunity, we would like to emphasize several important achievements realized in the period from 2012 to 2016.

Since 7th July 2014, the journal has been indexed and visible in the ROAD. ROAD, the Directory of Open Access Scholarly Resources, is a service offered by the ISSN International Centre with the support of the Communication and Information Sector of UNESCO.

Also, since 23rd July 2014, the journal has been indexed, referred to and available in the Directory of Open Access Journals (DOAJ). The DOAJ is an online directory that indexes and provides access to quality open access, peer-reviewed journals. Additionally, the DOAJ awarded the Seal label to the Military Technical Courier on 20th July 2016. The DOAJ Seal is a mark of certification for open access journals, awarded by the DOAJ (in accordance with standard criteria) to journals already in its base that achieve an additionally high level of openness, adhering to Best Practice and high publishing standards. The Military Technical Courier has thus become the first journal in the Republic of Serbia with this prestigious designation.

Since 18th February 2015, the journal has been indexed in the Russian Scientific Electronic Library (eLIBRARY.RU) and the Russian Science Citation Index (RSCI), as the first scientific journal from Serbia indexed in the RSCI.

As of 27 November 2015, the Military Technical Courier is a member of OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association).

In this year’s Bibliometric Report, as well as in its 2012, 2013 and 2014 Reports, the Center for Evaluation in Education and Science (CEON) marked the Military Technical Courier with “kk (quality control through the

CEON Aseestant system)” which represents the controlled quality of a journal in this evaluation system. The Military Technical Courier is one of the first journals in the Serbian Citation Index to obtain it.

On the occasion of this year's jubilee, the Editorial Office expresses gratitude to individuals and institutions who, through their dedication, commitment and assistance, have provided the continuity and progress of the journal in the past period. Our special appreciation for their unstinting support in achieving the criteria for raising the quality of editorial work and journal's visibility is extended to the following colleagues and associates:

- Nikola Stanić, CEON – Center for Evaluation in Education and Science (Serbian Citation Index),
- Emma Mandich (Эмма Мандыч), Victor Gluhov (Виктор Глухов), Evegenia Shepelova, (Евгения Шепелёва), eLIBRARY.RU – Russian Scientific Electronic Library (RSCI - Russian Science Citation Index),
- Anastasia Nesterova (Анастасия Нестерова), Publisher "Lan" - Electronic Library System,
- Julia Malsagova, CyberLeninka – Scientific Electronic Open Access Library,
- Sonja Brage, DOAJ - Directory of Open Access Journals,
- Claire Redhead, OASPA - Open Access Scholarly Publishers Association),
- Slavko Pokorni and Stojan Radenović, members of the Editorial Board and reviewers,
- Dobrila Miletić, Serbian language editing and proofreading,
- Jasna Višnjić (English language editing and translating), Karina Avagyan (Russian language editing and translating), Dragan Vučković (French language editing and translating),
- Danijela Protić, General Staff of the Serbian Armed Forces – Center for Applied Mathematics and Electronics,
- Ivica Ocokoljić, General Staff of the Serbian Armed Forces - Center for the command and information systems.

The Editorial Office is also grateful to all the authors who have put their trust in the Military Technical Courier as well as to previous editors, involved reviewers and members of the editorial boards whose longtime commitment obligates the current and future members of the Editorial Office to work persistently on the further improvement of the journal, especially on increasing the journal's bibliometric quality and impact in both Serbian and international academic community.

References

Gaćeša, N., 2012. Sixty years of the Military Technical Courier: A jubilee in sight. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(1), pp.7-13.

Gaćeša, N., Jovanović, Z., 2012. Sixty years of the Military Technical Courier: Tradition as a pledge of the future. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 60(4), pp.20-45.



65-ЛЕТИЕ ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК» – ВЫРАЖЕНИЕ БЛАГОДАРНОСТИ

Небойша Н. Гачеша
Министерство обороны Республики Сербия,
г. Белград, Республика Сербия

ВИД СТАТЬИ: редакционная статья, выражение благодарности
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Данная редакционная статья представляет обзор, посвященный юбилею научного журнала «Военно-технический вестник», который в 2017 году отмечает 65-летие непрерывной редакционно-издательской и публицистической деятельности. В связи с этой знаменательной датой, редакция журнала выражает глубокую благодарность лицам и организациям, которые способствовали прогрессу и успеху журнала на протяжении его существования.

Ключевые слова: Военно-технический вестник, научный журнал, юбилей, шестьдесят пятая годовщина, благодарность.

«Военно-технический вестник» – журнал Министерства обороны Республики Сербия в 2017 году отмечает 65-летие своей непрерывной редакционно-издательской и публицистической деятельности.

Журнал учрежден согласно Приказу начальника Генштаба ЮНА (Югославская Народная Армия), от 27-ого августа 1952 года, в качестве журнала который продолжит успешную работу периодических изданий: «Артиллерийский вестник», «Танковый вестник», «Военно-инженерный вестник», «Вестник связей Югославской армии» и «Тыл и снабжение Югославской армии», выпускаемых в период с 1947 по 1952гг. Приказом об учреждении журнала «Военно-технический вестник» определены его основные задачи, а именно: «освещать вопросы развития техники, вооружения и оборудования вооруженных сил, в том числе их использования, хранения и устранения неисправностей, а также вопросы организационного характера в области тылового и технического обеспечения войск». В соответствии с Приказом Генштаба ЮНА от 16-ого декабря 1952 года создан и первый Редакционный совет – орган руководящий журналом. Первый номер журнала «Военно-технический вестник» вышел в январе 1953 года.

«Военно-технический вестник» продолжает традицию выдающихся публикаций военно-технического характера, которые выходили еще во времена существования Королевства Сербия и Королевства Югославия, в виде журналов: «Инженерно-артиллерийский вестник» (1905-1906), Артиллерийский вестник (1926–1932), «Сухопутно-артиллерийский вестник» (1933–1941), «Инженерный вестник» (1929–1940), «Вестник военно-воздушных сил» (1927–1941), «Вестник военно-морских сил» (1933–1940). Эти журналы своим качеством, несомненно, положили фундамент и проложили путь, способствуя скорому развитию журнала «Военно-технический вестник» (Gaćeša, 2012, pp.7-13).

В 2012 году, когда мы отмечали 60-летие журнала были приведены наиболее значимые события и результаты долголетней работы, была описана редакционная политика журнала, благодаря которой осуществлен ряд высоких достижений (Gaćeša, Jovanović, 2012, pp.20-45).

За последние несколько лет (2012-2016) осуществлен целый ряд важных достижений, некоторые из них подчеркиваем с особой гордостью и удовольствием.

Так, например, «Военно-технический вестник» с 7 июля 2014 года проиндексирован и размещен в Директории научных ресурсов открытого доступа ROAD (the Directory of Open Access scholarly Resources). Сервис ROAD запущен Международным центром ISSN при поддержке Сектора коммуникации и информации UNESCO.

Также, 23 июля 2014 года проведено индексирование, реферирование и размещение журнала в международной базе данных каталога открытого доступа DOAJ (Directory of Open Access Journals). DOAJ – директория журналов открытого доступа, которая индексирует и обеспечивает свободный доступ к полным текстам рецензированных научных и

академических журналов. Директорией DOAJ 20 июля 2016 года присвоил журналу «Военно-технический вестник» знак качества “Seal (Печать)”. DOAJ Seal – это знак, который в качестве признания достижений публикации, DOAJ присваивается, предварительно индексированным в его основной базе, журналам (в соответствии со стандартными критериями), соответствующим высокому уровню редакционных стандартов и отличившихся наилучшей практикой (Best Practice). Таким образом, журнал «Военно-технический вестник» является первой публикацией из Республики Сербия, удостоенной данного престижного признания DOAJ Seal.

Журнал с 18.02.2015г. интегрирован с Научной электронной библиотекой (eLIBRARY.RU), а также с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ), как первый сербский научный журнал, размещенный в РИНЦ.

27 ноября 2015 года журнал стал членом Ассоциации издателей научных изданий открытого доступа - OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association).

Центр по эвальвации в области науки и образования (ЦЕОН) в Библиометрическом отчете текущего года, а также в отчетах за 2012г, 2013г. и 2014г. присвоил журналу «Военно-технический вестник» знак качества «кк» (контроль качества путем приложения ЦЕОН Ассистент)». Данным знаком обозначается контрольное качество публикации в системе эвальвации. Журнал «Военно-технический вестник» является одной из первых публикаций в Сербском индексе научного цитирования, удостоенной присвоения данного знака.

По случаю юбилея, Редакция журнала выражает глубокую благодарность лицам и учреждениям, которые своей самоотверженной и преданной работой внесли большой вклад в развитие журнала и способствовали повышению его качества. Отдельную благодарность за большую поддержку, которую оказали нам в достижении критериев по повышению качества редакционной работы и узнаваемости журнала, выражаем нашим партнерам, коллегам и сотрудникам:

- Николе Станичу, ЦЕОН – Центр по эвальвации в области науки и образования (Сербский индекс цитирования),
- Эмме Мандыч, Виктору Глухову, Евгении Шепелёвой, eLIBRARY.RU - Научна електронска библиотека (РИНЦ - Российский индекс научного цитирования),
- Анастасии Нестеровой, Издательство «Лань» - Электронно-библиотечная система,
- Юлии Мальсаговой, КиберЛенинка - научная электронная библиотека открытого доступа,
- Соне Браге (Sonja Brage), DOAJ - Директория журналов открытого доступа (DOAJ - Directory of Open Access Journals),

- Клер Редхед (Claire Redhead), ОАСПА – Ассоциация издателей научных изданий открытого доступа (OASPA - Open Access Scholarly Publishers Association),
- Членам редакционного совета и рецензентам: Славку Покорни и Стояну Раденовичу,
- Добриле Милетич - корректор (сербский язык),
- Переводчикам и корректорам:
Ясне Вишнич (английский и сербский языки),
Карине Авагян (русский и сербский языки),
Драгану Вучковичу (французский и сербский языки),
- Даниэле Протич, Вооруженные силы Республики Сербия, Генштаб - Центр прикладной математики и электроники,
- Ивице Оцоколичу, Вооруженные силы Республики Сербия, Генштаб - Центр командно-информационных систем.

Особую благодарность редакция выражает всем авторам, оказавшим доверие журналу „Военно-технический вестник“ публикуя в нем свои работы, а также предыдущим редакторам, рецензентам и членам редколлегии, пожертвовавший долготелетний труд которых обязывает всех членов редколлегии, как в настоящее время, так и в будущем, усердно трудиться в направлении совершенствования журнала, особенно в плане библиометрического распространения и влияния на сербское и международное академическое сообщество.



65 ГОДИНА „ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА“ – ИЗЈАВА ЗАХВАЛНОСТИ

Небојша Н. Гаћеша

Министарство одбране Републике Србије, Београд, Република Србија

ВРСТА ЧЛАНКА: уводник, изјава захвалности

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Уводник представља осврт на јубилеј који научни часопис „Војнотехнички гласник“ обележава у 2017. години – шездесет пет година редовног и непрекидног излажења. Тим поводом редакција упућује изјаву захвалности лицима и установама који су највише допринели напретку и успеху часописа у протеклом периоду.

Кључне речи: Војнотехнички гласник, научни часопис, јубилеј, шездесет пета годишњица, захвалност.

„Војнотехнички гласник“, научни часопис Министарства одбране Републике Србије, у 2017. години обележава шездесет пету годишњицу свог редовног и непрекидног излажења.

Часопис је основан Наредбом начелника Генералштаба ЈНА од 27. августа 1952. године, као настављач традиције пет дотадашњих часописа родова и служби: Артиљеријског, Тенковског и Инжињеријског гласника, Гласника веза ЈА и Позадине и снабдевања ЈА, који су излазили у периоду од 1947. до 1952. године, и објављивали садржаје из тактике и технике. Оснивачким актом дефинисани су и основни задаци „Војнотехничког гласника“: „да разматра и проучава питања у вези са наоружањем, техничком и осталом материјалном опремом родова и служби у погледу познавања, руковања, употребе, дејстава, чувања, отклањања неисправности и усавршавања материјала, као и да расветљава техничка питања организације, ратна искуства позадинских служби и војног саобраћаја и евакуације.“ Наредбом начелника Генералштаба ЈНА од 16. децембра 1952. године формиран је и први уређивачки одбор „који у директивном смислу руководи уређивањем часописа“, а први број „Војнотехничког гласника“ изашао је из штампе у јануару 1953. године.

„Војнотехнички гласник“ наставља и традицију изузетних публикација војнотехничког карактера које су излазиле у нашим ранијим државама (Краљевини Србији и Краљевини Југославији): Артилериско-инжињерски гласник (1905–1906), Артиљериски гласник (1926–1932), Пешадиско-артилериски гласник (1933–1941), Инжињеријски гласник (1929–1940), Ваздухопловни гласник (1927–1941) и Морнарички гласник (1933–1940). Ови часописи су својим стручним профилем и квалитетом несумњиво утрли пут и данашњем „Војнотехничком гласнику“ (Гаћеша, 2012, рр.7-13).

Поводом 60. годишњице излажења часописа која је обележена 2012. године навели смо најзначајније резултате у његовој уређивачкој политици

који су остварени од оснивања до 2012. године (Gaćeša, Jovanović, 2012, pp.20-45).

Овом приликом истичемо неколико важних достигнућа остварених у периоду од 2012. до 2016. године.

Војнотехнички гласник је од 7. јула 2014. године индексиран и видљив у директорију научних ресурса са отвореним приступом ROAD (Directory of Open Access scholarly Resources). Сервис ROAD одржава ISSN међународни центар уз подршку Сектора за комуникације и информисање UNESCO.

Такође, часопис је од 23. јула 2014. године индексиран, реферисан и доступан и у директорију часописа отвореног приступа DOAJ (Directory of Open Access Journals) који индексира и обезбеђује приступ квалитетним и рецензираним научним часописима отвореног приступа. Директориј DOAJ је, 20. јула 2016. године, „Војнотехничком гласнику” доделио ознаку „Seal” (печат), која се додељује већ претходно индексираним часописима у њиховој основној бази (у складу са стандардним критеријумима), а који се додатно придржавају изузетно високих нивоа издавачких стандарда и најбоље издавачке праксе (Best Practice), што представља признање тим напорима. Тако је „Војнотехнички гласник” постао први часопис из Републике Србије којем је DOAJ доделио ову престижну ознаку.

Од 18. фебруара 2015. године часопис је индексиран у руској Научној електронској библиотеци (eLIBRARY.RU) и Руском индексу научног цитирања (РИНЦ) као први научни часопис из Републике Србије.

Дана 27. новембра 2015. године часопис је постао члан Удружења издавача научних публикација отвореног приступа – OASPA (Open Access Scholarly Publishers Association).

Центар за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН) је и у овогодишњем Библиометријском извештају, као и у извештајима за 2012, 2013. и 2014. годину доделио „Војнотехничком гласнику” ознаку „кк (контрола квалитета посредством ЦЕОН Асистента)” која означава контролисани квалитет часописа у систему евалуације. „Војнотехнички гласник” је један од првих часописа у Српском цитатном индексу који је добио ову ознаку.

Поводом овогодишњег јубилеја редакција упућује изјаву захвалности лицима и установама који су својим залагањем, ангажовањем и пруженом помоћи допринели одржању и напретку часописа у протеклом периоду. Посебно се захваљујемо за велику подршку коју су нам, у достизању критеријума за подизање квалитета уређивачког рада и препознатљивост часописа, пружили колеге и сарадници:

- Никола Станић, ЦЕОН – Центар за евалуацију у образовању и науци (Српски цитатни индекс),
- Ема Мандич (Эмма Мандыч), Виктор Глухов, Евгенија Шепелјова (Евгения Шепелёва), eLIBRARY.RU – Научна електронска библиотека (РИНЦ - Руски индекс научног цитирања),

- Анастасија Нестерова (Анастасия Нестерова), Издавач „Лан“ – Електронски библиотекарски систем,
- Јулија Маљсагова (Юлия Мальсагова), CyberLeninka – Научна електронска библиотека отвореног приступа,
- Соња Браге (Sonja Brage), ДОАЈ – Директориј часописа отвореног приступа (DOAJ - Directory of Open Access Journals),
- Клер Редхед (Claire Redhead), ОАСПА – Удружење издавача научних публикација отвореног приступа (OASPA – Open Access Scholarly Publishers Association),
- Славко Покорни и Стојан Раденовић, чланови Уређивачког одбора и рецензенти Војнотехничког гласника,
- Добрила Милетић, лектор за српски језик,
- Јасна Вишњић (преводилац и лектор за енглески језик), Карина Авајан (преводилац и лектор за руски језик), Драган Вучковић (преводилац и лектор за француски језик),
- Данијела Протић, Генералштаб Војске Србије – Центар за примењену математику и електронику,
- Ивица Оцокољић, Генералштаб Војске Србије – Центар за командно-информационе системе.

Редакција се, такође, захваљује свим ауторима који су указали поверење „Војнотехничком гласнику“, као и претходним уредницима, те ангажованим рецензентима и члановима уређивачких одбора, чији дугогодишњи пожртвовани рад обавезује садашње и будуће чланове редакције да истрајно раде на даљем унапређењу часописа, посебно на повећању библиометријског квалитета и утицајности у српској и међународној академској заједници.



Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 03.05.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 15.05.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 17.05.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ
ОРИГИНАЛНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

USE OF MODERN TECHNOLOGIES FOR COMBAT UNITS PREPARATION AND MANAGEMENT

Jan Drozd^a, Zdeněk Flasar^b, Petr Stodola^c

University of Defence in Brno, Faculty of Military Leadership,
Tactics Department, Brno, Czech Republic

^a e-mail: jan.drozd@unob.cz,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3257-0473>

^b e-mail: zdenek.flasar@unob.cz,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3328-1879>

^c e-mail: petr.stodola@unob.cz,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2251-8711>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13912>

FIELD: Military Science

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The paper discusses possible applications and benefits of modern technology in the preparation and management of operations (activities, combat activities). In the process of preparations and operations management, combat modeling plays an important role within the activities of military commanders and their staff. Standard combat modeling could be incorporated into the collaboration management of all components. At the staff level, the combat modeling is considered as a war game, which is part of optimal variant selection and confirmation of friendly forces action.

Key words: UAV, autonomous system, tactical activities, combat preparation, combat modeling.

Introduction

Using modern technology in current and future operations of any nature is an essential part of the consideration of military and non-military experts. The basic attribute of this consideration is whether (and how) these technical means will bring the "added value" in the operation preparation and execution phases. These "added values" include in particular:

- Faster, more accurate and more powerful information gaining, capable to be evaluated in the operation preparation and execution phases.
- Highly variable combat modeling to facilitate commander's and staff member's environment for finding the optimal solution of combat situations.
- Complete or partial replacement of human potential, including transportation and the use of autonomous weapons systems in the operation area.
- A number of other time-space and numerous different benefits that may ultimately deter adversaries from their intentions.

The authors of the paper deal with certain aspects of the use of UAVs, autonomous vehicles and combat equipment for the preparation and management of selected tactical activities. A training of the students of the University of Defense was carried out without technical means in the military training area Dědice in June 2016. At the end of 2016, within the International Forum of the Future Forces Forum, a UAV - drone and an autonomous agent TAROS were used for a raid preparation in the exhibition space in Prague. The results of this exercise (experiment) showed that the use of the drone and the TAROS significantly improved the quality of commander's information flow in the preparation and execution phases of the raid and shortened the time needed to plan the combat and accomplish the mission.

Since the beginning of the 21st century, significant progress in the Czech Army was made in the so-called project "Soldier of the 21st century." The following requirements were formulated as the key capabilities of the project:

- Destructiveness - includes guns, ammunition, identification and optoelectronic devices and external elements of fire.
- Sustainability - is a requirement related to the ability of three to five-day action of the soldier on the battlefield, including the operability of information systems and their energy sources; this requirement also includes survivability of the soldier in terms of feeding.
- Mobility - the ability of airdrop and efficient movement in difficult terrains for orientation, including built-up areas.

- Soldier safety and survival - combat identification, protective camouflage and protection against weapons of mass destruction.
- Communication skills - communication technologies, control units and, for example, the warning system under the acronym C4I (Soldier of the 21st century / Voják 21 století, 2006).

A very important requirement for the implementation of technical means used by soldiers in combat is their relatively simple and user-friendly usage. Even the experience of advanced armies in the world shows that, if a soldier is extremely dependable on a device he uses and, in many cases, directly carries on his body, the equipment may be misused, i.e. that a soldier is simply unable and unwilling to use these devices in full spectrum. Instead to focus on his primary task - observation, searching and destroying the enemy - his attention is disrupted by monitoring and checking the device.

Key features of the used UAV

In October (17 to 21) in 2016, the authors of the paper used Phantom 4, an industrially manufactured drone for tactical operations (Fig. 1), during the 12th Annual International Exhibition of Future Forces Forum 2016 in Prague 9 - Letňany. The assault team leader had a drone with permanent monitoring of the scanned image from his command-observation post during the preparation and execution phases of the raid.



Figure 1 – 1 DJI - Phantom 4 Pro (Dj Phantom 4 Pro, 2016)

Рис. 1 – Дрон Фантом 4 Про (DjPhantom 4 Pro, 2016)

Слика 1 – Дрон Фантом 4 Про (DjPhantom 4 Pro, 2016)

A camera on the drone is equipped with a 1-inch 20-megapixel sensor able to record video and take sequential pictures at 14 frames per second (Fig. 1). The Flight Autonomy system complements the rear pair of image

sensors and infrared sensors. The Phantom 4 Pro is thus capable of observing in five directions and is able to avoid obstacles in four directions. The drone may be normally 30 minutes in air with a range of operation of 7 km. Flight autonomy is extended to a set of stereo image sensors with high resolution, stored in the rear of the aircraft, complementing a pair of sensors at the front and side-placed infrared sensors to perceive obstacles. This connection creates a whole that is able to perceive obstacles in five directions and is able to avoid them in four directions. The remote controller of the Phantom 4 Pro is equipped with a modernized Lightbridge system for HD video transmission, which adds support for the transmission frequency of 5.8 GHz. The choice between 2.4GHz and 5.8GHz allows the pilot to avoid interference and reduces the delay image transmission in the areas with extensive use of 2.4GHz frequency. The Phantom 4 Pro assesses the level of surrounding interference and automatically selects the transmission frequency with the least interference. The battery life of the remote control is five hours.

The device is capable of intelligent flight. It employs new technology to enter its route. A flight path can be drawn quite simply on the Phantom 4 Pro screen and the drone will fly using this path maintaining the given altitude. This allows the pilot to concentrate on working with the camera and the creation of complex scenes. There are two modes that can be used in different cases:

- Standard - aircraft follows a route at a constant speed, the camera is rotated to the direction of flight.
- Free - aircraft follows a route only when directed. In this mode, the camera can shoot in any direction.

The Phantom 4 Pro automatically detects objects, follows them and films them in motion, which facilitates the creation of complex scenes. Advanced algorithms for image recognition used by the Phantom 4 Pro enable it to identify and track the subject keeping it engaged at the same time. This new algorithm also recognizes different types of objects, from people and vehicles to animals, etc., and adjusts the flight dynamics to achieve a smooth shot. The pilot can now choose between:

- Trace - tracking behind or in front of the subject, automatically avoiding obstacles.
- Profile - flight concurrently with the subject at various angles for getting a shot in profile.
- Spotlight - camera keeps the subject in the frame while the aircraft can fly almost anywhere.

The Phantom 4 Pro also has a "return home" function. This feature enables automatic selection of the best route to return to the initial conditions. During the flight, the drone records the path allowing its return along the same route and avoiding obstacles, even if the control signal is

interrupted. Depending on the height at the time of signal loss, the Phantom 4 Pro is also able to modify the flight path to avoid obstacles recorded during the flight. If the drone encounters any obstacles or if the landing zone is watered, it alerts the pilot at a convenient height for a safe landing.

The application DJI GO shows the status of the battery and calculates the remaining air time based on the distance traveled and other data. The application warns when reaching the minimum capacity needed to secure safe return back to the starting point. The battery is equipped with an advanced management system that prevents overcharging and total discharge. During long-term storage, batteries are needed to maintain long life automatically discharged to the storage voltage (Dj Phantom 4 Pro, 2016).

Combat modeling

After receiving the task from senior commanders at all levels, combat preparing and planning will start. Even though one of the phases of planning combat fighting is not called modeling, it is, in fact, a particular type of modeling.

In line with the existing and still valid Czech military regulations (Všeob-Ř-1, Vševojsk-1-2, Vševojsk-1-3, Vševojsk-1-4 and Vševojsk-1-5), commanders perform at some stage in the planning process a so-called organization of cooperation. The goal of this process is to tune up the efforts of all forces and resources that contribute to the fulfillment of the tasks and to achieve its uniform understanding. It is usually organized in accordance with tasks (or even multiple sub-tasks) and time lines. Depending on the available time, the commander can organize synergies by two methods:

- In case of (relatively) enough time, by so-called suggestions by commanders of subordinate units.
- In case of lack of time, using prescriptive – order of activities of subordinate units, forces and resources to play (model) situations.

The commander, preferably from a particular field in which the task will be performed, plays a possible situation on the battlefield and either directs how each friendly forces elements will respond to the situation, or ask subordinates for their solutions. From these solutions, the commander will then select the optimal one and determine how a situation will be solved during the combat.

Because this "modeling" is largely dependent on information about all the influences that act upon the decision of commanders, it is obvious that especially one of the major influences carries a certain degree of

inaccuracy and that one is the enemy situation. The commander has a very good overview about the situation of his/her own units, terrain and other influences; the enemy situation is always an estimate, which may differ from the actual situation. If this happens, the organization of cooperation during combat must be specified or organized again.

At the battalion level and above, at some stage of the military decision making process, so-called wargame is usually organized. And this is, in a sense, "modeling", which should confirm the optimal variant of the tactical activities.

During the military decision making process, staff members in particular use a series of models and programs to accelerate and refine decisionmaking and operations. These include visibility models of the terrain; selection of the optimal observation post, radio connection modeling, etc.

Some exercise aspects

Raid on the objective KOTARY

There was a three days exercise conducted by twelve students of the University of Defense in the military training area DĚdice in June 2016. The topic of the exercise was a raid on an objective controlled by the enemy. There was assault team deployment on a Friday afternoon (position 1 in Fig. 2) and the issuance of the operational order. The raid objective - a building Kotary artillery shooting range is indicated in Fig. 2, position 2 (detail in Fig. 3). The straight line distance between positions 1 and 2 is about 2.5 kilometers. If appropriate roads are used, the distance is about 3.5 kilometers.

The task of the team leader:

- Issue missions to take a stand attracting, preparation and securing the area.
- Began planning and, simultaneously with the start of planning, send two combat patrols (pairs) to the raid objective.
- After certain time, withdraw one combat patrol from the area of the raid in order to take the information about the objective and the enemy activities (the second combat patrol remains constantly at the spot in order to maintain updated information for the commander's decision).
- After the planning phase, issue the operation order to the assault team.
- Assault team moves to the objective.

- At the meeting point, take specific information from the commander of the combat patrol which remains at the spot and explain the tasks to the commanders of each subgroup.
- Report the readiness to carry out the raid to the superior command post.
- Within the given time, execute the raid and report fulfillment of the mission to the command post.
- Withdraw the assault team out of the raid area to the assembly area (again rank No. 1 in Fig. 2), where the tasks are evaluated.
- Move the assault team to the pickup point (outside Fig. 2), and set up a secure landing zone (imaginary) for the helicopter.
- After landing (imaginary helicopter), the assault team is transported to the thematically stable environment.

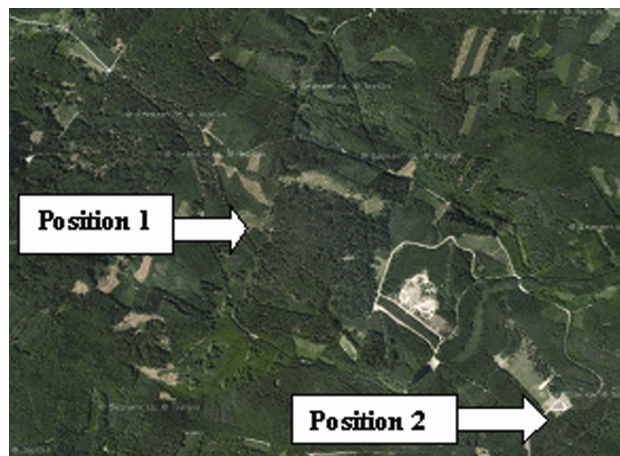


Figure 2 – The raid area
 Рис. 2 – Пункт нападения
 Слика 2 – Област напада

The conclusions from the exercise:

- The assault team spends a large part of the mission by moving to and from the objective (Fig. 3).
- Information obtained about the objective "just" by observation was not sufficiently detailed (direction and number of entries in each sub-object and their collateral, the number of persons in the enemy object).
- Information about the objective was not topical, neither in the planning phase nor in the execution phase.



Figure 3 – The objective
Рис. 3 – Цель
Слика 3 – Циљ

Raid on the objective Praha – Letňany

During the 12th International Exhibition Forum 2016 Future Force (17-21 October 2016), the authors demonstrated the use of modern technical means in the tactical activities by small teams (Fig. 4). The topic was also a raid on an objective held by enemy forces. The team leader had an available Phantom 4 Pro drone and the TAROS remotely controlled system.



Figure 4 – Assault team movement supported by the TAROS. The image taken by the drone controlled by the team leader.

Рис. 4 – Передвижение спецподразделения при поддержке ТАРОС. Фото, с помощью дрона, выполнил командир спецподразделения.

Слика 4 – Кретање оперативне групе уз подршку ТАРОС-а. Фотографију направио вођа тима помоћу дрона.

The following conclusions could be made based on the exercise:

The TAROS system was used:

- To transport the assault team to the objective and to drop off the striking element.
- To cover the members of the assault team while approaching the objective and during the withdrawal (Fig. 4).
- To drop off the team element into the "first floor" of the objective to complete the destruction of the enemy (Fig.5).
- To provide cover to the wounded team member during the raid execution (Figure 5), and his subsequent transport into a stable zone.

The Phantom 4 Pro drone was used for:

- Reconnaissance of the objective before the arrival of the assault team.
- Constant monitoring of the situation in the objective in order to provide accurate and topical information to the striking element team leader.
- Monitoring of the withdrawal axis.



Figure 5 – Use of the TAROS during the execution phase. The image taken by the drone controlled by the team leader.

Рис. 5 – Использование ТАРОС при атаке. Фото, с помощью дрона, выполнил командир спецподразделения.

Слика 5 – Коришћење ТАРОС-а током фазе напада. Фотографију направио вођа тима помоћу дрона.



*Figure 6 – Usage of the TAROS to cover the wounded team member.
The image taken by the drone controlled by the team leader.
Рис. 6 – Использование ТАРОС для прикрытия раненого.
Фото, с помощью дрона, выполнил командир спецподразделения.
Слика 6 – Коришћење ТАРОС-а за покривање рањеног члана тима.
Фотографију направио вођа тима помоћу дрона.*

Even though the two exercises were not fully comparable (regarding terrain, weather, etc.), it is possible to conclude that the use of modern technology such as UAVs or other remotely controlled systems significantly influences the mission in a positive way. This equipment reduces the mission preparation phase, which should normally take one third of the available time. Moreover, it provides accurate, topical and almost online information essential to fulfill the task as well as to save lives of soldiers and resources. Controlling this equipment is very simple and user friendly. Therefore, there is no need to add any operator to the unit, since the drone or the TAROS could be operated directly by the commander or the subordinate in charge.

Usage of aerial reconnaissance could lead to a significant change of tactical activities in the future. There are numerous possibilities of using drones and other modern technology even at this team level, and attention to this should be brought within scientific research and experimentation. Some progress has already been made, especially in the field of aerial reconnaissance, which is presented in the next chapter.

Model of cooperative aerial reconnaissance

Computer support of decisionmaking is a new trend in the military. Decision Support Systems (DSS) provide a tool for commanders to share information, analyze information and discover knowledge that can help them to plan their missions optimally (Stodola, Mazal, 2016). Advanced DSS are able to propose and analyze possible variants to fulfill the intention of the commander, evaluate the probability of success, and warn of potential threats and danger along with the second-order effects.

At the University of Defence, Czech Republic, the Tactical Decision Support System (TDSS) has been developed since 2006. The TDSS provides complex tactical and geographical information and analyses. Moreover, it is composed of many models of military tactics. If a task of the commander is compatible with one of the models included, he/she can use the system to plan the task optimally (Hodicky, Frantis, 2009).

This Section presents one of the models implemented in the TDSS. It is the model of Cooperative Aerial Reconnaissance (CAR). The goal of this model is to explore the area of interest by a fleet of aerial elements in a near-optimal manner which depends on the optimal criterion selected which is mostly as fast as possible. Aerial elements are Unmanned Aerial Systems (UAS) capable of following precomputed routes (waypoint navigation).

The several main aspects of the model are as follows:

- There is a number of elements (at least one) deployed in the area of operations. The area of interest to be explored is defined by an arbitrary polygon.
- The area of interest is evenly covered by a number of waypoints. The average distance between the waypoints is specified according to the requirements of the commander and the parameters of the aerial systems used.
- The area of interest is considered as explored if all waypoints are visited by at least one of the elements.
- The model plans the routes of individual elements between the waypoints to conduct reconnaissance in a near-optimal manner (in accordance with the optimal criterion selected).

The formulation of the CAR model follows.

Let $A_i \subseteq A$ be the area of interest as a part of the area of operations. Let $G = (V, E)$ be a graph where $V = U \cup W$ is a set of elements $U = \{U_1, U_2, \dots, U_M\}$ and the waypoints $W = \{W_1, W_2, \dots, W_N\}$ and E is a set of edges between all nodes in the graph. The waypoints are evenly distributed in the area of interest with the average mutual distance d_w .

For every edge E_{ij} between the existing nodes V_i and V_j ($i \neq j$), a non-negative cost c_{ij} is associated which can be interpreted as a time period necessary for the element to travel along the edge. After the trip, the elements have to return back to their original position.

Formula (1) expresses the time t_k for the element ($k \in U$) to travel along its route and return back to its initial position. Next, formula (2) presents the main goal of the model which is to minimize the highest cost spent by the elements provided that the optimal criterion is to minimize the time needed to conduct the whole reconnaissance operation.

$$t_k = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} \cdot x_{ij}^k \text{ for all } k \in U,$$

$$\text{where } x_{ij}^k \tag{1}$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{if edge } E_{ij} \text{ is part of the route of element } k \text{ and } W_i \text{ precedes } W_j, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$\text{minimize } (\max (t_k)) \text{ for all } k \in U. \tag{2}$$

A set of constraints exists. Constraint (3) illustrates that each waypoint has to be visited only once, (4) forces each element to leave its initial position no more than once and (5) forces each element to return back to its initial position at the end of the task.

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \text{ for all } j \in W, \tag{3}$$

$$\sum_{j \in W} x_{ij} \leq 1 \text{ for all } i \in U, \tag{4}$$

$$\sum_{j \in W} x_{ij} = \sum_{k \in W} x_{ki} \text{ for all } i \in u, \tag{5}$$

Conclusion

The already conducted exercises proved that the use of modern technologies even within small units could bring significant improvement. Moreover, in the case of implementation of this equipment into organic units, some tactical procedures would change. It is possible to estimate, based on the experiments, that the preparation phase, in a military terminology Troop leading procedure (TLP), would be shortened and more accurate. Some TLP steps as a mission analysis would be more efficient. Also, reconnaissance of objectives, in case of offensive operations, would provide accurate information essential for commander's decision making.

Scientific research in this field is currently at the beginning of the exercise phase. There were created some models for a computer-assisted decision making process, which must be verified. However, it is obvious that modern technologies will take over some activities which are now in the commander's hands. The models are as good as appropriate data given to the model. It is also very important to leave some possibilities to the commander to make a decision and not to reflect on a solution

proposed by models. Modern technologies are very useful in helping commanders achieve the goals.

References

- Dj Phantom 4 Pro, 2016. Praha. Available at: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-multikoptery-a-prislusenstvi/kvadrokoptery/dji-phantom-4-pro>. Accessed: 31 Jan 2017.
- Hodicky, J., & Frantis, P., 2009. Decision support system for a commander at the operational level. In: International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development. Madeira: INSTICC Press, pp.359-362.
- Soldier of the 21st century / Voják 21 století, 2006. Praha. Available at <http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=8240>. Accessed: 31 Jan 2017.
- Stodola, P., & Mazal, J., 2016. Tactical Decision Support System to Aid Commanders in their Decision-Making. In: Modelling and Simulation for Autonomous Systems (MESAS). Springer, pp.396-406.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕНИЯХ И УПРАВЛЕНИИ БОЕВЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Ян Дрозд, Зденек Фласар, Петр Стодола
Университет обороны в Брно, Факультет военного управления,
Кафедра тактики, г. Брно, Республика Чехия

ОБЛАСТЬ: военные науки
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В статье представлены преимущества применения современных технологий в подготовке и управлении операциями (действия, боевые действия). В процессе учений и управлении операциями, боевое моделирование играет важную роль как в действиях командира, так и всех членов подразделения. Стандартное боевое моделирование может быть применено в совместном управлении всеми составными элементами. На уровне членов подразделения, боевое моделирование рассматривается как симуляция боевой операции, которая включает выбор оптимального варианта действий и подтверждение действий дружественных сил.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, дрон, автономная система, тактические действия, боевые учения, боевое моделирование.

КОРИШЋЕЊЕ САВРЕМЕНИХ ТЕХНОЛОГИЈА ЗА ПРИПРЕМУ И УПРАВЉАЊЕ БОРБЕНИМ ЈЕДИНИЦАМА

Јан Дрозд, Здењек Фласар, Петр Стодола
Универзитет одбране у Брну, Факултет војног руковођења,
Катедра тактике, Брно, Чешка Република

ОБЛАСТ: војне науке
ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Чланак разматра могућности примене и предности модерне технологије у припреми и управљању операцијама (активности, борбене активности). У процесу припреме и управљања операцијама борбено моделовање има важну улогу у активностима, како заповедника, тако и чланова његовог тима. Стандардно борбено моделовање може да се укључи у заједничко управљање свим компонентама. На нивоу чланова тима борбено моделовање се посматра као симулација борбеног деловања, која представља део избора оптималне варијанте и потврду акције пријатељских снага.

Кључне речи: беспилотна летелица, дрон, аутономни систем, тактичке активности, борбена припрема, борбено моделовање.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 02.05.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 10.05.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 12.05.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



CONSTRUCTIONS OF SQUARING THE CIRCLE, DOUBLING THE CUBE AND ANGLE TRISECTION

Veselin M. Rmuš

Vocational Secondary School, Berane, Montenegro,

e-mail: veselinrmus12@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0001-6104-7281>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13404>

FIELD: Mathematics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The constructions of three classical Greek problems (squaring the circle, doubling the cube and angle trisection) using only a ruler and a compass are considered unsolvable. The aim of this article is to explain the original methods of construction of the above-mentioned problems, which is something new in geometry. For the construction of squaring the circle and doubling the cube the Thales' theorem of proportional lengths has been used, whereas the angle trisection relies on a rotation of the unit circle in the Cartesian coordinate system and the axioms of angle measurement. The constructions are not related to the precise drawing figures in practice, but the intention is to find a theoretical solution, by using a ruler and a compass, under the assumption that the above-mentioned instruments are perfectly precise.

Keywords: construction, squaring the circle, doubling the cube, angle trisection, coordinate system, unit circle, rotation, proportion.

Introduction

Three problems were proposed in the time of the ancient Greeks, between 600 and 450 BC. Even though the problems of squaring the circle, doubling the cube and angle trisection date back to Thales's times, it is not known who proposed them. Many Greeks from that period until 500 AD attempted to solve the problems using only Euclidean constructions, but without success. However, they did find a series of solutions using tools other than a straight edge and a compass which made a significant contribution to mathematics at the time.

No progress on the unsolved problems was made until 19th century when abstract algebra was developed and concluded that the three Greek

problems cannot be solved. The arguments put forward to prove the unsolvability of squaring the circle, doubling the cube and angle trisection were the impossibility of constructing the square root of π , the cube root of 2 and the angle trisection of 60° , respectively (Courant, Robbins, 1973, pp.108-113). These individual cases prejudiced mathematicians against the unsolvability of the three Greek problems.

Squaring the circle is related to constructing a square with the same area as a given circle. Doubling the cube is the problem of determining the length of the sides of a cube whose volume is double that of a given cube. Angle trisection concerns the construction of an angle equal to one third of a given arbitrary angle. The above-mentioned problems are allowed to be constructed using only a straightedge and a compass, i.e. using elementary Euclidean construction.

Through an original method based on pure geometry, the three problems have been solved. The work methodology is based on the problem-solving process, i.e. constructive task-solving, consisting of four parts: analysis (description of the construction), construction, proof and discussion.

A reader should use a straightedge (ruler), a compass and a sheet of paper to follow the procedure for solving the problems.

The construction of squaring the circle

In everyday speech we may hear the expression “squaring the circle” used as a metaphor for trying to solve something impossible. The origin of the phrase is not familiar to many of those who resort to its usage in conversation, but it is widely known among mathematicians that it refers to a problem proposed by ancient Greeks, related to constructing a square with the same area as a given circle by using only a compass and a straightedge (ruler).

When the length $X = \sqrt{2}$ is constructed, one can notice that the construction of a side of a square, which meets the requirements of the problem, is similar to the construction of the length $X = \sqrt{2}$.

Description of the length construction $X = \sqrt{2}$

We will consider a line p to contain an arbitrary length AB (Fig. 1).

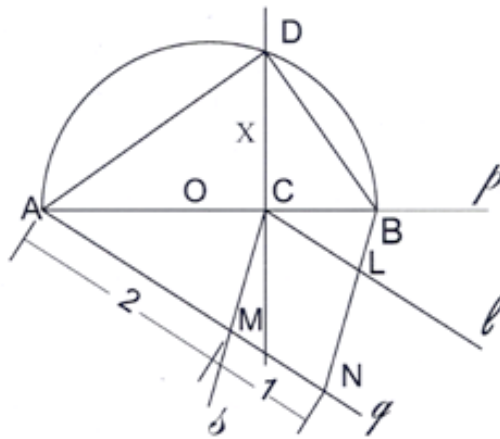


Figure 1 – Division of the length AB in the ratio 1:2
 Рис. 1 – Длина отрезка AB, в отношении 1:2
 Слика 1 – Подјела дужи AB у односу 1:2

The point C divides the given length in the ratio of integers 2:1, i.e. $AC:CB = 2:1$, in the following way: We construct an arbitrary ray Aq and by a compass determine the points M and N so that the length $AM=2$, and the length $MN=1$. Then we construct the length NB. The line s passing through the point M is parallel to the length NB. We denote the intersection of the lines s and p by C. Then we construct the line l passing through the point C parallel to the ray Aq and denote its intersection with the length NB by L. Let us prove that the length AB is divided by the point C in the ratio 2:1.

In Fig. 1, the triangles ACM and CBL are similar because the corresponding angles at the vertices A and C, i.e. M and L are as equal as angles with the parallel arms in the same direction.

The following proportion is true:

$$AC : AM = CB : CL \quad (1)$$

by replacing: $AM = 2$ and $MN = CL = 1$ in

$$\text{we obtain: } AC : 2 = CB : 1 \Rightarrow AC : CB = 2 : 1,$$

Q.E.D. (Quod erat demonstrandum).

Further, let us construct a semicircle on the length AB (Fig. 1).

With a compass and a straightedge, we construct the line n perpendicular to the length AB through the point C and denote its intersection with the semicircle by the point D. We construct the lengths AD and BD. Let us prove that the length CD equals the real number $X=\sqrt{2}$.

The right-angled triangles ACD and DCB are similar, because the angles at the vertices A and D are as equal as angles with the perpendicular arms. The vertex angle D of the triangle ADB is right-angled because it is peripheral, whereas the straight angle BOA is 180° as the central angle, which is two times as great as the peripheral angle.

The following proportion is true:

$$AC : CD = CD : CB \quad (2)$$

$$CD^2 = AC \cdot CB$$

if we replace

$$AC = 2 \text{ and } CB = 1 \text{ in } (2)$$

we obtain

$$CD^2 = 2 \cdot 1$$

$$CD = \sqrt{2},$$

Q.E.D. (Quod erat demonstrandum).

In the 19th and 20th century, many mathematicians were trying to prove the unsolvability of squaring the circle using an algebraic method relying on the fact that $\sqrt{2}$ cannot be written as a fraction; that is why it is considered an approximate number. However, in geometry, as we have shown, $\sqrt{2}$ is the length, because there are *no approximate lengths*. Therefore, the value of $\sqrt{2}$ corresponds to the real number between 1 and 2, i.e. the relation is the following: $1 < \sqrt{2} < 2$. The relation can be proven in a classical, well-known way described below.

The Cartesian coordinate system is given (Fig. 2). In the first quadrant, we construct the square OABC whose side OA equals 1.

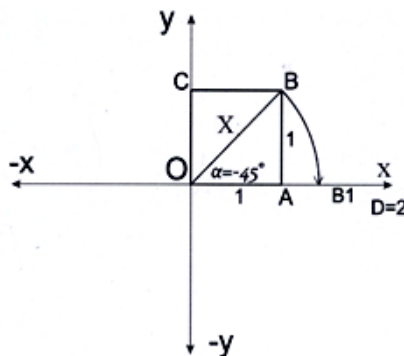


Figure 2 – Value of the length X between real numbers 1 and 2
 Рис. 2 – Значение длины X между действительными числами 1 и 2
 Слика 2 – Вриједност дужи X између природних вриједности 1 и 2

We denote the diagonal OB by X. According to the Pythagorean Theorem, the equation of the right-angled triangle OAB is the following:

$$X^2 = 1^2 + 1^2 \Rightarrow X^2 = 2 \Rightarrow X = \sqrt{2}$$

If we rotate the length OB around the point O as a centre of rotation by a negative angle $\alpha = -45^\circ$, the point B will be mapped onto the point B₁ which is situated between the points A and D on the axis Ox. (Fig. 2) The length OB₁ corresponds to the real number and it is bigger than the length OA and smaller than the length OD.

“On the basis of Cantor’s axiom which states that there is a one-to-one correspondence between real numbers and points on a line, every point on the real number line corresponds to a real number” (Dolićanin, 1984, p.62). It can be concluded that the real point B₁ is situated between integers 1 and 2.

Squaring the circle using only a straightedge and a compass is possible

Description of the construction:

A given circle¹ with the central point O and the radius r are denoted by $k(O, r)$. The length AB is the diameter of an arbitrary circle k (Fig. 3). As shown by the previous method, when constructing the length $X = \sqrt{2}$, we divide the diameter AB by the point C in the ratio of integers 11000000 and 3005681, i.e. AC : CB = 11000000 : 3005681, in the following way:

On the arbitrary ray Aq, we determine the point M by “transferring” 11000000 arbitrary unit lengths. Then we determine the point N so that the length MN equals 3005681 arbitrary unit lengths.

Then we construct the length NB. Through the point M, we draw a line s parallel to the length NB. The intersection of the line s and the length AB is denoted by C. Through the point C we construct the line l so that it is parallel to the ray Aq and its intersection with the length NB we denote by the point L (Fig. 3). The length AB is divided in the above-mentioned ratio by the point C.

¹ Instead of a circle, in Figure 3 a semicircle is constructed for the sake of clarity.

Proof:

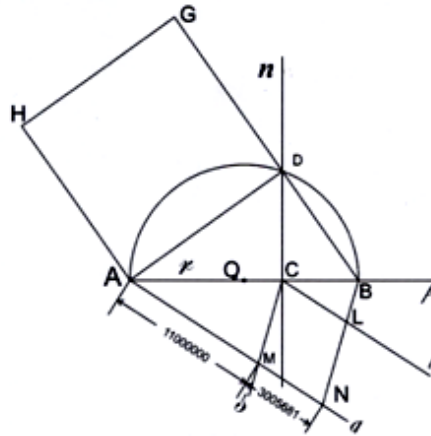


Figure 3 – Proportion of the lengths AC and CB in the ratio 11000000 : 3005681
 Рис. 3 – Пропорциональность длины отрезка AC и CB в отношении 11000000 : 3005681
 Слика 3 – Пропорционалност дужи AC и CB у односу 11000000 : 3005681

The triangles AMC and CLB are similar, so we can form the proportion:

$$AC : AM = CB : CL \quad (3)$$

Based on relation (3), we replace:

$$AM = 11 \cdot 10^6 \text{ and}$$

$$MN = CL = 3005681 = 3.005681 \cdot 10^6$$

It follows that

$$AC : CB = 11 \cdot 10^6 : 3.005681 \cdot 10^6$$

After having it shortened with 10^6 , we get:

$$AC : CB = 11 : 3.005681 = t \quad (4)$$

Based on relation (4)

$$AC : 11 = t \Rightarrow AC = 11t \text{ and } CB : 3.005681 = t \Rightarrow CB = 3.005681t, \quad (5)$$

where t is a non-negative real number, i.e. $t > 0$ and $t \in \mathbb{R}$.

Let us construct a line n through the point C to be perpendicular to the diameter AB, and denote its (one) intersection with the periphery of the circle by D. Then we draw the lengths AD and BD. *AD represents the side of the square whose area is equal to the area of the given circle. Then we construct the square ADGH* (Fig. 3).

Discussion: The problem of squaring the circle always has two solutions, because the line n with the circle $k(O,r)$, apart from the point D, has one more intersection point D_1 and thus the lengths AD and AD_1 are

equal. We can construct one more square of the same area as the given circle. Thus the problem of squaring the circle has been proven solvable.

Proof of squaring the circle by calculation

By calculation, we shall now prove that the area of the given circle $k(O, r)$ equals the area of the square ADGH (Fig. 3).

$$\begin{aligned} \text{Radius } r(t) &= (11t + 3.005681t) : 2 \\ r(t) &= 7.0028405 \cdot t \end{aligned} \tag{6}$$

$r(t)$ is a linear function whose graph (the part of line) belongs to the first quadrant and is defined for every $t > 0$.²

By using the formula to calculate the area of circle

$$P = r^2 \pi, r = 7.0028405 \cdot t,$$

we obtain the equation:

$$\begin{aligned} P(t) &= (7.0028405t)^2 \pi \Rightarrow P(t) = 49.039775t^2 \cdot \pi \\ \Rightarrow P(t) &= 154.062t^2 \\ \Rightarrow P_0 &= 154.06 t^2 \end{aligned} \tag{7}$$

$P(t)$ is a square function whose graph (part of the parabola) belongs to the first quadrant, and is defined for every $t > 0$.³

Now we shall calculate the area of the square ADGH.

The area of the square ADGH equals AD^2 (Fig. 3).

If we apply the Pythagorean Theorem on the right-angled triangle ACD in Fig. 3, we obtain the relation:

$$AD^2 = AC^2 + CD^2 \tag{8}$$

$$AC = 11t \Rightarrow AC^2 = 121t^2 \tag{9}$$

Based on the similarity of the triangles ACD and DCB in Fig. 3, the proportion is true:

$$\begin{aligned} AC : CD &= CD : CB \\ \Rightarrow AC^2 &= AC \cdot CB \end{aligned} \tag{10}$$

$$\text{if } AC = 11t \Rightarrow AC = 121t^2$$

By replacing $AC = 11t$ and $CB = 3.005681t$ in (9), we obtain

$$\begin{aligned} CD^2 &= 11t \cdot 3.005681t \\ CD^2 &= 33.062t^2 \end{aligned} \tag{11}$$

² Drawing the function graph $r(t)$ is left to the reader.

³ Drawing the function graph $P(t)$ is left to the reader.

If we replace relation (10) and (11) with relation (8), we get

$$AD^2 = 121t^2 + 33,062t^2 \tag{12}$$

$$\Rightarrow P_{\square} = 154.06t^2$$

By comparing relations (7) and (12), one may notice that the area of the circle is equal to the area of the square, i.e.

$$P_0 = P_{\square}.$$

Thus the Greek problem of squaring the circle has been proven solvable by calculation.

Constuction of doubling the cube (hexahedron)

The problem of doubling the cube relates to the construction of the edge of a second cube whose volume is double that of the first, using only a compass and a straightedge.

Doubling of the cube using only a straightedge and a compass is possible

Description of the construction to determine the edges of the cube:

On the arbitrary line p , we determine the points A and B so that the length AB is equal to the edge of the given cube, i.e. $AB = a$ in Fig. 4.

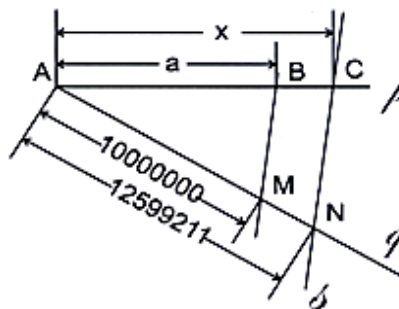


Figure 4 – Proportion of the lengths AB and AC in the ratio 10000000 : 12599211
 Рис. 4 – Пропорциональность длины отрезка AC и CB в отношении 10000000 : 12599211
 Слика 4 – Пропорционалност дужи AB и AC у односу 10000000 : 12599211

We will construct an arbitrary ray Aq and determine the points M and N on the ray so that the length $AM = 10^7$ arbitrary unit lengths, and the length $AN=12599211$ arbitrary unit lengths, i.e.
 $AM : AN = 10^7 : 12599211$.

Let us construct the length BM . Then we construct a line s through the point N parallel to the length BM . The intersection of the line s and the line p is denoted by C . We will prove that the length AC is the edge of the cube, whose volume is double that of the given cube.

Let AC equals x . The triangles ABM and ACN are similar because the angle at the vertex A is common, and the angles at the vertices B and C are as equal as angles with parallel arms in the same direction.

Based on the similarity of the triangles, the following proportion is true:

$$AB : AM = AC : AN \tag{13}$$

by replacing $AB = a$ and $AC = x$, $AM = 10^7$ and $AN = 1.2599211 \cdot 10^7$ in (13) we obtain:

$$a : 10^7 = x : 1.2599211 \cdot 10^7. \tag{14}$$

After having it shortened with 10^7 in relation (14), we get

$$a : 1 = x : 1.2599211$$

it follows that

$$x = 1.1599211 \cdot a. \tag{15}$$

The cubed equation (15)

$$x^3 = (1.2599211 \cdot a)^3$$

$$x^3 = 1.2599211^3 \cdot a^3 \tag{16}$$

$$x^3 = 2 \cdot a^3$$

$$\text{If } a^3 = V_1 \text{ and } x^3 = V_2 \tag{17}$$

$$V_2 = 2 \cdot V_1$$

Q.E.D. (Quod erat demonstrandum)

Constructions of doubling the cube in oblique projection using a straightedge and a compass

Description of the construction:

Let us construct the right-angled trihedral $Oxyz$. (Fig. 5)

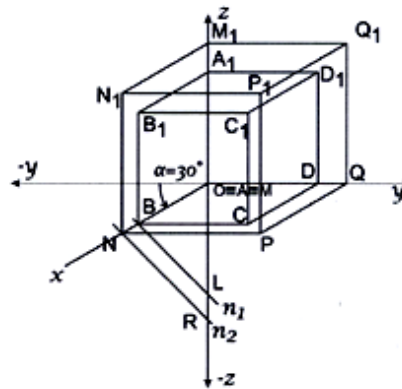


Figure 5 – Oblique projection of a cube
 Рис. 5 – Наклонная проекция куба
 Слика 5 – Коса пројекција коцке

For the oblique picture to be more transparent (clearer), we will take the angle $\alpha = 30^\circ$, and $q = 1 : 2$ ($\alpha = 30^\circ$, angle $-yOx$).

The ratio $q = 1 : 2$ represents the ratio of the length on the Ox -axis and Oz -axis, i.e. if an arbitrary length on the Ox -axis equals 1, then the length on the Oz -axis is twice longer (α is called a reduction angle, q is a reduction ratio).

On the negative part of the z -axis we determine a point L so that the length OL is equal to the edge of the cube in its true size (the length $AB = a$ in Fig. 4). Through the point L we construct the line n_1 perpendicular to Ox and we denote their intersection by B (Fig. 5).

The point D is determined on the ray Oy so that the length OD is equal to the edge of the given cube in Fig. 4 in its true size. The point A coincides with the vertex of the trihedral. Then, we determine the point C by constructing a parallelogram $ABCD$ (it is the oblique picture of the lower base of the given cube).

Through the points B , C and D we construct lines parallel to the z -axis. On the z -axis and the parallel lines we determine the points $A_1B_1C_1D_1$ so that $AA_1 = BB_1 = CC_1 = DD_1 = a$. Let us construct other lengths where $ABCD A_1B_1C_1D_1$ presents an oblique picture of the given cube.

In a similar way, we construct a cube so that its volume is double that of the given cube, i.e. whose edge is x (it is the length AC in Fig. 4). On the negative part of the z -axis in Fig. 5 we determine the point R so that the length OR equals the edge of the cube $x = AC$ in Fig. 4. Through the point R we construct the line n_2 perpendicular to the axis Ox and denote the intersection with the Ox -axis by N . The point M coincides with the trihedral vertex. The point Q is determined on the Oy axis so that $MQ = x$ (in its true

size). Let us construct a parallelogram $MNPQ$ (it is the oblique picture of the lower base of the new cube). Through the points N , P , Q in Fig. 5 we construct lines parallel to the z -axis.

On the z -axis and all the parallel lines we construct the length x in its true size by a compass and we determine the points M_1 , N_1 , P_1 and Q_1 so that $MM_1=NN_1=PP_1=QQ_1=x$. (Fig. 4). The parallelogram $M_1N_1P_1Q_1$ represents the oblique picture of the upper base of the new cube, whereas $MNPQM_1N_1P_1Q_1$ is the oblique picture of the new cube.

In this way, we have constructed the cube $MNPQM_1N_1P_1Q_1$ whose volume is double that of the given cube $ABCD A_1B_1C_1D_1$.

Discussion: The above method has proven the solvability of doubling the cube using only a straightedge and a compass. The problem always has a solution, i.e. every cube can be doubled.

The construction of angle trisection

Angle trisection is related to dividing an arbitrary angle into three equal parts in a constructive way using only a straightedge and a compass.

Dividing an angle into 3 equal parts does not seem to be a particular problem. For instance, it is easy to construct one-third of the angles of 45° , $67^\circ 30'$, 90° , 135° , 180° , $202^\circ 30'$, 270° , 360° , etc. using a straightedge and a compass. However, the general problem arises when an *arbitrary* angle should be divided into three equal parts.

In order to solve this problem, we present some wellknown geometry properties (axioms, theorems, definitions) which will be used here.

(1) Axiom on the measurement of angles: The degree measure of an angle equals the sum of degree measures of the angle divided by an arbitrary ray which passes through its arms.

(2) By convention, the rotation of an angle arm counter-clockwise is called positive rotation, whereas negative rotation goes clockwise. Positive rotation is denoted by $R(O, \alpha)$, negative by $R(O, -\alpha)$, where the point O is the centre of rotation and the oriented angle α is the angle of rotation.

(3) The base angles of an isosceles triangle are always equal.

(4) The exterior angle of a triangle equals the sum of two interior opposite non-adjacent angles.

(5) Vertically opposite angles are equal.

(6) Corresponding angles are equal in measure if and only if two parallel lines are cut by a transversal.

(7) Alternate angles are equal in measure if and only if two parallel lines are cut by a transversal.

(8) A circle is a centrally symmetric figure.

(9) A circle is an axially symmetric figure.

(10) The central angle (in a circle) is twice the size of the periphery angle which lies over the same arc of the circle.

(11) Given the circle with the centre at the origin of Cartesian coordinate system. Each chord constructed to be parallel to the coordinate axis cuts equal circular arcs on the given circle.

(12) In mathematics, a unit circle is a circle with a radius of one.

(13) An angle bisector is a ray that divides an angle into two equal angles.

(14) Each length can be divided into any (arbitrary) number of equal parts.

Angle trisection using a straightedge and a compass is possible

Proof:

Given an acute angle with the vertex at point O and the arms p and q (Fig. 6).

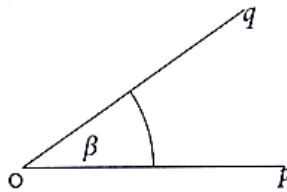


Figure 6 – Model of the angle pOq
 Рис. 6 – Модель угла pOq
 Слика 6 – Модел угла pOq

Let us construct the Cartesian coordinate system xOy so that the positive part of the x-axis corresponds to the arm p of the given angle (marked as $x \equiv p$). (Fig. 7)

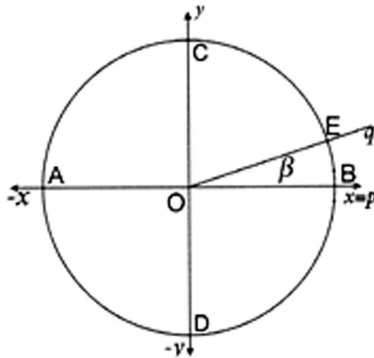


Figure 7 – Unit circle with with the centre at the origin of coordinate system
 Рис. 7 – Единичная окружность с центром в начале системы координат
 Слика 7 – Јединична кружница са центром у координатном почетку

Then we construct the circle k with the centre O and a radius that equals one (in Figure 7 marked as $k(O, 1)$).

On the basis of property (12), this will hereinafter be referred to as the *unit circle*.

The intersections of the unit circle $k(O, 1)$ with the x -axis and the y -axis are denoted by A and B , and C and D , respectively.

The intersection of the unit circle $k(O, 1)$ and the arm q is denoted by E (Fig. 7).

The problem arises when we want to divide the angle BOE into three equal parts in a constructive way using only a straightedge and a compass.

The first step is to divide the angle $\beta = 22^\circ 30'$ into three equal parts. On the unit circle, we construct the angle β by a 45-degree bisector (Fig. 8).

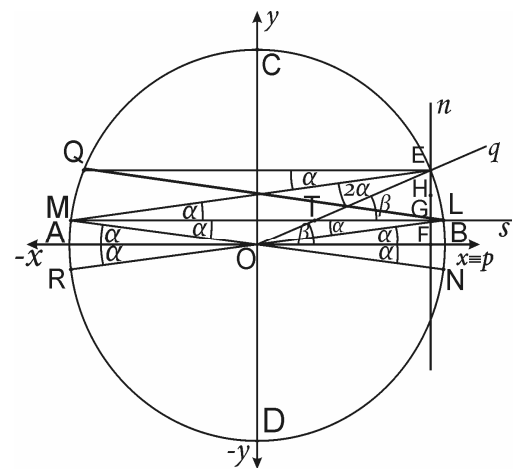


Figure 8 – Angle trisection $\beta = 22^\circ 30'$
 Рис. 8 – Трисекција угла $\beta = 22^\circ 30'$
 Слика 8 – Трисекција угла $\beta = 22^\circ 30'$

Description of the construction:

Through the point E (Fig. 8) we draw a perpendicular n to the x -axis and its intersection with the x -axis is denoted by F . Then, we divide the length FE into three equal parts and denote the points by G and H (Fig. 9)⁴

⁴ The division of the length FE has been constructed separately for the sake of clarity in Figure 8.

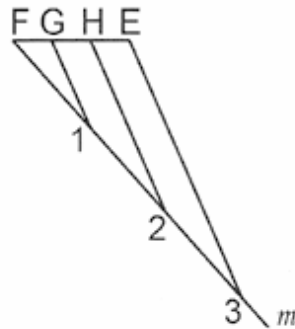


Figure 9 – Division of the length FE for angle trisection of $\beta = 22^\circ 30'$
 Рис. 9 – Деление отрезка FE по трисекции угла $\beta = 22^\circ 30'$
 Слика 9 – Подјела дужи FE за трисекцију угла $\beta = 22^\circ 30'$

From the x-axis, the set of points on the length FE is F-G-H-E (Ostojić, 1980, p.164). Let us construct a line s passing through the point G parallel to the x-axis and denote its intersections with the unit circle k in the first quadrant by the point L and in the second quadrant by the point M. (Fig.8) According to (11), the circular arcs AM and BL are equal on the unit circle $k(O, 1)$. Given $\angle BOE = \beta$, and $BOL = \alpha$, we will prove that

$$BOL = \frac{1}{3} \angle BOE, \text{ i.e.}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{3}.$$

Based on (9), the point L is the symmetric point of M with respect to the y-axis. Let the point M be the symmetric point of N with respect to the origin of the Coordinate system based on (8) and the point L is the symmetric point of N with respect to the x-axis based on property (9). Further, if the point L is the symmetric point of R with respect to the origin, then the point M is the symmetric point of R with respect to the x-axis (Fig. 8).

Based on the properties of the circle as an axially symmetric and centrally symmetric figure, it follows that the circular arcs are equal, i.e. $BL = BN = AM = AR$. Therefore, on the unit circle, the central angles which lie over the equal circular arcs are equal. Based on (5), it follows that $\angle BON = \angle AOM = \alpha$ and $\angle BOL = \angle AOR = \alpha$.

Applying property (10), the central angle NOL is twice the size of the periphery angle NML which lies over the arc of the circle NL, i.e. $\angle NML = (2\alpha) : 2 = \alpha$. Since the triangle OLM is an isosceles triangle (the base is the chord ML), then according to (3) $\angle OLM = \angle OML = \alpha$.

Let the symmetric point E with respect to the y-axis be Q (Fig. 8). The circular arcs AQ and BE are equal in accordance with property (11). It was pointed out that circular arcs AM and BL are equal. Accordingly, the chords EQ and LM are parallel (marked as EQ || LM). Based on (7) $\angle MEQ = \angle LME$ as alternate angles are equal and the line determined by M and E is called transversal and it follows that $\angle MEQ = \angle LME = \alpha$.

Let us construct the length LQ. The chords ME and QL intersect at the point S. OMSL quadrilateral is a rhombus. The diagonal ML of the rhombus divides the angle OME into two equal parts. It follows that $\angle OME = 2\alpha$. OEM is an isosceles triangle and the angle OEM = 2α .

The angle NOE is central, and $\angle NME$ peripheral over the same arc NE. Based on (10) it follows that:

$$\alpha + \beta = 2 \cdot 2\alpha \Rightarrow \alpha + \beta = 4\alpha$$

$$\Rightarrow \beta = 3\alpha$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{3}$$

Alternative proof:

The intersection of the arm q and the line s is determined by the point T. According to (3), the triangle OEM is an isosceles triangle (the chord ME is the base of the triangle), so that $\angle OME = 2\alpha$ and $\angle OEM = \angle TEM = 2\alpha$. The angle LME = $\angle TME = \alpha$ (because the points L and T belong to the line s).

The angle BOE = $\angle LTE = \beta$, as they are corresponding angles in accordance with property (6). Further, based on (4), the external angle of the triangle TME is equal to the sum of the two internal non-adjacent angles, i.e.

$$\angle LTE = \angle TEM + \angle TME$$

If we replace the angles with Greek letters ($\angle LTE = \beta$, $\angle TEM = 2\alpha$, $\angle TME = \alpha$), we obtain

$$\beta = 2\alpha + \alpha,$$

$$\beta = 3\alpha,$$

$$\alpha = \frac{\beta}{3}$$

Q.E.D

The angle trisection of $22^\circ 30'$ is $\alpha = 7^\circ 30'$, and thus the angle trisection has been proven.

Angle trisection of $\beta < 22^\circ 30'$

Proof: Given the acute angle β less than $22^\circ 30'$ in Fig.10.

Description of the construction:

The procedure, denoting (marking) and proof of the angle trisection less than $22^\circ 30'$ are completely the same as the procedure, denoting (marking) and proof we explained when we constructed the angle trisection of $\beta = 22^\circ 30'$ (shown in Figs. 8 and 9). The construction of $\beta < 22^\circ 30'$ is shown in Figs. 10 and 11.

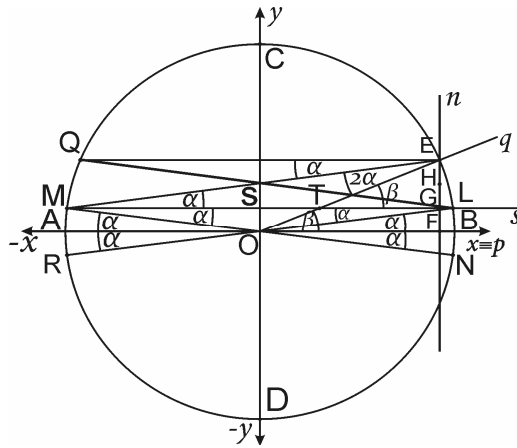


Figure 10 – Angle trisection $\beta < 22^\circ 30'$
 Рис. 10 – Трисекция угла $\beta < 22^\circ 30'$
 Слика 10 – Трисекција угла $\beta < 22^\circ 30'$

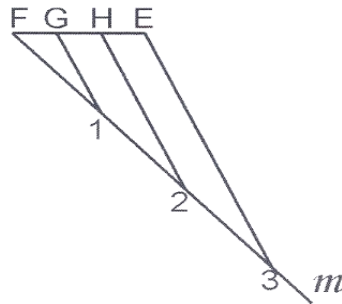


Figure 11 – Division of the length FE for the angle trisection of $\beta < 22^\circ 30'$
 Рис. 11 – Длина деления отрезка FE по трисекции угла $\beta < 22^\circ 30'$
 Слика 11 – Подјела дужи FE за трисекцију угла $\beta < 22^\circ 30'$

Accordingly, if the acute angle pOq is given and if it belongs to the first quadrant, then we compare it to the angle of $22^\circ 30'$. Every acute angle may be: less than $22^\circ 30'$, less than 45° , less than $67^\circ 30'$ and less than 90° .

We shall explain the angle trisection for all the abovementioned cases:

- a) The trisection of an angle less than $22^{\circ} 30'$ has been described in Figs. 10 and 11.
- b) If the acute angle is less than 45° , then two angle trisections are performed – of $22^{\circ} 30'$ and of less than $22^{\circ} 30'$, because the given angle was divided into two parts by the ray. The angle of $22^{\circ} 30'$ is constructed using the angle bisector of 45° . In accordance with property 1, thirds of the circular arcs (which have been described in Figs. 8, 9, 10 and 11) are summed up and as a whole they represent the third of the angle.
- c) If the acute angle is less than $67^{\circ} 30'$, then the angle is divided into two angles: one angle of 45° and the other of less than $22^{\circ} 30'$ by the ray. The angle trisection of 45° is performed first. The angle of 15° is obtained by constructing the angle bisector of 30° . The angle of less than $22^{\circ} 30'$ is divided (as described in Figs. 10 and 11). The third of the circular arc of the angle of 45° and the third of the circular arc less than $22^{\circ} 30'$ are added up and as a whole represent the third of the given angle.
- d) If the acute angle is less than 90° , then the angle is divided into one angle of $67^{\circ} 30'$ and the other angle less than $22^{\circ} 30'$ by the ray. Trisections of both angles are performed separately. The angle trisection of $67^{\circ} 30'$ is simple as it is the angle of $22^{\circ} 30'$ and it is obtained by the angle bisector of 45° . The third of the angle of less than $22^{\circ} 30'$ has been described in Figs. 10 and 11. The sum of thirds of circular arcs, as a whole, is transferred to the circular arc of the given angle (three times) and thus the division of the unit circle into three equal parts has been performed, i.e. the trisection of an arbitrary acute angle.

Arbitrary angle trisection

1. The acute angle trisection has been described.
2. Given the obtuse angle $\beta' = 90^{\circ} + \beta$ (the arm p coincides with the positive part of the x-axis, and the arm q belongs to the second quadrant), Fig. 12. Then,

$$\frac{\beta'}{3} = 30^{\circ} + \frac{\beta}{3}.$$

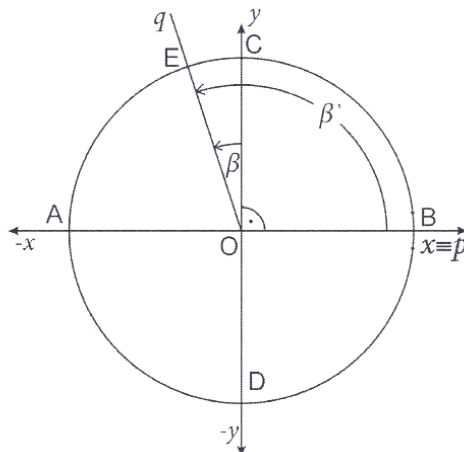


Figure 12 – Arm q of β' angle belongs to the second quadrant
 Рис. 12 – Луч q угла β' принадлежит второму квадранту
 Слика 12 – Крак q угла β' припада другом квадранту

Applying property (2) we perform a rotation of β' for the angle (-90°) , or $R(O, -90^\circ)$. Then the arm $p \equiv$ coincides with the negative part of the y -axis and the arm q belongs to the first quadrant. A rotation of the points A, B, C and D has also been performed. (Fig. 13)

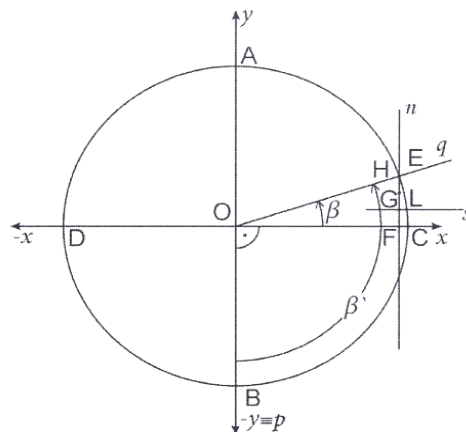


Figure 13 – Rotation of β' for the angle (-90°)
 Рис. 13 – Поворот угла β' на (-90°)
 Слика 13 – Ротација угла β' за (-90°)

After the rotation of β' , the angle β becomes acute and its trisection explained in the abovementioned cases for the acute angle can be applied (see a, b, c, d in 3.2.). The third of circular arc β is added to the circular arc of 30° on the unit circle (Fig.14).

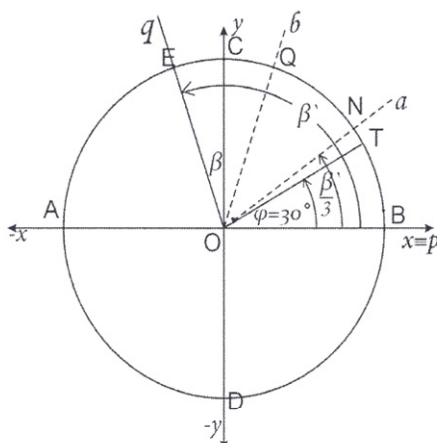


Figure 14 – Angle trisection of β' when the arm q belongs to the second quadrant
 Рис. 14 – Трисекция угла β' в случае, когда луч q угла β' принадлежит второму квадранту
 Слика 14 – Трисекција угла β' када крак q угла β' припада другом квадранту

The angle BOE is divided into three equal parts by the dashed lines a and b , and it follows $\angle BON = \angle NOQ = \angle QOE = \frac{\beta'}{3}$. The angle BOT equals 30° . (Fig. 14)

The circular arc TN in Fig. 14 equals the circular arc CL in Fig. 13. The sum of the circular arcs BT and TN is equal to the circular arc BN.

It follows that $\angle BON = \frac{1}{3} \angle BOE$. (The construction has been performed on the unit circle in Fig. 14).

3. If the angle pOq is less than 270° , i.e. if the arm q belongs to the third quadrant, then we write down $\beta' = 180^\circ + \beta$ (Fig. 15). The rotation of the angle β' for the angle (-180°) is performed, i.e. $R(O, -180^\circ)$. Then the p is congruent to the negative part of the x -axis, while the q belongs to the first quadrant. The angle β as the acute angle belongs to the first quadrant. (Fig. 16) The angle φ is straight. (Fig. 15)
 Then,

$$\frac{\beta'}{3} = 60^\circ + \frac{\beta}{3}.$$

It follows that the circular arc of 60° is added to the third of circular arc of the acute angle β .

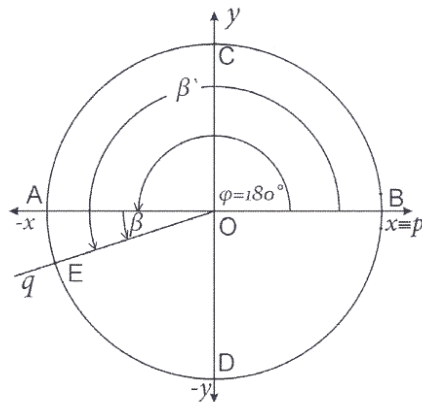


Figure 15 – Arm q of the β' angle belongs to the third quadrant
 Рис. 15 – Луч q угла β' принадлежит третьему квадранту
 Слика 15 – Крак q угла β' припада трећем квадранту

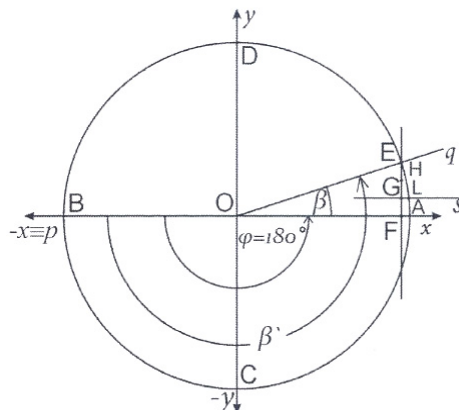


Figure 16 – Rotation of β' for the angle (-180°)
 Рис. 16 – Поворот угла β' на (-180°)
 Слика 16 – Ротација угла β' за (-180°)

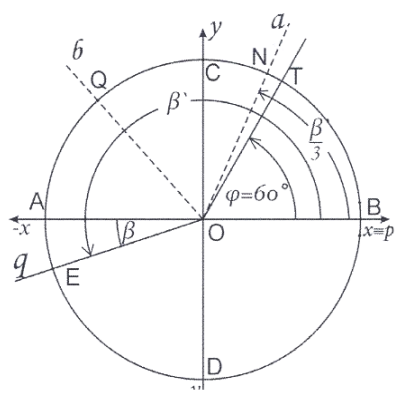


Figure 17 – Angle trisection of β' when the arm q belongs to the third quadrant
 Рис. 17 – Трисекция угла β' в случае, когда луч q принадлежит третьему квадранту
 Слика 17 – Трисекција угла β' када крак q угла β' припада трећем квадранту

The angle BOE is divided into three equal parts by the dashed lines a and b (in Fig. 17). The circular arc TN in Fig. 17 equals the circular arc AL in Fig.16.

The sum of the circular arc BT and the circular arc TN equals the circular arc BN (on the unit circle), or $\sphericalangle BON = \frac{1}{3} \sphericalangle BOE$ in Fig. 17 where the angle BOT equals 60° .

4. Finally, if the angle pOq is less than 360° , i.e. if the arm q belongs to the fourth quadrant, $\beta' = 270^\circ + \beta$ (Fig. 18), then we perform a rotation of the angle β' for the angle of -270° , marked as $R(O, -270^\circ)$. The arm p coincides with the positive part of the y -axis and the arm q belongs to the first quadrant (in Fig. 19).

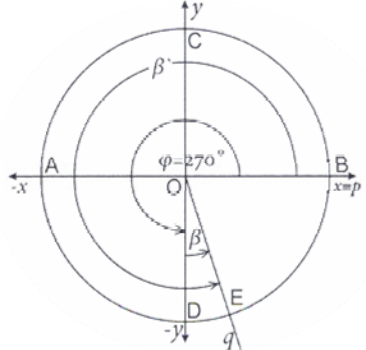


Figure 18 – Arm q of the β' angle belongs to the fourth quadrant
 Рис. 18 – Луч q угла β' принадлежит четвертому квадранту
 Слика 18 – Крак q угла β' припада четвртој квадранту

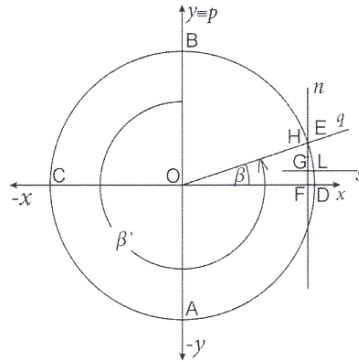


Figure 19 – Potation of β' for the angle (-270°)
 Рис. 19 – Поворот угла β' на (-270°)
 Слика 19 – Ротација угла β' за (-270°)

Since in this case $\frac{\beta'}{3} = 90^\circ + \frac{\beta}{3}$ the trisection of the acute angle β

(which is situated in the first quadrant after the rotation of the angle β') is constructed in the same way as that described of the trisection of acute angles, then the third of the circular arc β is added to the circular arc corresponding to the angle of 90° which belongs to the unit circle (Fig. 20).

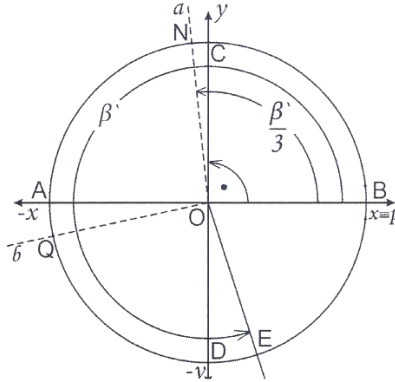


Figure 17 – Angle trisection of β' when the arm q belongs to the fourth quadrant
 Рис. 17 – Трисекција угла β' в случае, когда луч q угла β' принадлежит четвертому квадранту
 Слика 17 – Трисекција угла β' када крак q угла β' припада четвртном квадранту

The angle BOE is divided into three equal parts by the dashed lines a and b . (Fig. 20) The angle BOC equals 90° . The circular arc CN in Fig. 20 equals the circular arc DL in Fig. 19.

It follows that $\sphericalangle BON = \frac{1}{3} \sphericalangle BOE$.

Discussion: Applying the described method, the angle trisection can be performed for every angle. The diameter of the unit circle has been taken arbitrarily and cannot be changed while constructing without changing the lengths of circle arcs. Depending on the size of the angle, thirds of a circle arc less than $22^{\circ} 30'$ on the unit circle can be added to a circle arc of $7^{\circ} 30'$, 15° , $22^{\circ} 30'$, 30° , 60° and 90° .

References

- Courant, R., Robbins, H., 1973. What is Mathematics? An Elementary Approach to Ideas and Methods. Oxford University Press, London.
- Dolićanin, Č., 1984. *Mathematics*. Institute for Textbooks and Educational Materials, Priština.
- Ostojić, O., 1980. *Theoretical Basis of Initial Mathematics Teaching*, Handbook for Math Teachers, Republic Institute for the Improvement of Education, Titograd.

КОНСТРУКЦИИ КВАДРАТУРА КРУГА, УДВОЕНИЕ КУБА И ТРИСЕКЦИЯ УГЛА

Веселин М. Рмуш
Средняя профессиональная школа, г. Беране, Черногория

ОБЛАСТЬ: математика
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Построение трех классических античных задач (квадратура круга, удвоение куба и трисекция угла), с помощью линейки и циркуля до сих пор считается неразрешимым. В данной статье представлены оригинальные методы построения вышеупомянутых задач, что представляет собой инновационный подход в геометрии. Для построения квадратуры круга и удвоения куба была использована теорема Фалеса о пропорциональных отрезках, а трисекция угла основанная на повороте единичного круга в декартовой системе координат и аксиомах измерения угла.

Данные построения не претендуют на создание точных чертежей на практике, так как главная наша цель заключается в нахождении теоретического решения, основанного на построении данных фигур с помощью линейки и циркуля, с учетом предположения, что вышеупомянутые инструменты являются совершенно точными.

Ключевые слова: построение, квадратура круга, удвоение куба, трисекция угла, система координат, единичный круг, вращение, пропорция.

КОНСТРУКЦИЈЕ КВАДРАТУРЕ КРУГА, УДВАЈАЊА КОЦКЕ И ТРИСЕКЦИЈЕ УГЛА

Веселин М. Рмуш
Средња стручна школа, Беране, Црна Гора

ОБЛАСТ: математика
ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Конструкције три класична грчка проблема (квадратура круга, удавајање коцке и трисекција угла), уз употребу само лењира и шестара, до данас се сматрају нерешивим. Циљ овог чланка јесте да се оригиналним методама објасне конструкције поменутих проблема, што представља новину у геометрији. За конструкцију квадратуре круга и удавајање коцке коришћена је Талесова теорема о пропорционалним дужима, а за трисекцију угла ротација јединичне кружнице у правоуглом координатном систему и аксиоме о мјерењу угла. Конструкције се не односе на прецизно цртање фигура у пракси, већ је намјера да се употребом лењира и шестара нађе теоријско рјешење под претпоставком да су поменути инструменти савршено прецизни.

Кључне ријечи: конструкција, квадратура круга, удавајање коцке, трисекција угла, координатни систем, јединична кружница, ротација, пропорција.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 08.03.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 24.03.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 26.03.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



MUTICRITERIA ASSESMENT OF POSSIBLE USE OF COMPUTER GAMES IN TEACHING

Mališa R. Žižović^a, Katarina G. Plečić^b

Singidunum University Belgrade, Faculty of Health,
Legal and Business Studies, Valjevo, Republic of Serbia,

^a e-mail: zizovic@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-0789-8565>

^b e-mail: kplecic@singidunum.ac.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-0153-4069>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13000>

FIELD: Mathematics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

In this paper we present a multi-criteria evaluation of several possible approaches to organization of studies. A wider use of modern information technology has led to major changes in traditional education. One of them is the development of serious games in order to simulate real business work environment.

The traditional passive education approach trains people for some narrow procedures, and then evaluates them based on their memories of what they have been told. Even when students have successfully mastered facts and procedures, their behavior in real life situations remains uncertain. Games are trying to solve this problem, motivate and promote learning. Their interactive aspect leads to high involvement of participants in game activities, so they no longer have the sole purpose of entertainment, but become a serious learning tool. The possibility to provide entertainment and educational component separates these games from classical, fun games. Also, participants are not passive players. Their decisions and actions directly affect the flow of the game, leading to good or bad results.

To evaluate game application in classroom, a multicriteria analysis was used. It was used for the assessment of possible study forms in order to use benefits of information technology for modernizing and improving teaching and learning processes. The evaluation was made by observing four alternatives, as well as six criteria. The aim of this paper was to make these applications more effective where needed and to indicate a possibility to use them elsewhere.

Key words: multi-criteria analysis, criteria, weights of criteria, games, simulation.

Introduction

In the last decade of the previous century, and especially in its last years, the implementation of modern information technologies and methods led to changes in many areas of teaching.

It is generally known that the acceptance of new opportunities and challenges is dominated and forefront by young people. Also, the truth was that decision-makers were generally the elderly, so this possibility of using new technologies did not immediately come to full expression in all places; however, sooner or later, people accept things which make their work efficient.

The paper analyzes the situation in education, in one possible direction in particular - using information technology in teaching through games and simulations which are already been successfully used (there are other approaches to information technology applications, for example (Miljković et al, 2016, pp.1009-1032).

The aim of this paper is to highlight the way how teaching using information technology can be more efficient (where already implemented), and to point to a wide range of possibilities for their application in the areas where information technology has not been used yet.

Games and simulations

One of the first computer applications were games created for fun. Since such games immediately became popular, first they were used for mass sales of computers and for the implementation of higher classes of computers.

With the Internet expansion, Internet games appeared. Many serious software companies developed Internet games because some of them gathered millions of active players worldwide. Some well-known Internet games are, for example, World of Warcraft, League of Legends, World of Tanks, Runescape, Perfect World, Starcraft, Counter Strike, etc.

Internet games were followed by various services for usage, distribution, promotion, different kinds of protection, etc. This game industry is still very successful today.

Software companies tried to take advantage of the phenomenon that the games are massively accepted by the young and the old alike, and to create games not aimed to be fun only, but also to have another function, such as education. This, too, was successful. Designers of computer games are creating highly motivating environments which players both enjoy and learn in. The concept of *gamification* (Shank, 2013) is introduced. This term means using game elements and mechanisms in the

activities which cannot be strictly classified as games in order to easily master such activities, i.e. to master them in a form of a game.

The factors that encourage the application of games in education should be noted:

- Motivation is more easily accomplished because the learning process as well as the adoption of certain procedures is replaced with natural acceptance of the rules for the operation of the game you want to play. So it could be used for performance assessment.
- Higher levels of learning are more easily accomplished with different levels of play, as opposed to classical learning where books are usually given in one, possibly two, or very rarely on many levels.
- The desire to master as many levels of the game as possible makes learning fun for students, so motivation comes spontaneously.

Good teachers tend to make their stories and performances interesting for their students and to involve them in the topic. In the case of games, participants are spontaneously and automatically involved, because of the very nature of games.

Participants are not passive game players, but they influence the game outcome by taking actions and making decisions (obviously, in traditional learning, that it is not possible) (Bhasin, 2014).

In many situations where there is a risk of harm to health or material goods, games can replace practice in the real environment and be a good precursor to practice in the real environment.

Many authors have noted that games can teach effectively about various types of risks, or about their minimization without "collateral damage in the first operating performances" that occurs in traditional learning. This can be seen in more detail in papers (Ambrose et al, 2010), (Holmes, Gardner, 2006), (Tonks, 2002, pp.177-194).

Games can prepare for unexpected (stochastic) situations in the working environment (Trybus, 2015), (Geuting, 2000), (Lunce, 2004, p.29).

Many authors dealt with an analysis of learning through play and achieving results in real life simulations with an understanding of situations in real life (Fink et al, 2014, pp.141-152), (Finkelstein et al, 2005, pp.1-8), (Hunzeker, Harkness, 2014, pp.513-517), (Leger et al, 2011, pp.39-53), (Prensky, 2001, p.128). All previous authors prefer this way of learning to the traditional way.

The paper (Buck, 2013) recommends this method of learning in the following fields: engineering, economics, medicine, marketing, management, political science, international relations, foreign languages, etc.

Multi-criteria analysis of studies and learning

In this paper, a multi-criteria analysis (optimization) will be used for the evaluation of possible study forms that seeks to take advantage of information technology in order to modernize and improve teaching and learning process.

Evaluation is carried out so as to observe four alternatives, but there may be more of them.

ALTERNATIVES

- A₁: Teaching is classical during the entire studies.
- A₂: A₁ until the last semester when the simulations course is introduced and then in the form of games students are doing case studies. At the end of the semester, the case studies are evaluated as a graduation thesis.
- A₃: Teaching is classical during the first half of studies. At the beginning of the second half of studies, the course on simulations is introduced where the basic principles and their applications are taught. After this course, other subjects are also taught using games (simulations). In the last semester, students use case studies to work with simulations (games) and that is considered as a graduation thesis.
- A₄: Teaching is classical just at the beginning of the studies and in the courses where it is more convenient. During the first course in the subject of information technologies, students are introduced to the basic concepts of simulations and games. In the cases where it is possible to make a combination of classical teaching and computer games, as a rule, the learning process is faster and more efficient. In the last semester, simulations are used with case studies to give students real life practice.

CRITERIA

- C₁: Assessment of achieved average results in learning
- C₂: Rating of courses (advantage for organizers)
- C₃: Assessment of the acceptability of studying modes for students
- C₄: Assessment of the opportunities to integrate graduates in the future business environment
- C₅: Assessment of time required to achieve the desired results in learning
- C₁: Rating the proficiency of students to understand risks when making decisions in the real environment and to minimize risks.

It should be noted that more criteria can be applied; for example, the following criterion could be added:

Assessment of the acceptability of modes of studying by potential students.

This criterion would be very important for decision-making of the management of higher education institutions regarding types of studying. However, it was not taken into account here since the authors did not have adequate data.

It would also be possible to reduce the number of criteria, or to group some criteria which are overlapping (for example C_4 and C_6), but we believe they are better organized in this way, and any overlapping of the criteria is eliminated by the appropriate choice of the weight coefficients.

The evaluation matrix was created in cooperation with the management of the Faculty of Health, Legal and Business Studies, Singidunum University, which introduced this form of study within its study programmes (A2 alternative), based on the results of the research carried out among the students for which this form of teaching was introduced (research performed by the teaching staff who teach business simulations).

The weight coefficients of criteria were determined and the evaluation was carried out using a new method presented in the article (Miljković et al, 2017). The control of the results was performed using some other methods of multi-criteria analysis given in the literature (Nikolić, Borović, 1996), (Radojičić, Žižović, 1998) and the results are in a line with the previous ones.

Table 1 – Criteria values by alternatives
Таблица 1 – Значения альтернатив по критериям
Табела 1 – Вредности алтернатива по критеријумима

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	6	9	5	7	4	4
A_2	7	8	6	8	5	7
A_3	8	7	7	8	7	7
A_4	9	6	9	8	9	8

If we assume that all criteria are equally numerically important, and that they occur in the following order

$$C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_6,$$

then

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_5 = \rho_6 = \frac{1}{6},$$

and the order of the alternatives is

$$A_4 \rightarrow A_3 \rightarrow A_2 \rightarrow A_1.$$

If we assume that the most important criteria is C_2 and that the complete sequence of criteria is

$$C_2 \rightarrow C_1 \rightarrow C_3 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_6,$$

and that the criteria C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 and C_6 have the same numerical value, for example,

$$\rho_2 = 0,9, \quad \rho_1 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_5 = \rho_6 = 0,02.$$

we get the following sequence of the alternatives

$$A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4.$$

It is interesting that the same arrangement is obtained if $\rho_2 \geq 0.58333\dots$ and $\rho_1 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_5 = \rho_6$. Also, it can be easy to get A_2 before other alternatives $0,5 \leq \rho_2 < 0.58333\dots$, then that A_4 is ahead of other alternatives for $\rho_2 < 0,5$ and $\rho_1 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_5 = \rho_6$.

If we assume that the most important is one of the following criteria: C_1 or C_3 or C_5 or C_6 , then A_4 is the best alternative.

In the event that the order of the criteria is $C_4 \rightarrow C_2 \rightarrow C_1$, and then the rest of them, one can find a situation that A_3 is the best alternative; for example, for $\rho_4 = 0.6, \rho_2 = 0.18, \rho_1 = 0.145, \rho_3 = \rho_5 = \rho_6 = 0.025$, the order of the alternatives is

$$A_3 \rightarrow A_2 \rightarrow A_4 \rightarrow A_1.$$

Conclusion

To implement computer games in teaching, it is necessary to have prepared teaching staff for this and appropriate software (games and simulations) which, as a rule, must continuously improve. These improvements should be made by teachers that already work on existing courses in a "classical way". The advantages of this mode can be seen in business situations, management case studies, in various fields where randomized situations can happen, like in medicine, veterinary medicine,

agriculture, etc. Also, they can be applied in many other significant fields such as military education, especially for training reserve officers.

References

Ambrose, S., Bridges, M., Dipietro, M., Lovett, M., Norman, M., & Mayer, R., 2010. *How Learning Works: Seven Research-Based Principles for Smart Teaching*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Bhasin, K., 2014. Gamification, Game-based Learning, Serious Games: Any Difference? *Learning Solutions Magazine*. [Internet]. Available at: <http://www.learningsolutionsmag.com/articles/1337/gamification-game-based-learning-serious-games-any-difference>.

Buck, W., 2013. Business Ethics Simulations: The Role of Reflection, Intentionality and Assessment. In: Society for Business Ethics 2013 Annual Conference, Miami. [Internet]. Available at: https://www.academia.edu/3567938/Business_Ethics_Simulations_The_Role_of_Reflection_Intentionality_and_Assessment.

Fink, S., Kiili, K., & Bullinger, A., 2014. Measuring Game Experience and Learning Effects of Business Games. In: Conference of the International Simulation and Gaming Association, Dornbirn, pp.141-152.

Finkelstein, N.D., Adams, W.K., Keller, C.J., Kohl, P.B., Perkins, K.K., Podolefsky, N., Reid, S., LeMaster, R., 2005. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review, Special Topics: Physics Education Research*, 1(1), pp.1-8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>.

Geuting, M., 2000. *Soziale Simulation und Planspiel in pädagogischer Perspektive. Eine Bestandsaufnahme der internationalen Diskussion* Münster. Hamburg - London: LIT Verlag.

Holmes, B., & Gardner, J., 2006. *E-learning concepts and practice*. London: Sage publications, p.5.

Hunzeker, M., & Harkness, K., 2014. The Strategy Project: Teaching Strategic Thinking through Crisis Simulation. *PS: Political Science & Politics*, 47(2), pp.513-517. Available at: <http://dx.doi.org/10.1017/S104909651400047X>.

Leger, P.M., Charland, P., Feldstein, H.D., Robert, J., Babin, G., & Lyle, D., 2011. Business Simulation Training in Information Technology Education: Guidelines for New Approaches in IT Training. *Journal of Information Technology Education*, 10(1), pp.39-53.

Lunce, L.M., 2004. Computer Simulations in Distance Education. *International Journal of Instructional Technology & Distance Learning*, 1(10), p.29.

Miljković, B., Žižović, M.R., Petojević, A., & Damljanović, N., 2017. New Weighted Sum Model. *Filomat* (accepted for publication).

Miljković, B.D., Petojević, A.V., & Žižović, M.R., 2016. Monitoring the effect of motivation on mastering knowledge and skills in distance learning systems. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 64(4), pp.1009-1032. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg64-10687>.

Nikolić, I., & Borović, S., 1996. *Višekriterijumska optimizacija* (in Serbian). Beograd: Centar vojnih škola Jugoslavije.

Prensky, M., 2001. *Digital game-based learning*. New York: McGraw Hill, p.128.

Radojičić, M., & Žižović, M.R., 1998. *Applications of methods of multi-criteria analysis in business decision-making* (in Serbian). Čačak, Serbia: Technical faculty. Monograph.

Shank, P., 2013. eLearning Guild Research: Got Game? *Learning Solutions Magazine*. [Internet]. Available at: <http://www.learningsolutionsmag.com/articles/1227/elearning-guild-research-got-game>. Accessed: 18 Jun 2016.

Tonks, D., 2002. Using marketing simulations for teaching and learning: Reflections on an evolution. *Active Learning in Higher Education*, 3(2), pp.177-194, July.

Trybus, J., 2015. *Game-Based Learning: What it is, Why it Works, and Where it's Going*. New Media Institute. [Internet]. Available at: <http://www.newmedia.org/game-based-learning--what-it-is-why-it-works-and-where-its-going.html>. Accessed: 20 Jun 2016.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

Малиша Р. Жижович, Катарина Г. Плечич
Университет Сингидунум, г. Белград, Факультет управления
здоровохранением, бизнеса и юридических наук, г. Валево, Республика
Сербия

ОБЛАСТЬ: математика
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье представлен многокритериальный анализ отдельных возможностей по организации образовательных программ в ВУЗ-ах. Вследствие широкого применения современных информационных технологий, традиционная образовательная система требует больших перемен. Одной составляющей таких перемен является внедрение специально разработанных компьютерных игр, симулирующих реальную деловую обстановку. Традиционные пассивные образовательные программы сосредоточены на отдельных и узко направленных знаниях, в конечном итоге, испытуемые представляют заученные знания, приобретенные на основании услышанного. Однако такого

рода усвоение знаний, даже в случае, когда они хорошо усвоены, не предусматривают поведенческих аспектов, как самого учащегося, так и его будущих деловых партнеров. С помощью игр создается ощущение участия в реальных событиях, они лучше мотивируют учащихся и делают процесс обучения интересным. Интерактивный фактор игр приводит к высокой степени ангажированности самих участников, при этом аспект развлечения постепенно опускается, делая игру серьезным инструментом в процессе обучения. От обычных компьютерных игр дидактические, в первую очередь, отличаются целью, которая заключается в усвоении знаний. В такого рода дидактических компьютерных играх, участник занимает активную позицию, так как от его решений зависит развитие и исход игры.

Ключевые слова: многокритериальный анализ, критерии, критерии сложности, игры, моделирование.

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА ОЦЕНА МОГУЋИХ ПРИМЕНА РАЧУНАРСКИХ ИГАРА У НАСТАВИ

Малиша Р. Жижовић, Катарина Г. Плећић
Универзитет Сингидунум Београд, Факултет здравствених, правних и пословних студија, Ваљево, Република Србија

ОБЛАСТ: математика
ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду се даје вишекритеријумска оцена неколико могућих приступа организовању студија. Захваљујући све широј употреби савремених информационих технологија, традиционални образовни систем суочава се са великим променама. Једна од њих је и развој озбиљних игара које симулирају рад реалних пословних окружења.

Традиционални, пасивни приступ образовању обучава нас за неке уске процедуре, а затим врши евалуацију на основу нашег сећања на оно што нам је речено. Чак и када смо успешно савладали чињенице и процедуре, наше понашање у правим животним ситуацијама остаје непроверено. Игре покушавају да реше проблем, мотивишу и промовишу учење. Њихов интерактивни аспект доводи до високе укључености самих учесника у активности игре, па оне више немају сврху искључиво забаве већ постају озбиљан алат за учење. Од класичних забавних игара одваја их првенствено другачији циљ, тј. могућност да се учеснику игре, поред забаве, пружи и едукативна компонента. Такође, учесник није пасивни играч већ својим одлукама и поступцима

директно може утицати на ток игре, доводећи до добрих или лоших резултата.

Кључне речи: вишекритеријумска анализа, критеријуми, тежина критеријума, игре, симулације.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 23.01.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 01.04.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 03.04.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



TWENTY-FOUR POSITION TILT TEST FOR ACCELEROMETER CROSS-AXIAL SENSITIVITY COMPENSATION

Miodrag Z. Malović^a, Ljiljana M. Brajović^b,
Tomislav B. Šekara^c

^a University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy,
Innovation Center, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: ofis@malovic.in.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0691-4626>

^b University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,
Department of Mathematics, Physics and Descriptive Geometry,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: brajovic@grf.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2265-7308>

^c University of Belgrade, School of Electrical Engineering,
Signals and Systems Department, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: tomi@etf.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0001-8031-3135>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13137>

FIELD: Electronics

ARTICLE TYPE: Original scientific paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Cross-axial or transverse sensitivity of an accelerometer can be compensated by digital processing of the output signal. To perform this, it is necessary to determine coefficients that describe a sensor's response to excitation experimentally. Many procedures advised by standards and scientific papers use expensive equipment which is not available in every laboratory. Therefore, a simple method is proposed, namely a variation of the static tilt test, requiring no other measuring equipment than the sensor itself and a flat surface. Results vary depending on sensor surface and housing quality, but it has been shown that cross sensitivity effects can be reduced from several percent usually associated with commercial three-axial MEMS accelerometers down to 1% or less.

Key words: accelerometers, digital signal processing, acceleration, sensitivity, transverse, sensors, MEMS.

ACKNOWLEDGEMENT: The authors are thankful for the financial support from the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia (national projects TR-36048 and III-44002).

Introduction

There are various imperfections influencing accelerometer performances. They are mainly non-linearity (including hysteresis), cross-axial (also referred to as transverse) sensitivity, and dynamic characteristics (primarily bandwidth limitations). Additionally, all of them are subject to temperature fluctuations and aging (Lawrence, 2001). However, some of these effects can be examined experimentally and digital processing can be used to improve the quality of acquired data subsequently.

Transverse sensitivity of three-axial accelerometers is caused mainly by misalignment of their axes, which inevitably occurs in the process of manufacture (Liu, et al, 2009, pp.196-200). Things get worse with miniaturization. While new-generation micro-electro-mechanical (MEMS) accelerometers are more practical than classical ones in many ways, especially in terms of low power consumption (necessary for battery-powered systems), small proof masses and electrodes are more difficult to align properly. Therefore, commercial MEMS accelerometers exhibit higher cross-axial sensitivities, typically equal to several percent (Sysoeva, 2006, pp.28-39).

Theoretical analysis

A simple method for calibration of accelerometers, for both main axis sensitivity and cross-axial sensitivity, which can be performed in any laboratory, is a so-called tilt test (VTI Technologies, 2005). An accelerometer is placed into six perpendicular positions where g acts in the directions of $+x$, $-x$, $+y$, $-y$, $+z$ and $-z$ (shown in Fig. 1), and the output is analyzed. Cross-axial sensitivities are defined as follows:

$$T_x = \frac{\sqrt{c_{xy}^2 + c_{xz}^2}}{c_{xx}} \quad T_y = \frac{\sqrt{c_{yx}^2 + c_{yz}^2}}{c_{yy}} \quad T_z = \frac{\sqrt{c_{zx}^2 + c_{zy}^2}}{c_{zz}}, \quad (1)$$

where T_i is the cross-axial sensitivity for the axis i (x , y or z), and c_{ij} are the coefficients from:

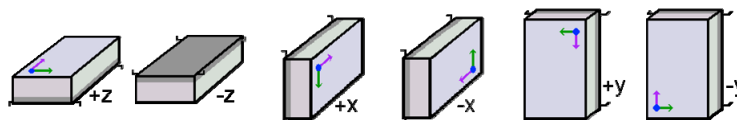


Figure 1 – Tilt test basic positions

Рис. 1 – Основные положения тестирования статического угла наклона

Слика 1 – Основне позиције тилт-теста

$$\begin{aligned}
 f_x &= c_{xx}a_x + c_{xy}a_y + c_{xz}a_z + k_x \\
 f_y &= c_{yx}a_x + c_{yy}a_y + c_{yz}a_z + k_y \\
 f_z &= c_{zx}a_x + c_{zy}a_y + c_{zz}a_z + k_z,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

describing the influence of the j axis excitation on the i axis output f_i . The coefficients labeled k_i denote zero offsets (outputs for zero excitation). The cross-axial sensitivity T_i is a parameter describing the quality of a sensor (the manufacturer usually specifies its maximum value), but its numerical value alone cannot be used for software correction (signal processing). To do that, it is necessary to determine all c_{ij} and k_i coefficients.

The system of three equations with three variables is solved and the inverse equations read:

$$\begin{aligned}
 a_x &= \frac{(f_x - k_x)(c_{yy}c_{zz} - c_{yz}c_{zy}) + (f_y - k_y)(c_{xz}c_{zy} - c_{xy}c_{zz}) + (f_z - k_z)(c_{xy}c_{yz} - c_{xz}c_{yy})}{c_{xx}(c_{yy}c_{zz} - c_{yz}c_{zy}) + c_{yx}(c_{xz}c_{zy} - c_{xy}c_{zz}) + c_{zx}(c_{xy}c_{yz} - c_{xz}c_{yy})} \\
 a_y &= \frac{(f_x - k_x)(c_{yz}c_{zx} - c_{yx}c_{zz}) + (f_y - k_y)(c_{xx}c_{zz} - c_{xz}c_{zx}) + (f_z - k_z)(c_{xz}c_{yx} - c_{xx}c_{yz})}{c_{xy}(c_{yz}c_{zx} - c_{yx}c_{zz}) + c_{yy}(c_{xx}c_{zz} - c_{xz}c_{zx}) + c_{zy}(c_{xz}c_{yx} - c_{xx}c_{yz})} \\
 a_z &= \frac{(f_x - k_x)(c_{yx}c_{zy} - c_{yy}c_{zx}) + (f_y - k_y)(c_{xy}c_{zx} - c_{xx}c_{zy}) + (f_z - k_z)(c_{xx}c_{yy} - c_{xy}c_{yx})}{c_{xz}(c_{yx}c_{zy} - c_{yy}c_{zx}) + c_{yz}(c_{xy}c_{zx} - c_{xx}c_{zy}) + c_{zz}(c_{xx}c_{yy} - c_{xy}c_{yx})}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Twenty-four position tilt test

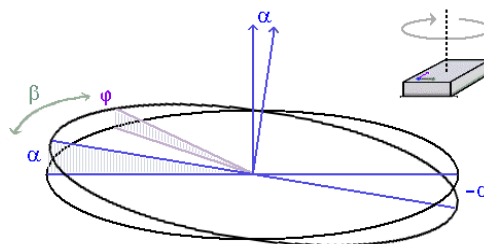


Figure 2 – Rotation of the accelerometer
 Рис. 2 – Поворот акселерометра
 Слика 2 – Ротација акцелерометра

If there is a small angle α between the actual gravitational field orientation and the three-axial accelerometer main axis, the transverse axes are exposed to gravitational accelerations in the order of $g \cdot \sin(\alpha)$. This function has large variations around zero thus preventing us from

obtaining reliable coefficients of cross-axial sensitivity by a straightforward tilt test. Let us observe a transverse axis, perpendicular to the main one that is inclined by a small angle α to the vertical (as depicted in Fig. 2). The angle between this axis and the horizontal plane varies in the $-\alpha$ to $+\alpha$ range depending on the angle of rotation around the main axis β so that:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha \cos \beta,$$

counting β from the highest inclination point. It can be approximated by:

$$\varphi \approx \alpha \cos \beta,$$

provided that α is small. Taking N arbitrary values of β which differ by $\Delta\beta=2\pi/N$ (i.e. uniformly distributed points on the circle), the corresponding average $\sin(\varphi)$ and $\cos(\varphi)$ become zero. The accelerometer rotation thus cancels the main axial sensitivity of each transverse axis to the lateral component $g \cdot \sin(\varphi)$, but not the intrinsic cross-axial sensitivity, the existence of which contributes to the output signal.

A customary method of accelerometer cross-axial sensitivity calibration is placing the sensor into two opposite static positions in each of six basic planes and averaging the output (Sill, Seller, 2006, p.3). This is equivalent to the described rotation with $N=2$ and $\Delta\beta=\pi$. A disadvantage of any static tilt test is the inability to place the sensor into repeatable positions with good relative orthogonality, due to the flexibility of the housing and the plastic board the sensor is attached to, and the unevenness of the surface and the housing (which is prone to non-elastic deformations over time). Another calibration method is to create variations in one axis output of the accelerometer by rotating it in the perpendicular plane, thus exposing it to inertial acceleration in two transverse directions, and then record and process these variations (Dosch, 2000), (Veldman, 2012, pp.254-262). A disadvantage of dynamic methods is the need for complex equipment, not available in every laboratory.

Although the proposed 24-position tilt test ($N=4$, $\Delta\beta=\pi/2$) seems very similar to the 12-position test ($N=2$, $\Delta\beta=\pi$), four rotation positions are better not only because there is more data to average. The operator can keep track of the values and repeat the experiment if they do not follow the symmetry rule, which is easily visualized. Four arbitrary angles differing by 90° should produce output equal to $f_0+k \cdot \cos(\beta)$, $f_0-k \cdot \sin(\beta)$, $f_0-k \cdot \cos(\beta)$, and $f_0+k \cdot \sin(\beta)$, where f_0 is the mean value, and k is a constant depending on α and cross-axial sensitivity. In other words, multiple symmetry must be observed. The mean value from positions 1 and 3 must match the mean value from positions 2 and 4 (to an achievable degree of precision); the difference between positions 1 and 2 must match the difference between positions 3 and 4; etc. Otherwise, the measurement has to be repeated.

This kind of control cannot be implemented if only two positions per plane are used.

The test has been discussed and performed experimentally with three-axial accelerometers. It could also be conducted with two-axial accelerometers although their smaller cross sensitivity makes it less convenient. Single axis accelerometers have cross sensitivity too low for this method to be feasible in most cases.

Experiments

The experiments were performed using a wireless sensor device designed primarily for vibrations measurements in civil engineering (Malović et al, 2013, pp.19-26). It is made in surface mount technology and features LIS3LV02DL 3-axial 12-bit digital MEMS accelerometer, with up to 3.5% cross-axial sensitivity according to manufacturer's specification.

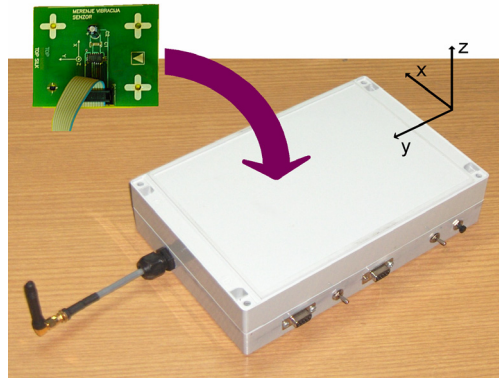


Figure 3 – Sensor device in its plastic housing
Рис. 3 – Устройство в пластиковом корпусе
Слика 3 – Сензорски уређај у пластичном кућишту

The range and frequency are programmable. Since the excitation in the tilt test ranges within $\pm g$, the shortest range of $\pm 2g$ was used, as well as the lowest sampling frequency of 40 Hz, for the lowest noise. The accelerometer chip is embedded into a small plastic board and attached to the housing (shown in Fig. 3), separately from the main board. Three pieces were tested by moving the entire housing manually on an ordinary surface such as an office desk. No measuring equipment other than the sensor itself was used.

The devices were programmed to perform series of hundreds of measurements and average the result for each position. Data was acquired by a radio modem (a display could have been attached to serve the same purpose). It is important in an experiment of this type to make

sure that the accelerometer is allowed minimum freedom of movement in the reference frame of the housing. The accelerometer boards were firmly attached by bolts embedded into the housings.

Table 1 – Experimental results on three different surfaces

Таблица 1 – Экспериментальные результаты по трем различным поверхностям
Табела 1 – Резултати експеримента на три различите подлоге

	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X3	Y3	Z3
$\bar{f}(z)$	-2.12	+3.16	+0.59	+4.68	-0.12	-21.69	-19.57	-10.34	+18.02
	+1.05	-0.99*	+0.18	+1.92	-0.30	-21.86	-20.61	-10.15	+18.82
	-1.52	+4.30	+1.38	+1.34	+1.68	-21.44	-19.53	-9.28	+18.60
$\Delta f(z)$	-32.16	-18.46	2069.1	+9.35	+4.20	2067.7	-9.69	+7.36*	2071.4
	-31.65	-15.85	2070.1	+12.64	+5.72	2069.0	-9.95	+3.75	2071.6
	-31.30	-15.20	2069.4	+10.20	+3.37	2068.6	-8.59	+1.38	2071.4
$\bar{f}(y)$	-3.56	+4.66	+2.79	+0.16	+10.45	-18.54	-20.31	-17.40	+20.85
	+1.26	+4.71	+2.23	+7.01*	+9.66	-20.05	-19.30	-17.59	+24.46
	-8.48	+4.60	+3.67	-4.69	+10.19	-18.37	-26.39	-17.55	+20.79
$\Delta f(y)$	+27.76	2057.7	+25.75	+64.44	2043.8	+5.11	+38.53	2044.9	+10.23
	+38.07	2057.2	+21.64	+69.99	2043.8	-3.05	+38.59	2045.1	-7.47*
	+30.44	2057.2	+10.35	+64.13	2044.3	-5.84	+49.52	2045.0	+2.63
$\bar{f}(x)$	+4.36	-2.30	-5.37	-2.13	-5.54	-26.61	-18.91	-16.12	+12.50
	+4.45	-2.44	-6.13	-1.18	+0.18	-24.56	-19.06	-8.70*	+15.08
	+4.64	-1.66	-4.16	-1.80	-4.51	-24.30	-19.02	-15.43	+15.26
$\Delta f(x)$	2031.9	+3.65	+3.36	2029.7	-30.31	-40.75	2017.0	-7.00	-17.98
	2030.0	+5.01	+3.83	2031.2	-16.01	-50.19	2017.6	+8.48	-22.59
	2031.2	+10.29	+18.86	2030.5	-28.56	-25.47*	2016.5	-3.55	-3.53

The preliminary experiments with the ordinary tilt test in just six positions yielded poor results. Variations of 1% g or more occurred commonly, implying that transverse sensitivity already below 3.5% cannot be compensated significantly. The results of three 24-position experiments, expressed in raw quanta (the digital output of the chip; 1024 quanta correspond to g nominally) are presented in Table 1. They were performed on a metal surface, a wooden surface, and a slightly sloped wooden surface (1.5°), to show that a small slope does not influence the results significantly. For clarity reasons, the results from different experiments are displayed in different rows inside the same table cells. The $\bar{f}(i)$ represents the average output of the channel i from +g and -g excitation in the j direction. This would be zero offset if we suppose that the transfer function is linear. The $\Delta f(i)$ denotes the difference between the two outputs. It should be divided by 2g to obtain the coefficients c_{ij} from equations (1)-(3). The column headers show the excitation axis j and the sensor serial number. The sign was omitted for the main axial sensitivities related numbers ($i=j$) which are always positive and have a nominal value

of 2048 quanta. The result labeled with an asterisk has the highest deviation from the average for that row. The maximum deviations between the experiments were pointed out this way.

The housing sides are very different, as we can see in Fig. 3. The z side (in the x-y plane), on which the housing is laid in Fig. 3, is relatively flat and large. This causes the z-excitation-related coefficients to be most reliable (these coefficients feature in the x and y cross-axial sensitivity). The antenna on the y side can be detached when the housing is laid on that side or the housing can simply hang over the edge of the surface (the device center of mass is still above the contact surface). However, the total surface of this side is smaller, causing the results to be of lower quality (the same unevennesses cause larger orientation changes). Finally, the switches on the front, x side, make the device unable to stand on two supports so it must be hung over the surface edge, only this time the mass center is off, and the operator must hold the device manually. Therefore, the worst results are obtained for the y-direction-related coefficients. The housings were the prototypes used intensively for about two years before these experiments took place, so it is reasonable to suppose that better results could be achieved with newer equipment.

It can be concluded that for the z (most suitable surface of the housing) excitation coefficients, the maximum deviation from the mean value from all experiments is about 3 quanta (one quantum equals approximately 10^{-3} g), or 0.3%. For the y excitation coefficients, the maximum deviation from the mean value is about 9 quanta (0.9%), and for the worst case, the x excitation coefficients, the maximum deviation is about 13 quanta (1.3%).

The highest measured cross-axial sensitivity is 3.3% (for the x-axis of sensor 2) so we can conclude that this fits the manufacturer's specification (up to 3.5%).

Non-linearity analysis

According to the manufacturer's specification, the accelerometer has the maximum non-linearity of 3% full scale. This sheds some doubts on the validity of the model described by equations (2)-(3), without prior examination of the transfer function of the accelerometer main axis. These equations describe a simple linear transfer function. The experiments (Table 1) have shown that the average value of the output \bar{f} , which should ideally (assuming no non-linearity) always be equivalent to zero offset k_i (regardless of the excitation axis), varies by several per mille g in most cases (as a function of the excitation axis). For small output changes (Δf) in case of excitation in transverse directions, we can state that $\bar{f}^{(i)}$ corresponds to the coefficient k_i from equations (2) relatively accurately.

While a good match between two transverse axes' \bar{f} values indicates that an experiment was conducted well, a match between these and the main axis \bar{f} implies low non-linearity inside the applied range. Only one of nine cases (Y2 in Table 1) features a deviation higher than 1%, so we can conclude that typical non-linearity in the middle of the range ($\pm g$ is one half of the programmable range used in the experiments, but one sixth of the maximum range of $\pm 6g$) is significantly lower than the one declared for the whole range. To study the non-linearity effects further, experiments with more precise equipment are required.

Conclusion

The experiments with the 24-position tilt test have shown that it can produce much more repeatable results than the tests with 6 or 12 positions, primarily because of the ability of the operator to control experimental results quality (repeat measurements if necessary). It can be concluded that it is possible to achieve certain degree of precision in cross-axial sensitivity calibration of MEMS accelerometers embedded into plastic housings without any external equipment. Theoretically, it is possible to reduce the maximum cross-axial sensitivity to several parts per thousand. Practical results depend on mechanical parameters (stiffness and evenness of the base surface and the sensor housing, and the quality of accelerometer embedment) as well as the quality of the accelerometer (primarily non-linearity).

Like all electronic components, accelerometers age too, so this type of calibration needs to be performed at least on a yearly basis to maintain its level of accuracy.

References

- Dosch, J.J., 2000. Automated testing of accelerometer transverse sensitivity, PCB Piezotronics Technical note AR-69.
- Lawrence, A., 2001. Modern inertial technology: Navigation, guidance and control. 2nd ed. New York | Berlin | Heidelberg: Springer-Verlag.
- Liu, Y., Wang, G., Guo, C., 2009. Analysis for transverse sensitivity of the microaccelerometer. *Engineering*, 1(3), pp.196-200. Available at: <http://dx.doi.org/doi:10.4236/eng.2009.13023>.
- Malović, M., Brajović, L., Mišković, Z., Todorović, G., 2013. Vibration measurements using a wireless sensors network. *Technics*, 68(special edition), pp.19-26.

Sill, R.D., Seller, E.J., 2006. Accelerometer transverse sensitivity measurement using planar orbital motion. In: Proc. of 77th Shock and Vibration Symposium, Monterey, CA, USA.

Sysoeva, S., 2006. Avtomobil'nye akselerometry. Chast' 5. Perspektivnaja jelementnaja baza poverhnostnyh kremnievyh emkostnyh MEMS-akselerometrov (in Russian). Components and Technology, 4, pp.28-39.

Veldman, C.S., 2012. Implementation of an accelerometer transverse sensitivity measurement system. In: Proc. of Test & Measurement Conference, Muldersdrift, Gauteng, South Africa, pp.254-262.

VTI Technologies, 2005. Cross-axis compensation, Application note 32. [Internet]. Available at: http://www.mouser.com/pdfdocs/an32_crossaxis_compensation.PDF. Accessed: 25. January 2017.

КОМПЕНСАЦИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЭМС АКСЕЛЕРОМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕСТИРОВАНИЯ СТАТИЧНОГО УГЛА НАКЛОНА, ПРОВЕДЕННОГО В 24-ЕХ ПОЗИЦИЯХ

Миодраг З. Малович^а, Лиляна М. Брајович^б, Томислав Б. Шекара^в

^а Университет в Белграде, Факультет технологии и металлургии, Инновационный центр, г. Белград, Республика Сербия

^б Университет в Белграде, Строительный факультет, Кафедра математики, физики и начертательной геометрии, г. Белград, Республика Сербия

^в Университет в Белграде, Факультет электротехники, Кафедра сигналов и систем, г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: электроника

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Кросс-осевая или поперечная чувствительность акселерометра может быть компенсирована цифровой обработкой выходного сигнала. При этом необходимо экспериментально определить коэффициенты реакции датчика на сигнал. Для проведения подобных мероприятий, в соответствии с рекомендациями стандартов и научных статей, применяется достаточно дорогое оборудование, которое не все лаборатории могут себе позволить. В данной связи представлен простой альтернативный метод, разновидность тестирования статического угла наклона, не требующий никаких измерительных приборов, кроме датчика и плоской поверхности. Несмотря на то, что результаты зачастую зависят от качества поверхности и корпуса датчика, на практике было доказано, что значения поперечной чувствительности при

таком методе значительно снижены (в несколько раз), и что типичная поперечная чувствительность трехосевого МЭМС акселерометра с нескольких процентов достигла значения ниже 1%.

Ключевые слова: акселерометры, цифровая обработка сигналов, ускорение, чувствительность, поперечная, датчики, МЭМС.

КОМПЕНЗАЦИЈА ПОПРЕЧНЕ ОСЕТЉИВОСТИ МЕМС АКЦЕЛЕРОМЕТРА МЕТОДОМ ТИЛТ-ТЕСТА У 24 ПОЗИЦИЈЕ

Миодраг З. Маловић^а, Љиљана М. Брајовић^б, Томислав Б. Шекара^в

^а Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Иновациони центар, Београд, Република Србија

^б Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Катедра за математику, физику и нацртну геометрију, Београд, Република Србија

^в Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Катедра за сигнале и системе, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: електроника

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Крос-аксијална, односно попречна осетљивост акцелерометра може бити компензована дигиталним процесирањем излазног сигнала. Да би се то извело, потребно је експериментално одредити коефицијенте који описују одговор сензора на побуду. Многе процедуре које се односе на то, а које су препоручене стандардима и научним чланцима, користе скупу опрему која није доступна у свакој лабораторији. Зато је предложен једноставан алтернативни метод, варијација статичког тилт-теста, који не захтева никакву другу мерну опрему осим сензора и равне површине. Резултати варирају у зависности од квалитета површине и кућишта сензора, али је показано да се ефекти попречне осетљивости могу смањити бар неколико пута, те да се типична попречна осетљивост комерцијалних троосних МЕМС акцелерометара од неколико процената може лако свести испод 1%.

Кључне речи: акцелерометри, дигитална обрада сигнала, убрзање, осетљивост, попречна, сензори, МЕМС.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 07.02.2017.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /

Датум достављања исправки рукописа: 17.03.2017.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 19.03.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / *Vojnotehnički glasnik / 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/>).



PROPERTIES OF THE COATING DEPOSITED WITH THE DIFFUSION OF MO&O₂ OXIDIZED POWDER USING THE APS PROCESS

Mihailo R. Mrdak

Research and Development Center IMTEL Communications a.d.,

Belgrade, Republic of Serbia,

e-mail: miki@insimtel.com,

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

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-11966>

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

Powder Mo&O₂ has an important role in the production of coatings with increased resistance to slide in conditions without the use of lubricants. Mo&O₂ coatings have the low coefficient of friction and good abrasion characteristics in mechanical stresses. For the purpose of producing coatings of high hardness, Mo&O₂ powder is plasma deposited with optimal parameters. The surface shape of oxide powder particles and the coating fracture surface are analysed by SEM, and the microstructure of layers is examined by light microscopy. The coating microstructure consists of Mo lamellae and MoO₃ and MoO₂ primary oxide thin films, which surround the Mo lamellae. The analysis of the obtained results showed that the Mo&O₂ coating layers with the diffusion oxidized Mo particles have such a structure and mechanical characteristics which enable its application in working tools under the conditions of wear and sliding friction without lubricants.

Keywords: particles, friction, deposits, property, powders, oxidizers, microstructures, lubrication, coatings.

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

Introduction

The MoO₂ coating resistance to wear depends on the oxygen content and the applied kind of technological process of coating production (Mrdak, et al, 2005, pp.235-239), (Salhi, et al, 2005, pp.145–150). Molybdenum powders containing oxygen MoO₂ can attain high hardness values. The content of oxygen in the plasma spray coating essentially depends on the applied gases and applied power devices. After the production of MoO₂ coatings, the layers have sufficient concentration of oxygen which gives to oxides high hardness the values of which exceed 1000HV. Thus deposited coatings can increase fatigue strength to friction up to 120% in working tool surfaces, thus preventing loss of the material by friction. The friction that always occurs between two movable contact surfaces causes damage such as friction wear and friction fatigue. There are many research papers relating to the mechanisms of friction wear and friction fatigue. Modes of friction are standardized and used to study the behavior of different materials regarding the mechanism of friction wear (Vencl, et al, 2011, pp.1281-1288), (Mrdak, 2016a, pp.411-430), (Mrdak, 2016b, pp.949-965). By microscopic examinations, the authors (Chen, et al, 2007, pp.2132-2138), (Yongqing, et al, 2000, pp.231-245) found that Mo lamellae and MoO₂ and MoO₃ primary oxides from powder are present in the MoO₂ coating. Oxides are present in the form of thin films that surround Mo lamellae. The MoO₂ oxide phase increases hardness but also brittleness which negatively affects the cohesive strength of lamellae (Modi, Calla, 2001, pp.480-486). The best structure is found in coatings where oxide films are continuously arranged along the coating and act as a lubricant while preventing metal contact and maintain a low coefficient of friction. The crystal structure of MoO₂ is monoclinic while α-MoO₃ and β-MoO₃ oxides are of orthorhombic and monoclinic structures (Jullien, et al, 1995, p.235). Tests of the MoO₂ coating to wear determined that MoO₂ oxide in the coating reduces the coefficient of friction under 0:15, and MoO₃ oxide to the values in the range of 0.1 to 0.12 which is quite stable (Lyo, et al, 2003, pp.413-421), (Solak, et al, 2003, pp.713-719), (Suszko, et al, 2005, pp.319-324).

The aim of the study was to use atmospheric plasma for depositing MoO₂ powder particles which will form hard slide-resistant coating layers. The paper analyzes the mechanical properties of micro hardness

and the tensile bond strength as well as the microstructure on a light microscope and the morphology of powder particles and the coating fracture surface on the SEM. The analyses of the layers confirm the good mechanical and structural characteristics of Mo&O₂ coatings, which make them reliable in conditions of sliding friction without lubrication.

Materials and experimental details

The Mo&O₂ powder used in the experiment had an oxygen content of 3% made by the Amperite program arising from the HCST production. Figure 1 (SEM) shows the powder particles of sharp and rounded edges, with a range of grains of 5 - 45 μm.

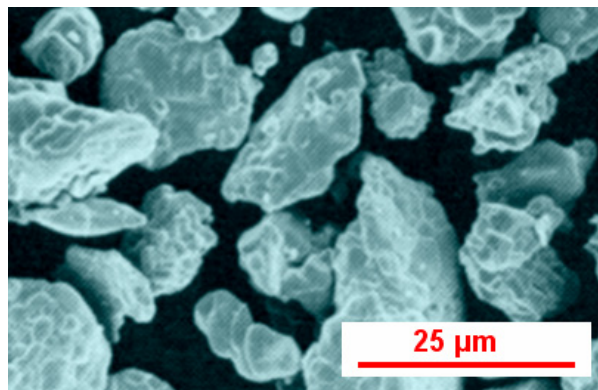


Figure 1 – (SEM) surface shape of Mo&O₂ powder particles
 Рис. 1 – (SEM) Изображение поверхности частиц порошка Mo&O₂
 Слика 1 – (SEM) Облик површине честица праха Mo&O₂

The substrate for deposited coatings was made of steel (X15Cr13 EN10027) according to the standard (Turbojet Engine, 2002). Microhardness was tested using the method of HV_{0.3} with five reading values at the left end of the sample (A) in the middle (B) and at the right end (C) of the sample. The paper presents min. and max. HV_{0.3} values. The bond strength testing was done on five samples by tensile testing at room temperature, and the average values are shown in the paper. The shape of the surface of powder particles and the coating fracture surface were analyzed by SEM. The microstructures of coating layers were analyzed with light microscope and the quantitative analysis of the average pore content in layers was carried out.

Mo&O₂ powder was deposited at atmospheric pressure by a SG-100 plasma gun with the use of a mixture of Ar and He gases and power

up to 40kW. The Mo&O₂ powder disposition parameters are shown in Table 1. The coating was deposited in a thickness from 0.45 to 0.48 mm.

Table 1 – Powder deposition parameters
Таблица 1 – Параметри напыления порошка
Табела 1 – Параметри депозиције праха

Deposition parameters	Values
Plasma current, I (A)	600
Plasma Voltage, U (V)	31
Primary plasma gas flow rate, Ar (l/min)	48
Secondary plasma gas flow rate, He (l/min)	12
Carrier gas flow rate, Ar (l/min)	4.5
Powder feed rate (g/min)	35
Stand-off distance (mm)	100

Results and discussion

Figure 2 shows the values of the Mo&O₂ coating microhardness. At the left end of the sample, the coating microhardness was in the range of 968 - 1260HV_{0.3}, with the average value of 1114HV_{0.3}, the point (A). In the middle of the sample, microhardness is in the range of 972 - 1334 HV_{0.3} with an average value of 1153HV_{0.3}, the point (B). At the point (C) which was located at the right end of the sample, microhardness covers the range of 934-1310 HV_{0.3} with an average value of 1122HV_{0.3}.

The microhardness values were consistent with the oxygen content in the powder and with the primary oxide content in the coating. The microhardness values are quite high in comparison to conventional Mo coatings. Since oxides are present in the coating, the coating microhardness mean values are fairly uniform at all measuring points. This is the first indication that the oxide distribution in the coating layers is uniform (homogeneous). The coating had a mean value of the adhesion strength of 38MPa with a fracture mechanism at the substrate / coating interface.

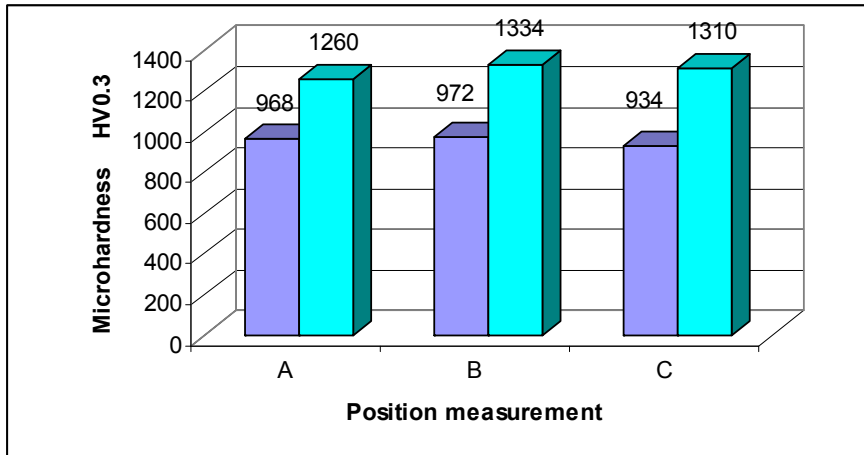


Figure 2 – The microhardness of the Mo&O₂ coating, the measurement positions
 Рус. 2 – Микротвердость покрытия Mo&O₂ в точках измерения
 Слика 2 – Микротврдоће превлаке Mo&O₂ на позицијама мерења

Figure 3 shows the microstructure of the plasma spray Mo&O₂ coating recorded on a light microscope. At the substrate / coating interface, there are not any abnormalities that would reduce the impact on the coating adhesion strength. Light Mo lamellae are seen and between them dark and thin films of primary oxides are precipitated. At the inter-lamellar boundaries, there are black micro pores smaller than 10μm with a medium content in the coating of up to 3%.

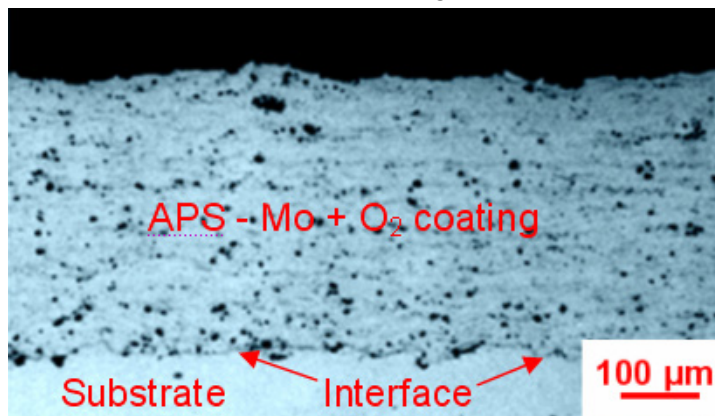


Figure 3 – Microstructure of Mo&O₂ coatings
 Рус. 3 – Микроструктура Mo&O₂ покрытия
 Слика 3 – Микроструктура Mo&O₂ превлаке

Figure 4 shows the microstructure of Mo&O₂ coatings at a higher magnification for the purpose of analysing the microstructure more clearly. The structure is the same as in Figure 3, except that dark oxide films can be more clearly noticed and that there are precipitates in the structure as a product of collisions of drops of molten powder particles with the substrate. There are neither cracks nor unmolten particles which could reduce the cohesive strength and coating resistance to friction fatigue. The coating primary phase is Mo with a centered cubic lattice in which are present the phases of MoO₂ oxide with the monoclinic lattice and MoO₃ oxide with the orthorhombic and monoclinic lattice (Chen, et al, 2007, pp.2132-2138), (Yongqing, et al, 2000, pp.231-245).

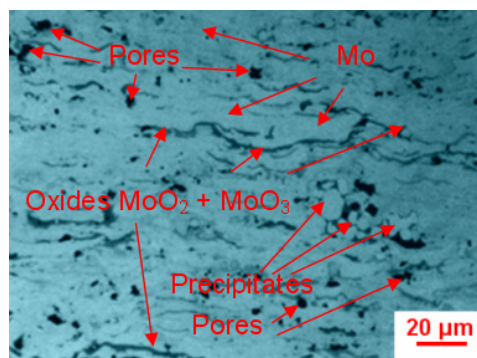


Figure 4 – Microstructure of Mo&O₂ coatings
 Рис. 4 – Микроструктура Mo&O₂ покрытия
 Слика 4 – Микроструктура Mo&O₂ преваке

Figure 5 shows the Mo&O₂ coating surface recorded by electron microscope (SEM).

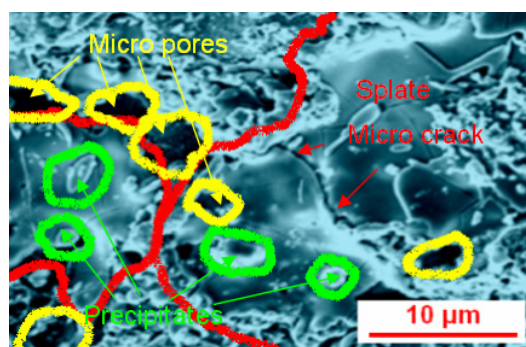


Figure 5 – (SEM) Surface of the Mo&O₂ coating
 Рис. 5 – (SEM) поверхность Mo&O₂ покрытия
 Слика 5 – (SEM) површина Mo&O₂ преваке

On the surface it is possible to see two flattened disc-shaped particles, created by the collision of drops of molten powder particles with the substrate and by their subsequent cooling to the surface temperature. These discs are separated by red lines. This kind of deformation of liquid droplets in a collision with the substrate and solidification is an indicator of good inter-lamellar cohesive strength. On the formed discs, there are visibly noticeable micro cracks caused by the solidification of liquid drops. They cannot gather since the substrate was exposed to spreading due to the increase in temperature caused by the amount of heat carried liquid drops and transferred to the substrate. At the interface between the discs (lamellae), there are black micro-pores of less than $10\mu\text{m}$ in diameter. Micro pores of irregular shapes are highlighted in yellow. Fine deposits on the surface of the discs and the discs boundaries are marked in green.

Figure 6 shows the surface of an Mo & O₂ coating fracture recorded on the SEM. Thin lamellae with clearly distinguished interfaces can be seen on the coating fracture. The morphologies of micro pores and precipitates are also clearly visible.

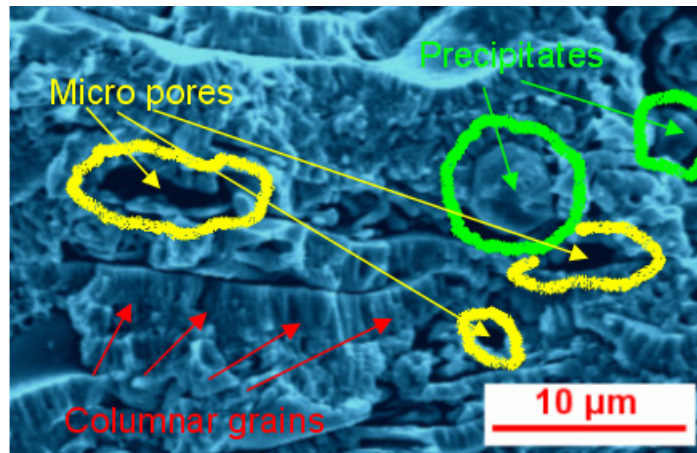


Figure 6 – SEM fracture of the Mo&O₂ coating surface
 Рис. 6 – (SEM) Поврежденная поверхность покрытия Mo&O₂
 Слика 6 – (SEM) површина лома превлаке Mo&O₂

The initial micro cracks occur in places with the highest stress. These places are interlamellar pores and interlamellar boundaries. Under the action of fracture forces on the substrate surface, initial micro cracks spread rapidly into macro cracks propagating vertically from the substrate surface through lamellae and micro pores up to the coating surface. The fracture shows clearly Mo lamellae with columnar grains

directed normally to the metal substrate. Columnar metal grains originate from and are formed on the surfaces of the previously deposited drops of melted particles cooled to the temperature of the substrate with deposited layers (Vardelle, et al, 1994, pp.50–58). The fracture image shows precipitates and micro pores smaller than 10 μm . The coating fracture is brittle due to present oxides.

Conclusion

The paper presents the results of the analysis of the atmospheric plasma spray deposited Mo&O₂ coating with a thickness from 0.45 to 0.48 mm. Based on the analysis of the layers, the following conclusions have been derived.

The Mo&O₂ coating had a high average value of microhardness 1114 to 1153HV_{0.3} and the adhesive bond strength of 38MPa due to the presence of oxide phases in the structure. The tensile testing showed the adhesive fracture mechanism.

The structure of the Mo&O₂ coating is lamellar, consisting of Mo lamellae and thin films of MoO₂ and MoO₃ primary oxides between the Mo lamellae. Among the Mo lamellae, there are micro pores of irregular shape up to 3%, and precipitates of less than 10 μm in size.

With its mechanical and structural characteristics, the Mo&O₂ coating can significantly increase the resistance of working surfaces exposed to dry sliding friction, which is what they are intended for.

References

Chen, D., Jordan, E., & Gell, M., 2007. Effect of solution concentration on splat formation and coating microstructure using the solution precursor plasma spray process. *Surface & Coatings Technology*, 202, pp.2132-2138. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.08.077>.

Jullien, C., Khelifa, A., Hussain, O.M. and Nazri, G.A., 1995. Synthesis and characterization of flash-evaporated MoO₃ thin films. *Journal of Crystal Growth*, 156(3), p.235. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0248\(95\)00269-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0248(95)00269-3).

Lyo, I.W., Ahn, H.S., Lim, D.S., 2003. Microstructure and tribological properties of plasmasprayed chromium oxide-molybdenum oxide composite coatings. *Surface & Coatings Technology* 163, pp.413-421. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00613-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00613-8).

Modi, S.C., Calla, E., 2001. A study of high-velocity combustion wire molybdenum coatings. *Journal of Thermal spray technology*, 2001, 10(3), pp. 480-486. Available at: <http://dx.doi.org/10.1361/105996301770349259>.

Mrdak, M., Kakaš, D., Pović, Đ., 2005. *Characterisation of APS-Mo wear resistant coatings*, pp.235-239. In: BALKANTRIB '05, 5th International conference on tribology, Serbia, Kragujevac, 15-18.

Mrdak, M., 2016a. *Properties of the ZrO₂MgO/MgZrO₃NiCr/NiCr triple-layer thermal barrier coating deposited by the atmospheric plasma spray process*. *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 64(2), pp.411-430. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg64-9612>.

Mrdak, M.R., 2016b. *Characterization of Cu10wt.%Al intermetallic coatings applied by the atmospheric plasma spraying process*. *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 64(4), pp. 949-965. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg64-10688>.

Salhi, Z., Klein, D., Gougeon, P., Coddet, C., 2005. Development of coating by thermal plasma spraying under very low-pressure condition <1 mbar. *Vacuum*, 77(2), pp.145-150. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2004.08.013>.

Solak, N., Ustel, F., Urgan, M., Aydin, S., Cakir, A.F., 2003. Oxidation behavior of molybdenum nitride coatings, *Surface & Coatings Technology* 174, pp.713-719. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(03\)00702-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00702-3).

Suszko, T., Gulbinski, W., Jagielski, J., 2005. The role of surface oxidation in friction processes on molybdenum nitride thin films. *Surface & Coatings Technology*, 194(2-3), pp.319-324. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.119>.

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

Vardelle, M., Vardelle, A. and Leger, A.C., 1994. Influence of particle parameters at impact on splat formation and solidification in plasma spraying processes. *Journal Thermal Spray Technology*, 4, pp.50-58. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02648528>.

Vencl, A., Arostegui, S., Favaro, G., Zivic, F., Mrdak, M., Mitrović, S., Popovic, V., 2011. *Evaluation of adhesion/cohesion bond strength of the thick plasma spray coatings by scratch testing on coatings cross-sections*. *Tribology International*, 44(11), pp.1281-1288. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2011.04.002>.

Yongqing, F., Jun, W., Andrew, W., 2000. Some considerations on the mitigation of fretting damage by the application of surface-modification technologies. *Journal of Materials Processing Technology*, 99(1-3), pp.231-245. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(99\)00429-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(99)00429-X).

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННОГО ДИФфуЗИОННЫМ ОКСИДНЫМ ПОРОШКОМ MoO_2 МЕТОДОМ APS

Михаило Р. Мрдак

Центр исследований и развития А.О. «ИМТЕЛ коммуникации», г.
Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: химические технологии

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Применение порошка MoO_2 играет важную роль в процессе нанесения покрытия с повышенной устойчивостью к скольжению в бесшмазочных условиях. Покрытия MoO_2 обладают низким коэффициентом трения и высоким пределом прочности при механическом напряжении. В целях достижения наибольшей прочности покрытия, порошок MoO_2 наносится методом плазменного напыления, с учетом оптимальных параметров. Характеристики состояния поверхности частиц оксидного порошка и поверхности излома покрытия установлены SEM методом. А микроструктура слоев нанесенного покрытия испытана методом световой микроскопии. Микроструктура покрытия состоит из ламелей Mo и тонких оксидных прослоек MoO_2 и MoO_3 вокруг ламелей Mo . Анализ полученных результатов доказал, что слои покрытия MoO_2 с диффузионными оксидными частицами Mo обладают структурой и механическими характеристиками, позволяющими нанесение данного покрытия на поверхности рабочих участков в условиях износа и скольжения при бесшмазочном трении.

Ключевые слова: частицы, трение, нанесение, свойства, порошок, оксидаторы, микроструктуры, смазка, покрытие.

СВОЙСТВА ПРЕВЛАКЕ ДЕПОНОВАНЕ ДИФфуЗИОНО ОКСИДИРАНИМ ПРАХОМ MoO_2 ПРИМЕНОМ APS ПРОЦЕСА

Михаило Р. Мрдак

Истраживачки и развојни центар ИМТЕЛ комуникације а. д., Београд,
Република Србија

ОБЛАСТ: хемијске технологије

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Прах MoO_2 има значајну улогу у производњи превлака са повишеном отпорношћу на клизање у условима без примене

мазива. Превлаке MoO_2 имају мали коефицијент фрикције и добре карактеристике на хабање при механичким напрезањима. Ради производње превлака високе тврдоће, прах MoO_2 је депонован плазмом са оптималним параметрима. Карактеризација облика површине честица оксидног праха и површине прелома превлаке изведена је методом SEM, а микроструктура слојева применом светлосне микроскопије. Микроструктура превлаке састоји се од ламела Mo и танких филмова примарних оксида MoO_2 и MoO_3 које окружују ламеле Mo . Анализа добијених резултата показала је да слојеви превлаке MoO_2 са дифузионо оксидираним честицама Mo имају структуру и механичке карактеристике које омогућују њену примену на површинама радних делова у условима хабања и клизања трењем без мазива.

Кључне речи: честице, трење, депозити, својства, прах, оксидатори, микроструктуре, подмазивање, превлаке.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 03.10.2016.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 16.01.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 18.01.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



IMPROVING TECHNICAL MAINTENANCE OF SYSTEMS OF MINI HYDROPOWER PLANTS - ANALYSIS OF CAUSES OF MALFUNCTIONS, FAULTS, FAILURES AND SYSTEM FAILURES

Nikola P. Žegarac

Serbian Academy of Inventors and Scientists, Belgrade,
Republic of Serbia,

e-mail: zegaracnikola@vektor.net,

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

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13246>

FIELD: Mechanical Engineering, Power Engineering,
Electrical Engineering, Electronics, Control and Supervision,
Technical Diagnostics

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The paper presents many years of experience related to the activities of technical maintenance of mechanical and electrical plants. It shows the analysis of the cause of many malfunctions, faults, failures and system failures that occur in mini hydropower plants. Systems of mini hydropower plants are discussed in terms of improving the technical maintenance by functional units: turbine regulator with turbine, mechanical assemblies (multiplier and flywheel), flexible couplings that connect plant assemblies, electrical circuits, lubrication systems, automation and high-voltage installations. Below is a brief overview of the application possibilities of technical diagnostics i.e. of a monitoring system in mini hydropower plants.

Key words: technical maintenance, mini hydropower plants, faults, malfunctions, system failures, bearings, flexible couplings, mechanical assemblies, electrical circuits.

Introduction

The paper presents many years of experience in the technical maintenance of rotating mechanical and electrical

installations. The causes of many malfunctions, faults, operation failures and system failures are assessed from the scientific point of view while contributing to the improvement of technical maintenance systems used for mini hydropower plants, which are of particular importance for the production of electric power. Mini hydropower plants are included in the power grid system with other power systems: thermal and hydropower plants. The maintenance of machinery, equipment and complex technical systems in terms of necessary investments during their service life is directly connected with the ways of defining and achieving the desired efficiency (reliability, certainty and benefits for maintenance) in the design phase as well as during operation. A well-chosen concept of maintenance with a proper organization, programming and realization of certain maintenance activities as well as with a good level of personnel training and provided maintenance has a significant impact on increasing the production of electric power, reduction of maintenance costs, fewer faults, failures in operation and system failures. The period of exploitation of systems is longer. Maintenance of a technical system during its operational cycle unites a series of accompanying activities, starting from the idea and the definition of the concept of assessment of its cost-effectiveness, implementation, and operation, to the end of the plant exploitation.

An indispensable part of the plant operation cycle represents revitalization, reconstruction and modernization of technical systems or the process life cycle extension with an additional technical and technological, economic and environmental acceptability. Due to its structure, this process is extremely complex and is often compared with the implementation of new technical installations. The process of planning and implementing the revitalization and exploitation of the plant itself within the framework of the considered system is implemented with the aim of achieving a high level of operational safety, including the definition and detection of possible sources of uncertainty. The measures for removing and mitigating their effects must be defined and the criterion mostly used is the economic criterion (Milovanović, 2014).

The processes of technical maintenance (intermediate overhaul, general revision and general system overhaul) are directly connected to the extension of the service life of mechanical and electrical installations. This systematic and comprehensive process applied in mini hydropower plants is an inevitable and logical process in the plant operational life.

Mini hydropower plants systems

The benefits of constructing mini hydropower plants (MHPs), (in Serbian: MHE - mini hidro elektrane) in comparison to the construction of other energy sources are numerous:

- In comparison to large hydropower plants (LHPs), there is neither flooding of large areas (in order to provide space for water accumulation) nor disruptions of local ecological systems,
- they can provide land irrigation and water supply for surrounding communities, construction of ponds and flood protection,
- they reduce investments for the electrification of remote settlements from the general power grid and the electrification of these rural settlements contributes to their development,
- they have low-cost exploitation,
- their operational life is very long, practically unlimited; their average life is 30 years, although there are MHPs already working for 80 years.

In the literature there is different information on how to define mini hydropower plants. There are virtually no two countries with an identical system division. The basic parameters to be used in the classification of MHPs are (Žegarac, 2016):

Installed power of hydro units:

- Type of aggregate in relation to the turbine, and the method of operation,
- the number of revolutions per minute (rpm),
- Operation in relation to the overall energy system,
- Installed head, etc.

Depending on their power, plants can be divided into micro-power plants up to 100 KW, mini power plants up to 1 MW and small or medium-sized power plants up to 10 MW. Also, in accordance with the available head and power, they can be divided as outlined in Table 1.

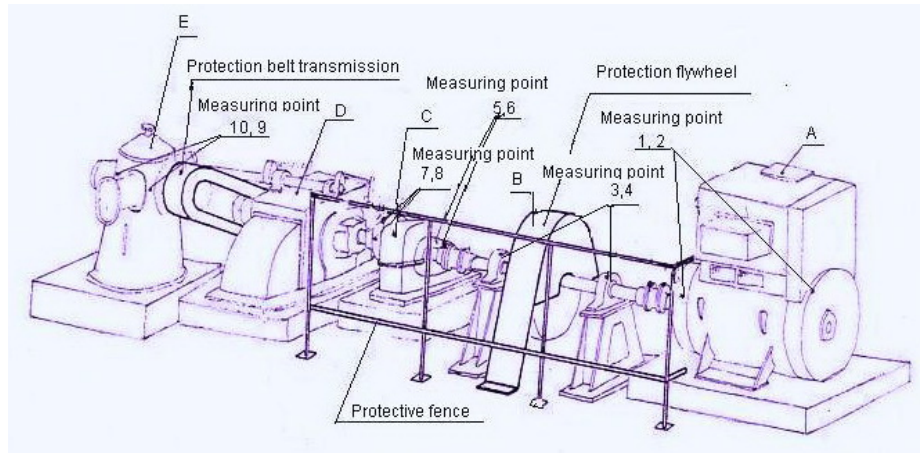
Table 1 – Types of mini - hydro plants
Таблица 1 – Виды мини-гидроэлектростанций
Табела 1 – Врсте мини хидроелектрана

Type HPPs	Power (KW)	Head (m) small	Head (m) middle	Head (m) large
Micro HPPs	to 50	below 15	15-50	over 50
Mini HPPs	50-500	below 20	20-100	over 100
Small HPPs	500-5000	below 25		over 130
Type HPPs	Power (KW)	Head (m) small	Head (m) middle	Head (m) large

The division of MHPs depending on available head is accepted in most countries that define their equipment in accordance with that criterion. So, for example, a number of manufacturers of electro-mechanical equipment in the United States produce standardized hydro generators including a turbine, a synchronous generator with an automatic control system, inlet valves, the control panel for the maximum head of 15 m and a power of 10 to 5000 KW. MHPs are further divided:

- a) Depending on the procedure:
 - Flow with a side intake from the main river,
 - with a reservoir dam, with daily, weekly, annual or perennial smoothing
- b) Depending on the flow regulation:
 - MHPs with an adjustable flow controlled at the turbine inlet (manual or automatic control)
 - with a constant flow rate, either because of the actual nature of the load or due to the removal of excess energy,
- c) Depending on the grid and operation mode:
 - Isolated HPPs-independent operation,
 - Plants connected to the grid-parallel operation,
 - Power plants operating under the regime of on-off \pm
 - Plants with one, two or more units,
 - Plants that operate if necessary, depending on consumption,
- d) Depending on the installed capacity of hydropower :
 - Pocket hydro electric power plants to 20 KW,
 - Small HPPs from 0.5 to 1 MW,
 - Small hydro power plants from 1 to 3 MW
 - Medium HPPs from 3 to 10 MW,
 - Large HPPs over 10 MW.

At the request of purchasers, we mostly performed technical maintenance (emergency, intermediate overhaul, general revision and general overhaul of power plants) of systems of mini hydropower plants in the Electrical Industry of Montenegro (EPCG). The general scheme of such mini hydropower plants is shown in Figure 1 (Žegarac, 2016):



A - Generator, B - Flywheel with flexible couplings type Flender series ARPEX K430, C - multiplier with a Flender flexible coupling type N-EUPEX, D - turbine, E - Turbine regulator with a belt drive, 1,2 - Generator bearings, 3,4 - Flywheel bearings, 5,6 - Bearings of the output shaft of the multiplier, 7,8 - Bearings of the drive shaft of the multiplier, 9,10 - Bearings of the turbine controller

Figure 1 – Scheme of the plant and the measurement points of a mini hydropower plant
 Рисунок 1 – Схема установки и точек измерения на установках мини-ГЭС
 Слика 1 – Шема постројења и мерних места на постројењу мини-хидроелектране

Technical maintenance of the HP plant element: turbine with a controller

In the system of the Electrical Industry of Montenegro, mini hydroelectric power plants of different capacity were installed many years ago. At the locations of Podgor and Rijeka Crnojevića, where there is a large flow rate and a low head, 4 vertical hydro units were installed. The power of each power unit is 1.2 MW with Kaplan turbine systems. The bearings power system was realized with 3 sliding bearings. One type is plain bearing – combined radial-axial bearing (turbine bearing) while the other two bearings are radial plain bearings (Figure 2).

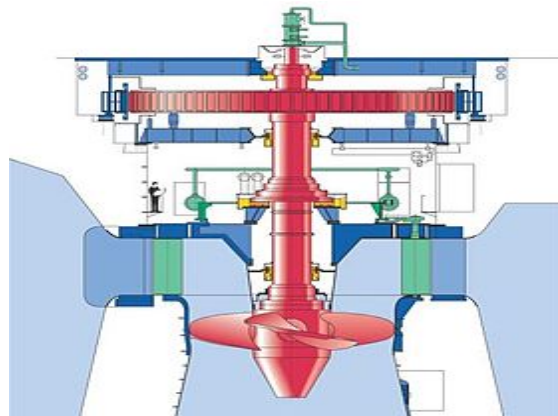


Figure 2 – Kaplan turbine
 Рисунок 2 – Турбины Каплана
 Слика 2 – Каппанова турбина

Horizontal mini hydropower plants were installed at other locations. At the locations with high head, mini hydropower plants from 60 to 450 Kw were installed. These mini hydropower plants do not have a toothed gear drive for power and torque (multiplier). The hydroelectric power plant power is realized through high head. Torque is transmitted directly to the plant generator. At these sites, Pelton turbines (Figure 3) or Francis turbines (Figure 4) are installed. Flow is controlled by adjusting wicket gates (yellow on a Francis turbine).

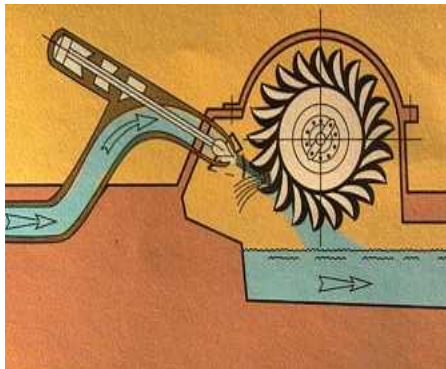


Figure 3 – Pelton turbine
 Рис. 3 – Ковшовые турбины Пелтона
 Слика 3 – Пелтонова турбина

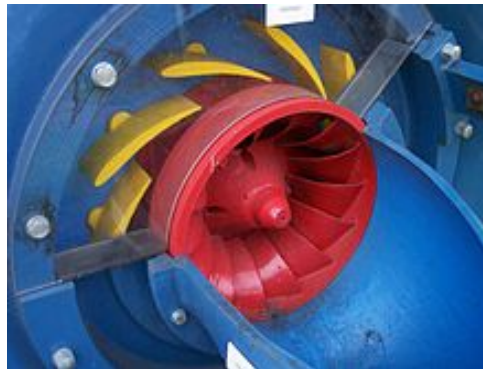


Figure 4 – Francis turbine
 Рис. 4 – Турбины Френсиса
 Слика 4 – Францисова турбина

At the locations with a low head of water but a higher output at mini hydropower plants, gear drives of power and torque (multipliers) are built in to increase the speed (n) of the turbine rotation from $n=450 - 500 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ to $n=1500 \text{ (min}^{-1}\text{)}$, (frequency of the city grid $f = 50 \text{ Hz}$). In this way, hydroelectric power can be increased up to 600 kW. The turbine part is an Ossenberg turbine with an associated turbine controller. The flow of water into the turbine pipe can be horizontal or vertical (Figure 5a). The flow of water is horizontal in the mini hydroelectric systems of the EPCG (Figure 5a).

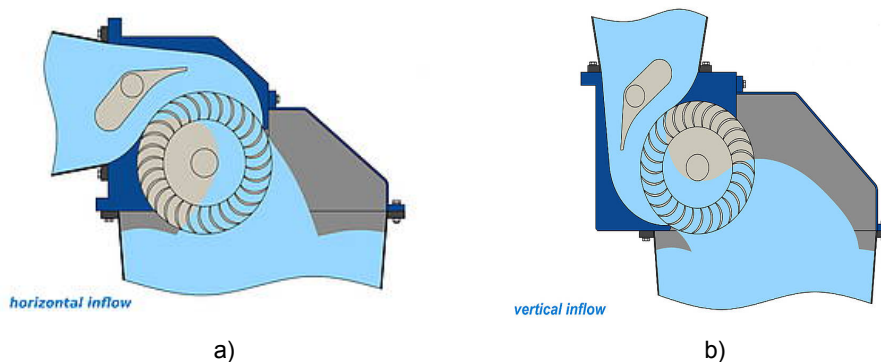


Figure 5 – Ossenberg turbine
 Рисунок 5 – Оссенберг турбины
 Слика 5 – Ossenberg турбине

During system exploitation, there are malfunctions in the turbine controller. The adjustment of turbine controllers is performed only by authorized institutions and licensed technical staff. These tasks are regularly performed by the Turbo Institute, Ljubljana (Slovenia) and the Lola Institute, Belgrade. In the 1960s, there was a tragic accident at a location in a mini hydropower plant. There was an uncontrolled rotation speed and the flywheel was ejected from its housing, causing the death of a person standing by. The turbine control is shown in Figure 6 (Tehnička dokumentacija za elektro hidraulični regulator tipa EHR-80 za male hidroelektrane, 1968). Electromagnetic valves have a very important function of opening and closing the water flow. Some well-known manufacturers of electromagnetic valves are: DDR ORSTA Hydraulic, East Germany and Prva Petoletka, Trstenik, Serbia.

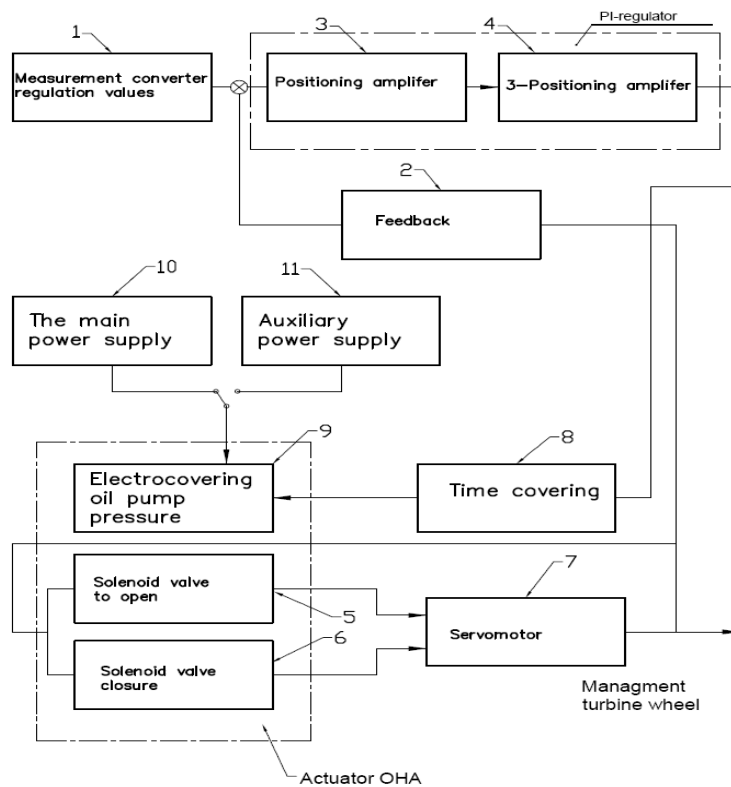


Figure 6 – Electro hydraulic controller type EHR-80 for MHPs
 Рисунок 6 – Электрогидравлический регулятор ЭГР-80 для Мини ГЭС
 Слика 6 – Електрохидраулични регулатор тип ЕHR-80 за МНЕ

The turbine controller has a belt transmission which should be particularly taken into account during maintenance. Only original belts of the same length should be used, since there are more belts on the same pulley. Belts are in the form of tapes - flat belts. To be able to perform installation, the ends of belts are connected with special couplings. Improvisation in connecting the belts is not allowed (Tehnička dokumentacija firme Flender, 1975), (Tehnička dokumentacija za MHE, 1980).

During the operation of hydropower plants, the turbine rotors are damaged, especially at places of higher flows of water and higher hydropower. Various types of damage and pitting occur on turbine blades. Common wear includes cavitations, fatigue fractures and abrasion due to solid particles in water. Steel parts are repaired by welding. When repair

is not possible, a new part is made. Specialized manufacturers are Turbo Institute, Ljubljana, Litostroj, Slovenia and Lola Institute, Belgrade.

For example, Lola Institute in Belgrade has made a very successful design and production of the generator for the MHP "Seljašnica" near Prijepolje (Razvoj, projektovanje i proizvodnja radnog kola Peltonove turbine, 2010). The maintenance of the bearings in the turbine system will be described in more detail in the next chapter.

Maintenance of mechanical assemblies in mini hydropower plants

Very important assemblies in the system are mini hydropower plant mechanical assemblies: gearbox and flywheel with its bearings. Multipliers used to be designed as single-gear assemblies. The transmission ratio ranges from $i = n_1 / n_2 < 1$, where $n_1 = 450$ to 500 (min^{-1}) - speed turbine - driveshaft multipliers, $n_2 = 1500$ (min^{-1}) - speed output shaft multipliers. The gears are cylindrical with inclined teeth. The module of a gear tooth ranges from $m = 6$ to 8 mm. The tooth inclination angle is usually $\beta = 12^\circ$. Drive and output shafts are in the horizontal plane of the multiplier assembly. During the regular exploitation of hydropower plants, another problem is an uncontrolled flow of groundwater. In a season when there is a large flow of water in the plant, water spills from the supply channel; in addition, there is a large influx of rain water and all that water goes underground beneath the MHP facility. Besides, another big problem is caused by branches and floating wood carried by flow to the inlet channel of hydropower plants. Since this is a karst terrain, this leads to subsidence and cracking of the concrete foundations of power plant assemblies. Multipliers are especially sensitive, since they rely on a small surface of the foundation. Their weight is over 500 kg. During operation, there are large shock loads in the transmission of energy. These phenomena lead to the damage of multipliers, gear teeth, casings of the drive and output shafts, and flexible couplings that connect other assemblies of hydropower plants. Figure 7a shows the damage to the flexible coupling type Flender ARPEX K430 series, which is a kinematic connection to the flywheel. The periphery of the flange is distorted. Figure 7b shows the damage on the flexible coupling type Flender N-EUPEX series A 480, which is a kinematic connection to the turbine. Figure 7c shows the damage to the pinion - broken teeth. Figure 7d shows the damage to the seals and the assembly side cover. These phenomena occurred at all sites after 6 years of operation of hydropower plants. At these locations, gears and damaged

parts were replaced several times (Vujković, Žegarac, 2012) (Vujković, Žegarac, 2013). A new multiplier from the German manufacturer Siemens-Flender was purchased last time for one location since a replacement of the damaged parts was not possible.

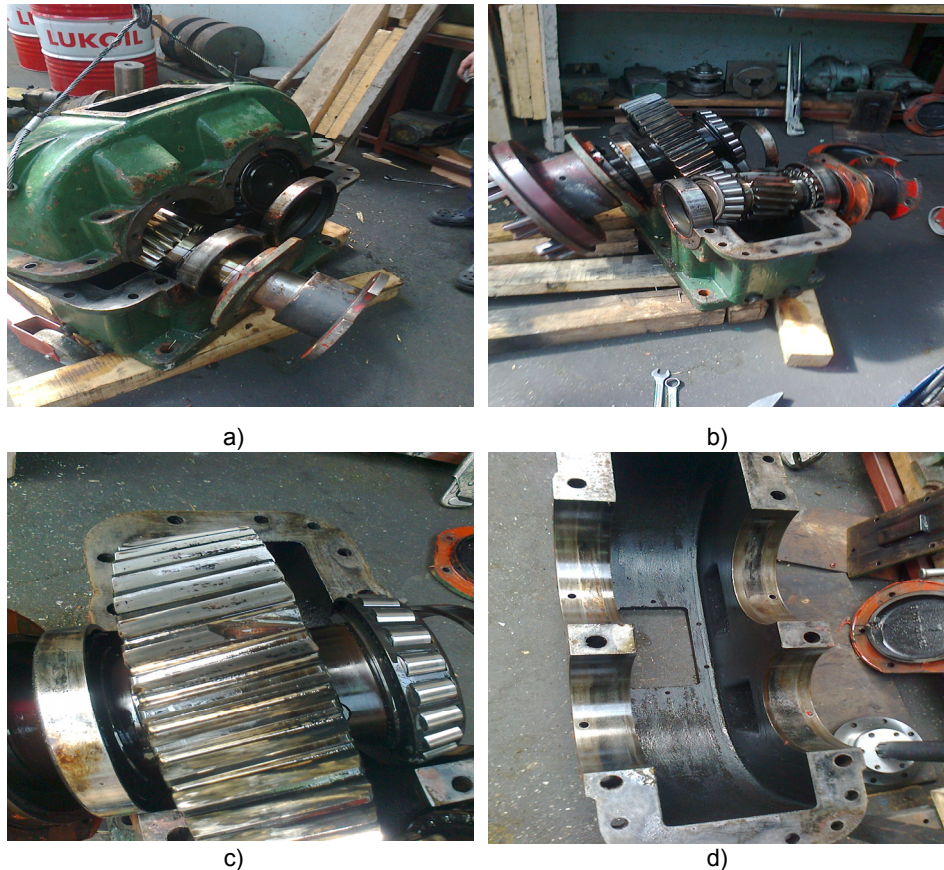


Figure 7 – Damaged parts of the multiplier of a hydropower plant
 Рисунок 7 – Изображение поврежденных деталей мультипликатора ГЭС
 Слика 7 – Приказ оштећених делова мултипликатора хидроелектране

Civil engineering professionals perform the recovery of the multiplier foundations. At the base, there are threaded sleeves into which six M30x3x100 screws are fixed thus securing the assembly to the foundation. It happens that, during accidents, the heads of these screws break off. During the dismantling of the multiplier from the foundation for replacing damaged parts or for installing a new assembly, it is important to align the

assembly in the 3-D system compared to other assemblies. The alignment is done using laser technology (Easy-Laser). The device manufacturer is the company Damalini AB of Sweden. Below the assembly there are metal sheets of various sizes (Figure 8). If this job is not done properly, system breakage can occur again.

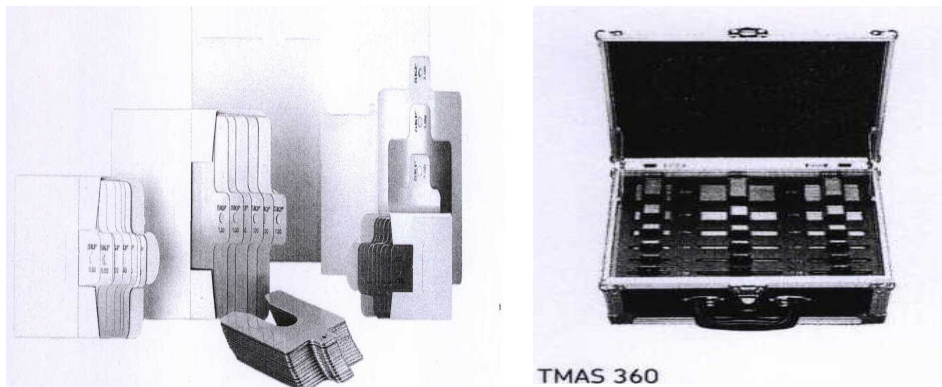


Figure 8 – Set of special metal plates for multiplier adjustment
 Рисунок 8 – Комплект опорных пластин для регулировки мультипликатора
 Слика 8 – Set специјалних подложних лимова за центрацију мултипликатора

Figure 9a shows the flywheel with its bearings (cases of rolling bearings and flywheel carriers). The function of the flywheel is to perform dynamic stabilization of the system operation and to eliminate undesirable vibrations that occur due to changes in dynamic processes at different speeds. Due to its inertia when changing the speed of rotation, the flywheel accepts or releases excess energy.

During operation, permanent deformations of the flywheel shaft sleeves (distortion) may occur as well as their excessive wear during improper disassembly (so-called cold dismantling is very bad) of flexible coupling flanges which are rigidly mounted on the sleeves (element overlapping) and secured with wedges. Damage to the flywheel can be caused by improper disassembly of the flywheel shaft. Figure 9b presents a broken flywheel ear, left screw - view from above. For these reasons, professionals should use a device for dismantling and assembling parts of assemblies difficult to detach in mechanical and electrical plants.

In the process of replacing roller bearings on the flywheel, it is very important to align the flywheel in the 3-D system compared to other assemblies. Otherwise, system failures occur. The technical maintenance of flywheel bearings will be described in the chapter Maintenance of plant bearings.

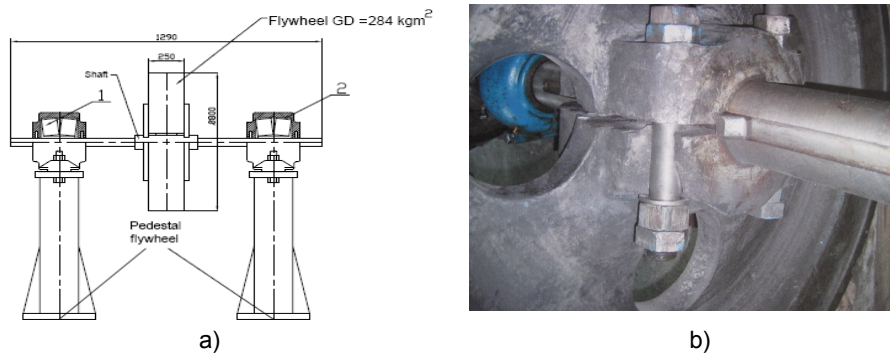


Figure 9 – Flywheel of a hydroelectric plant and its bearings
Рисунок 9 – Маховик ГЭС и его подшипник

Слика 9 – Замајац хидроелектране и његово улежиштење

Technical maintenance of electrical circuits, automation and high-voltage systems of a hydroelectric plant

The vital electrical circuit is the plant generator. At the locations of MHPs of the EPCG, generators of Uljanik, Pula and Rade Koncar, Zagreb are installed. Only in one location there was a need to rewind the generator stator, although the systems had been installed during the 1960s. At many locations there was a need to replace rolling bearings of the generator rotor.

Technical maintenance of automation and high voltage installations requires the engagement of experts in the field. Hydropower plant system failures occurred due to the failures of automation during operation. Hydro systems are connected to the main power grid. Automation failures caused a "crash" between hydropower plant high voltage and main power grid voltage. In these cases, fractures and severe damage to the rotating assemblies occurred. Fractures occur on the parts of the flexible couplings on the rotating system. In addition, damage on other parts of the machine and electrical circuits is inflicted. Earlier construction of hydropower plants provided that fractures occurred at the weakest points in the system. In this case, prevention is obligatory, components that can cause this type of failure must be controlled and replaced if necessary. In contemporary structures of power plants, other protection systems are provided. Additional protective features are incorporated into the automation.

Technical maintenance of mini hydropower plant bearings

The rotation system of mini hydro power plants comprises: a turbine with its shaft in the bearings, rotating parts of toothed gear multiplier- drive shaft and its bearings, output shaft and its bearings and a gear pair, which is a flywheel mounted via its shaft on roller bearings, generator rotor and its bearings, as well as various types of flexible couplings that connect the power assemblies. The flexible coupling type depends on the type and power of a plant.

The turbine shaft is built in the turbine casing on 2-row barrel self-adjustable bearings with conical bushings, Figure 10a. In most cases, bearings SKF 22218 CK + H 318 or SKF 22230 CK + H 3130, with normal internal clearance are fitted. The C-designation indicates the performance of the bearing, the mark K denotes a taper-bearing 1:12. The bearings are lubricated with the prescribed type of grease. When replacing a bearing, its correct installation is very important. These tasks are performed by highly skilled staff (SKF Priručnik za održavanje ležaja, 1998). A particular attention should be paid to the inner radial bearing clearance, Figure 10b. The internal clearance is changed by tightening the nut using a tapered sleeve. The gap sizes shown in Table 2 should be achieved. It is strictly necessary to take into account the engraved markings on the bearings. The inner bearing clearance, C class, is marked as follows:

- C1 - internal gap is less than C2,
- C2 - internal gap smaller than normal,
- C3 - internal gap larger than normal,
- C4 - internal gap larger than C3,
- C5 - internal gap larger than C4.

It is important to know the size of the cone of the bearing inner ring - whether the cone is 1:12 or 1: 30. In mini hydropower plants, the cone is 1:12.

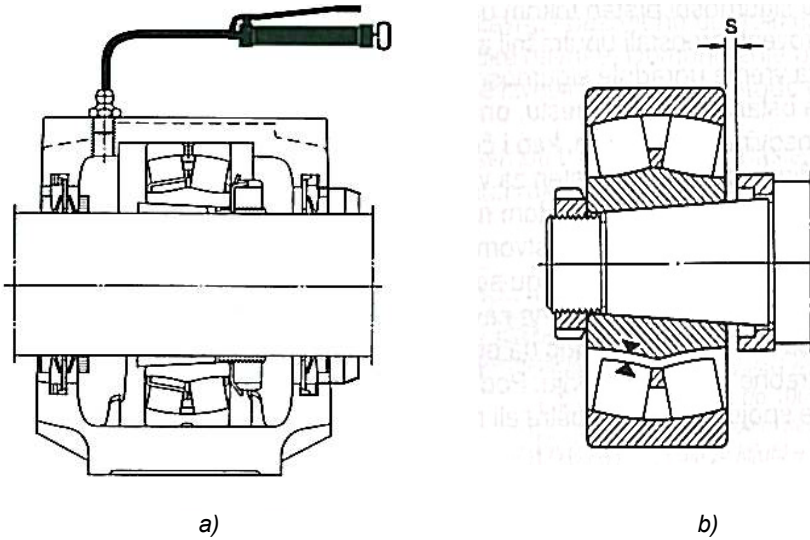


Figure 10 – 2-row barrel bearing with a bushing,
 Рисунок 10 – Изображение двухрядного подшипника с втулкой
 Слика 10 – Приказ дворедног бачвастог лежаја са чауром

Table 2 – Data for a correct installation of a bearing
 Таблица 2 – Данные для правильной установки подшипника
 Табела 2 – Подаци за исправну монтажу лежаја

Bearing bore diameter d		Radial clearance reduction		Axial displacement s ¹				Minimum allowed retaining radial clearance ² after installing a bearing with the initial clearance		
				Cone 1:30		Cone 1:12				
over including		min	max	min	max	min	max	Normal	C3	C4
mm		mm		mm				mm		
24	30	0.015	0.020	0.3	0.35	-	-	0.015	0.020	0.035
30	40	0.020	0.025	0.35	0.4	-	-	0.015	0.025	0.040
40	50	0.025	0.030	0.4	0.45	-	-	0.020	0.030	0.050
50	65	0.030	0.040	0.45	0.6	-	-	0.025	0.035	0.055
65	60	0.040	0.050	0.6	0.75	-	-	0.025	0.040	0.070
80	100	0.045	0.060	0.7	0.9	1.7	2.2	0.035	0.050	0.080
100	120	0.050	0.070	0.75	1.1	1.9	2.7	0.050	0.065	0.100
120	140	0.065	0.090	1.1	1.4	2.7	3.5	0.055	0.080	0.110
140	160	0.075	0.100	1.2	1.6	3.0	4.0	0.055	0.090	0.130
160	160	0.080	0.110	1.3	1.7	3.2	4.2	0.060	0.100	0.150
180	200	0.090	0.130	1.4	2.0	3.5	5.0	0.070	0.100	0.160

Bearing bore diameter d		Radial clearance reduction		Axial displacement s ¹				Minimum allowed retaining radial clearance ² after installing a bearing with the initial clearance		
				Cone 1:30		Cone 1:12				
over including		min	max	min	max	min	max	Normal	C3	C4
mm		mm		mm				mm		
200	225	0.100	0.140	1.6	2.2	4.0	5.5	0.080	0.120	0.180
225	250	0.110	0.150	1.7	2.4	4.2	6.0	0.090	0.130	0.200
250	260	0.120	0.170	1.9	2.7	4.7	6.7	0.100	0.140	0.220
280	315	0.130	0.190	2.0	3.0	5.0	7.5	0.110	0.150	0.240
315	355	0.150	0.210	2.4	3.3	6.0	6.2	0.120	0.170	0.260
355	400	0.170	0.230	2.6	3.6	6.5	9.0	0.130	0.190	0.290
400	450	0.200	0.260	3.1	4.0	7.7	10	0.130	0.200	0.310
450	500	0.210	0.280	3.3	4.4	8.2	11	0.160	0.230	0.350
500	560	0.240	0.320	3.7	5.0	9.2	12.5	0.170	0.250	0.360
560	630	0.260	0.350	4.0	5.4	10	13.5	0.200	0.290	0.410
630	710	0.300	0.400	4.6	6.2	11.5	15.5	0.210	0.310	0.450
710	600	0.340	0.450	5.3	7.0	13.3	17.5	0.230	0.350	0.510
600	900	0.370	0.500	5.7	7.8	14.3	19.5	0.270	0.390	0.570
900	1000	0.410	0.550	6.3	8.5	15.8	21	0.300	0.430	0.640
1000	1120	0.450	0.600	6.8	9.0	17	23	0.320	0.480	0.700
1120	1250	0.490	0.650	7.4	9.8	18.5	25	0.340	0.540	0.770

¹ Applicable only for solid steel shafts.

² Retaining clearance is checked in the cases when the initial internal radial clearance is in the lower half of the tolerance range and when there are significant temperature differences between two bearing rings during operation. Retaining clearance values must not be lower than the minimum values given in the Table.

A control of the internal radial clearance of a bearing is carried out with measuring ballots by the prescribed methodology. If the clearance is less than the required clearance, the bearing will overheat. If the gap is larger, the bearing will also overheat and the rotating system will vibrate. In some variants of turbine housings, it is not possible to control lubrication. There is no inspection opening and it cannot be seen whether the bearing is filled with the right amount of grease. There was a case where the bearings were not sufficiently lubricated, since the inlet tubes supplying grease into the bearing were clogged. Control was possible to be done only by examining how much grease was left in the hand grease nipple for lubrication. Even that was not satisfactory. There is a possibility that the grease feed tube cracks and grease goes inside the turbine housing. As a result, the bearing on the conical bearing sleeve was turned. A rapid

intervention of the operating personnel at the plant prevented the system failure. Taper roller bearings were built into the toothed multiplier. At the site of Podgor, two bearings marked SKF 32034 X were built on the drive shaft of the multiplier and two bearings marked SKF 32226 J2 on the output shaft. These bearings were paired and they had a pre-defined axial internal clearance of 0.310 to 0.370 mm and 0.240 to 0.280 mm, respectively (SKF Priručnik za održavanje ležaja, 1998). These bearings were installed by the principle "forehead to forehead" (Figure 7c and Figure 11a). The gaps were adjusted by installing shim rings under the bearing side caps of different sizes and thicknesses, Figure 11b. If the gap is not within the prescribed limits, this leads to an eccentric shaft rotation, dynamic imbalance, overheating of bearings, shocks and vibrations in the rotation system. If the clearance is not within the prescribed limits, this results in system failure. Bearings are lubricated with gearbox oil TOTAL CARTER gradation EP 320 (France) and INA EPOL (Croatia) gradation 220. Since the assembly works at high temperatures, oil in the multiplier housing is water cooled through the spiral tubes placed at the bottom of the housing.

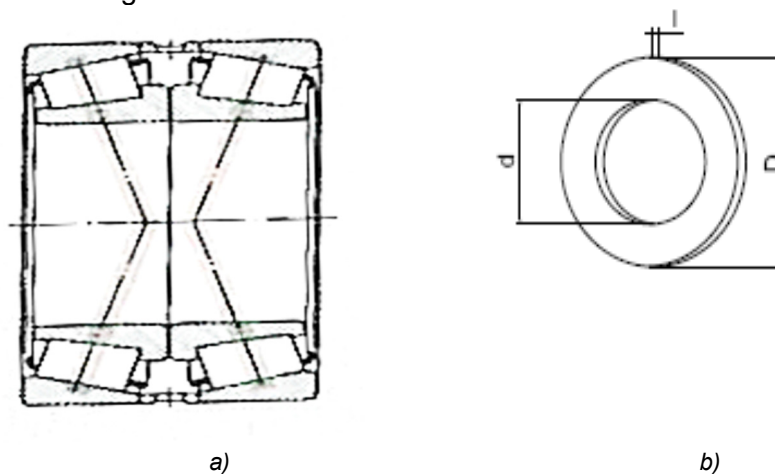


Figure 11 – Mounting of taper roller bearings and adjusting the axial clearance
Рисунок 11 – Установка конических роликовых подшипников
и регулировка осевого зазора

Слика 11 – Уградња коничновалкастих лежајева и подешавање аксијалног зазора

The hydropower plant flywheel is mounted on two self-adjusting barrel bearings with conical bushings, marked SKF 22220 CK + H 320 and SKF 22222 + H 322. The bearings are installed in the bearing housing type SKF SN 520 or SKF SN 530 (Figure 12). Two rings, marked SKF FRB 12/180 and SKF FRB 17/270, will be installed in the bearing housing

to the side of the turbine, fixing the outer bearing ring and preventing the axial movement of the entire rotating system of the hydro power plant - "fest lager" (see the bearing housing SKF SN 520 or SKF SN 530, left side flywheel in Figure 9a, position1). In the bearing housings SKF SN 520 and SKF SN 530, the bearings are lubricated with the prescribed grease. The amount of grease is 0.70 kg and 1.80 kg.

The rings for bearing fixing - floating bearing are not installed in the bearing housing towards the generator, Figure 9a, pos. 2. The bearing allows the thermal dilatation of the entire rotating system of the plant. This is a very important rule in the installation of such bearings of rotation machines. So, a "fest-lager" is always on the driving side, and a floating bearing - "los-lager" on the output side. Many technicians were installing rings for axial fixing into both types of bearing housings, so bearings overheated or they were installing rings on the output side. The bearing housing is tightened by bolts, with a prescribed torque (SKF Hauptkatalog, 2007, pp.1031-1066). The adjustment of the inner radial clearance is carried out using the same methodology as in turbine bearings. Lubrication and replacement of the bearing is carried out by dismantling the top cover of the bearing housing and the bearing is lubricated manually. Grease is set within the bearing on one side and the other side through the rollers. Grease is not put into the housing itself.

The method of bearing lubrication is important. The same type of grease used previously in the bearing is always used. Some types of grease lose their properties when mixed with other types of grease. Grease types that are not compatible (different bases (Ca) (Na), (Li) or a mixture of grease (Li / Ca) should never be mixed. High-quality lubricating greases are used such as those of SKF or Shell. Grease Shell Alvania Grease G3 is of extremely high quality and is often used for lubrication.

The bearing housing is not washed with chemical agents; it is all done by hand. The instructions for bearing lubrication should be carefully followed. The amount of grease put into bearings is very important. If there is no prescribed amount of grease, the following formula for determining the amount of grease is used:

$$Ga = 0.005 \cdot D \cdot B$$

where the mark Ga is grease content (in grams), D is the outer diameter of the bearing (mm) and B is the total width of the bearing (mm).

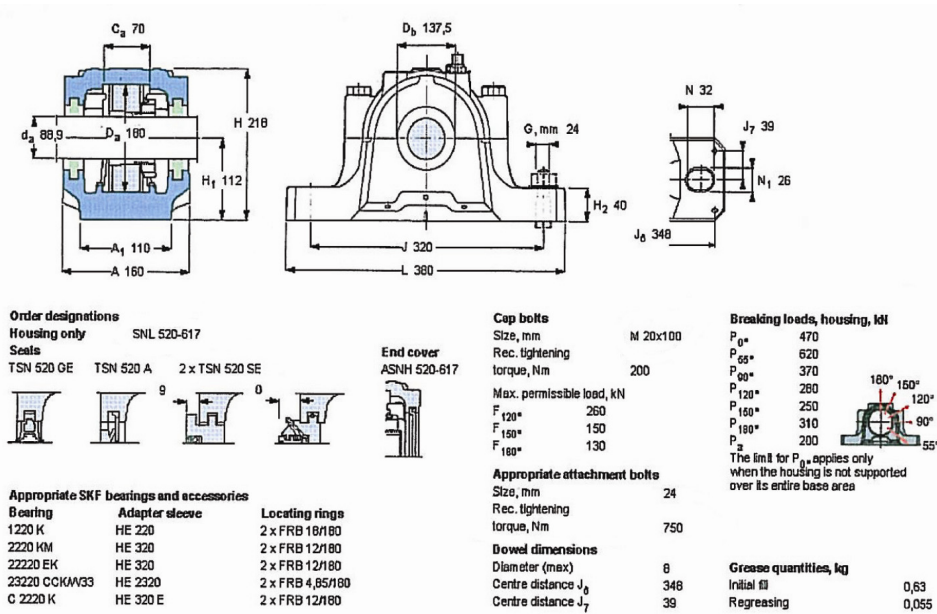


Figure 12 – Construction of the bearing housings SKF SN 520 and SKF SN 530
 Рисунок 12 – Изображение конструкции корпуса подшипника SKF SN 520 и SKF SN 530

Слика 12 – Приказ конструкције кућишта лежaja SKF SN 520 и SKF SN 530

The rotors of the hydroelectric power generator of 600 KW rests on two ball bearings marked SKF 6322 / C_{4a} at the end of the generator and SKF 6326 / C_4 on the side towards the flywheel. In the hydroelectric power plant of 450 KW, at the end of the generator, there is an SKF BS 6319 / C_3 bearing built in, and on the side of the flywheel there is an SKF 6324 / C_3 . (Figure 13). These bearings have increased radial clearance due to increased amounts of heat radiated by the generator during operation. Generator bearings for hydroelectric power plants of greater power have a greater radial clearance C_4 . If radial clearances were smaller, bearings would "scuff". The bearings are lubricated with a hand grease gun. In the generator housing, there are control openings for controlling the quantity of grease or for the exit of excess grease.

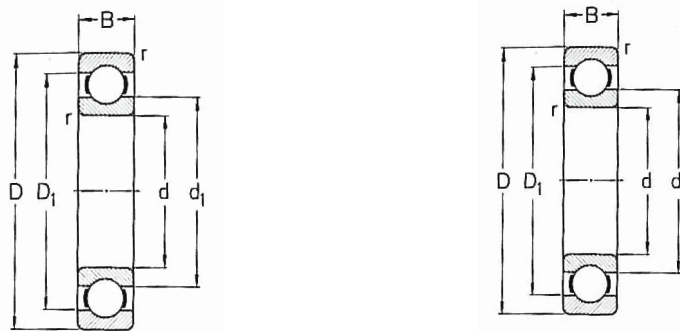


Figure 13 – Ball bearings of the generator of increased radial clearance C_3 and C_4
 Рисунок 13 – Изображение шариковых подшипников для генераторов с увеличенными радиальными зазорами C_3 и C_4
 Слика 13 – Приказ кугличних лежајева генератора повећане радијалне зрачности C_3 и C_4

Slide bearings in mini hydropower plants (vertical hydropower plants) are lubricated by lubricating oil of the prescribed quality and gradation. The sliding layer has a thickness up to 30 mm, and it is applied to the outer two-piece steel sleeve of the bearing.

Technical maintenance of flexible couplings in mini hydropower plants

In the mini hydropower plants of the EPCG, flexible couplings of well-known manufacturers such as German companies Siemens and Flender-Stromag are installed. In some hydropower plants, between the turbine and the multiplier, there are Flender A 480 N-EUPEX couplings (Figure 14) and Flender RWN 710 ones (Figure 15). The numbers of 480 and 710 indicate the outer diameter of the coupling in mm.

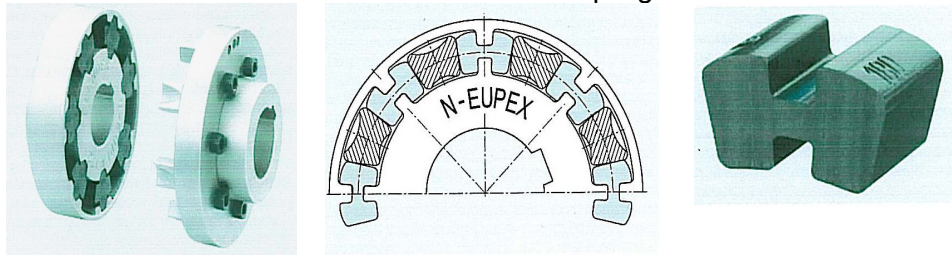


Figure 14 – Flexible coupling type Flender N-EUPEX version A 480
 Рисунок 14 – Эластичная муфта Флендер N-EUPEX тип А 480
 Слика 14 – Еластична спојница типа Flender N-Eupez, изведба А 480

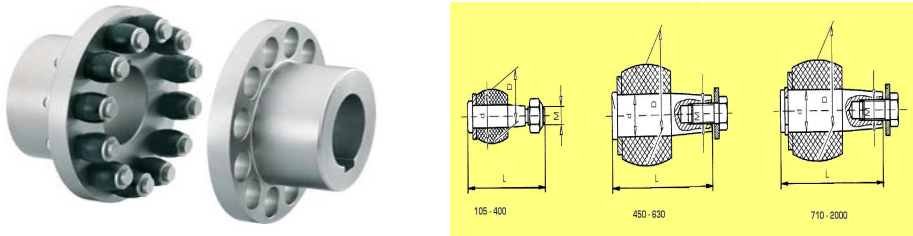


Figure 15 – Set of a flexible coupling type RWN version Flender RUPEX 710
 Рисунок 15 – Комплект эластичных муфт RWN тип Флендер RUPEX 710
 Слика 15 – Комплект еластичних спојница типа Flender Rupex, изведба RWN 710

On the side of the turbine shaft, the hub left side is mounted while the hub right side of the coupling is mounted on the multiplier drive shaft (see Figure 15). The flexible connection consists of rubber elastic elements (usually 10 pieces make a set), H-shaped or barrel-shaped. There are various hardness values of rubber elements and they are marked by different colors. The standard hardness value of 80 Shore (A) is used here, marked in blue.

Once a year, the correctness of the rubber elements is checked in accordance with the prescribed methodology (Figure 16). The measurement value ΔS_v is obtained by measurements taken while the plant does not function. Two marks are made at the same level on the coupling hubs, and then one coupling hub is held fixed while the other is rotated manually. The measured value of ΔS_v for the N-EUPEX coupling has a maximum value of $\Delta S_v = 15.5$ mm (Technische dokumentation Flender elastische Kupplungen N-Eupex, Bauarten A und B, pp.1-36, Bocholt, 2003). If the value is higher, the rubber elements must be replaced immediately. Rubber elements are changed regularly every 3 years, due to the natural aging of rubber. Elements must be changed if deformed, damaged and if they have cracks, which may cause failure of mechanical assemblies, which has already happened in practice.

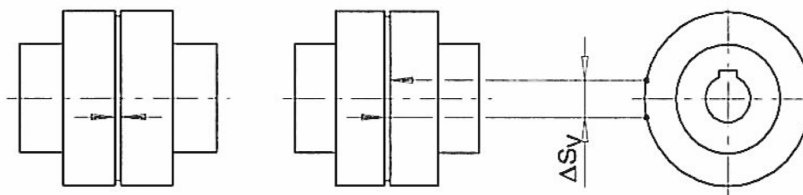


Figure 16 – Testing the rubber elastic elements of the couplings Flender N-480 and A-EUPEX RUPEX RWN 710

Рисунок 16 – Тестирование резиновых эластичных муфт типа N-480 и A-EUPEX RUPEX RWN 710

Слика 16 – Провера исправности гумених еластичних елемената спојница типа Flender N-Eupex A 480 и Rupex RWN 710

During dismantling and assembling the hydroelectric power plant assemblies, system assemblies alignment norms should be strictly observed. It is necessary to carry out measurements, calculations and comparisons of the measured values and the calculated values. The alignment of assemblies is carried out in the 3-D system. For these types of flexible couplings, a similar technology is prescribed for overhaul and control calculations of deviations during installation. Figure 17 presents the checking of values S_{1min} and S_{1max} , axial deviations ΔKa , angular deviations ΔKw and radial deviations ΔKr .

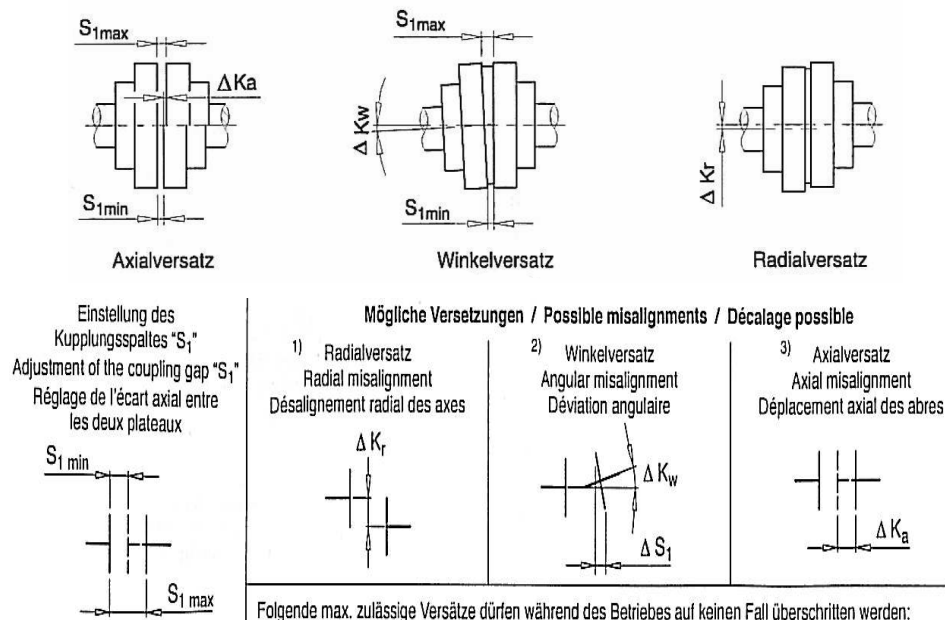


Figure 17 – Display and calculations of discrepancies of elastic couplings in the 3-D system
 Рисунок 17 – Изображение и расчет расхождений эластичных муфт в системе 3-D
 Слика 17 – Приказ и прорачун одступања еластичних спојница у 3-D систему

For A480 N-EUPEX elastic coupling the values $S_{1min}=5$ mm and $S_{1max}=10$ mm are prescribed. The permitted values of axial deviations ΔK_{azul} , radial deviations ΔKr_{zul} , angular deviations ΔKw_{zul} , and the difference between the maximum and minimum clearance $\Delta S_{1zul}=S_{1max} - S_{1min}$ are prescribed. The values of clearances of these gaps are: $\Delta Kr_{zul}=\Delta S_{1zul}=\Delta K_{azul}=1.1$ mm, $\Delta Kw_{zul}=0.11^\circ$ and for RUPEX coupling RWN 710 - $S_{1min}=5$ mm, $S_{1max}=9$ mm and the maximum permissible deviation values $\Delta Kr_{zul}=\Delta S_{1zul}=\Delta K_{azul}=1.1$ mm, $\Delta Kw_{zul}=0.12^\circ$. The measured values

of deviations after the overhaul had far lower values compared to the calculated values.

The calculation of deviations in the 3-D system is carried out according to the formulas:

$$\Delta K_{r_{zul./perm./aut.}} = \Delta S_{1_{zul./perm./aut.}} = \Delta K_{a_{zul./perm./aut.}} = \left(0.1 + \frac{d_a}{1000}\right) \cdot \frac{40}{\sqrt{n}}$$

The calculation of the angular deviations is carried out according to the formula:

$$\Delta K_{w_{zul.}} \text{ in Rad} = \frac{\Delta S_{1_{zul.}}}{d_a}$$

$$\Delta K_{w_{zul.}} \text{ in Grad} = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{\Delta S_{1_{zul.}}}{d_a}$$

where the mark d_a - means the outer diameter of the coupling, and n is the number of revolutions per minute of the turbine shaft on which a flexible coupling is mounted.

For each type of flexible couplings, the equipment manufacturers prescribed permitted values of all deviations and values for screw tightening torques in flexible couplings (Elastische Kupplungen Flender Bauart RUPEX RWN, 2003, pp.1-30), (Betriebsanleitung BA 3100 DE 07.03, 2003, pp.1-36).

The Periflex flexible couplings connecting the drive system of the power plant and the hydropower plant generator do not require special maintenance. The coupling is presented in Figure 18. The producer of couplings is the German company Flender. Couplings used to be produced by the company Pobeda, Novi Sad. In the process of replacement, the installation dimension marked with the letter "O" must be maintained and the tightening of the clamping screws must be carried with a prescribed torque. Rubber elastic elements of the coupling should be changed in accordance with the maintenance instructions (Antriebtechnik von Stromag, 1996, pp.1- 40).

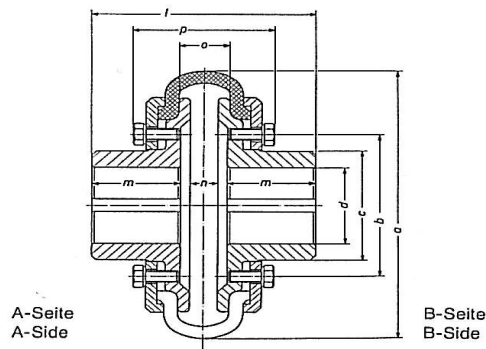


Figure 18 – Flexible coupling of Stromag Periflex Version PNA type, size 225 R and 426 R
 Рисунок 18 – Эластичные муфты Stromag Periflex тип PNA, размер 225 R и 426 R
 Слика 18 – Еластичне спојнице Stromag типа Periflex, изведбе PNA, величине 225 R и 426 R

Flexible couplings Flender type ARPEX series K 430, with the outer diameter $\varnothing 270$ or $\varnothing 320$ mm, mounted in the hydropower plants in the EPCG, are particularly highly sensitive mechanical components in the system of hydropower plant maintenance. Couplings are installed in the system drive, between the multiplier and the flywheel (drive side of the system) and on the output side (the other side of the system), between the flywheel and the generator. A set of couplings is shown in Figure 19a. In Figure 19b, tolerance measures when installing the set of couplings are marked. The values S_{1min} , S_{1max} are measured in 6 measurement points after the assembly. Before the assembly, it is very important to measure the dimensions of flanges (Figure 19a, pos.1, lamellar packs, pos. 2 and shaft couplings pos. 3) in order to achieve the required measures in 6 measurement points, according to the installation instructions. Unacceptable radial deviations of the flange and the shaft present a particular problem. They create large centrifugal forces and break the plate packs. Screw holes in the flanges and the shaft in conjunction with bolts must be within the tolerances of "gentle folding".

The dimensional tolerances of the intermediate shaft, deformed during operation, must be controlled in particular. If the couplings are mounted incorrectly, there occurs a system breakdown. The axial direction is particularly sensitive, if coupling lamellar packs are stretched due to incorrect installation, in the longitudinal axis of the rotation system. The control calculation and the measurement of tolerances after the installation of the coupling set are done according to the manufacturer's technical documentation (Technische dokumentation Flender Betriebsanleitung BA 8700 DE 08.95, 1992). The thickness of the lamellar pack S1 for the

coupling of $\varnothing 270$ mm is $S_1=23$ mm and the prescribed values for $S_{1min}=22.4$ mm and $S_{1max}=23.6$ mm. For the coupling outer diameter of $\varnothing 320$ mm, the thickness of lamellar packs is $S_1=27$ mm and the prescribed values for $S_{1min}=26.3$ mm and $S_{1max}=27.7$ mm. Figure 21 shows the variables taken into the calculation of the allowed deviations. The value L is the average distance between the lamellar packs, expressed in mm. S means the distance between the flanges of flexible couplings expressed in mm, Figure 21b. The value L is calculated using the formula:

$$L = S - S_1$$

If the axial distance between the flanges is $\Delta Ka=0$ mm, the values for ΔKw are read in the manufacturer tables, then $\Delta Kw = 0.7^\circ$. If $\Delta Ka=0.6$ mm the value $\Delta Kw=0.5^\circ$. for couplings of $\varnothing 270$ mm and $\varnothing 320$ mm, the value L is in the range L from 194 to 220 mm. In this case, the maximum values are calculated using the formula:

$$\Delta Kr_r = tg(\Delta Kw_w \cdot L)$$

and they are $\Delta Kr = 1$ to 2 mm. In our assembly procedures, the ΔKr values amounted to a maximum of $\Delta Kr=0.4$ mm, indicating a very high quality of assembly.

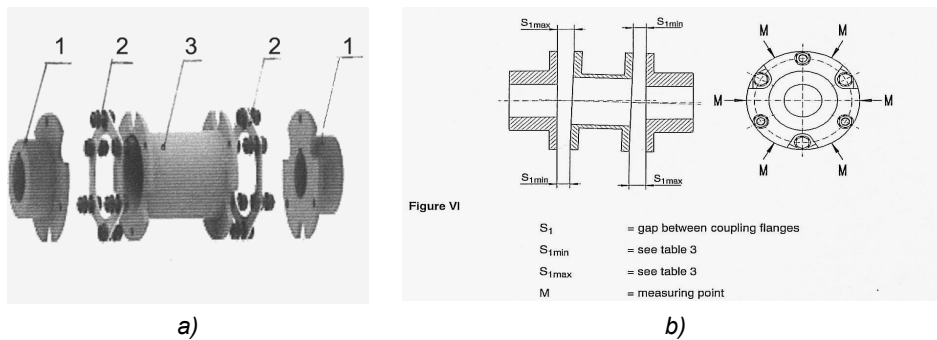


Figure 19 – Display of flexible couplings ARPEX Flender series K 430 sizes 80 to 820

Рисунок 19 – Изображение эластичной муфты типа ARPEX Флендер серии К 430 размером от 80 до 820

Слика 19 – Приказ еластичне спојнице типа Арпех Флендер, серије К 430, величине 80 до 820

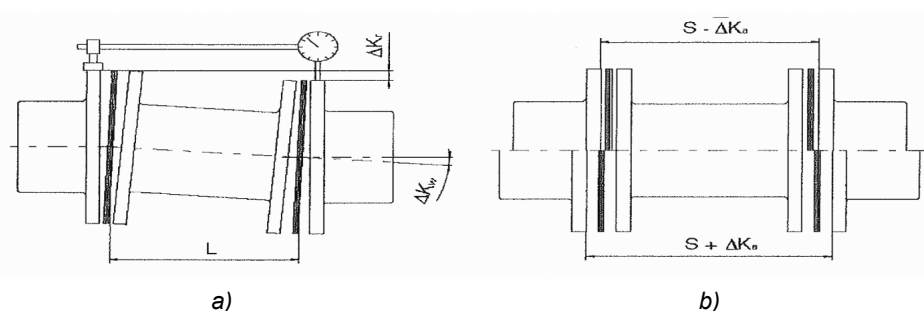


Figure 20 – Measurement of variations in the 3-D system in flexible couplings
Flender ARPEX series K 430

Рисунок 20 – Измерение расхождений в системе 3-D эластичной муфты
типа Flender ARPEX серии K 430

Слика 20 – Мерење одступања у 3-D систему на еластичним спојницама
типа Flender Arpex, серије K 430

Technical diagnostics and monitoring systems in mini hydropower plants

Mini hydropower plants built in the past did not possess modern measuring equipment and devices. Modernization of measuring techniques and systems has become more and more advanced. Nowadays, regardless of the installation time, many systems for monitoring operating parameters have been subsequently built on many systems. Instruments and gauges showing and measuring many dimensions and operating parameters have been built in for temperature, pressure, water flow, vibration levels and electrical parameters. On-Line Monitoring systems that consistently show measured values were installed on some hydropower plants (Žegarac, 2005). On much older systems, measurements of functional parameters are carried out periodically - Off-Line-Systems. Such measurements are recommended every 15 months. It is very important to measure vibration parameters on mechanical assemblies and to analyze them. There are a lot of possibilities for data analysis in modern measurement systems, such as data archiving during the plant operation period, etc. Figure 21a presents a modern monitoring system in a mini hydropower plant at one location. (Žegarac, 2005). Two hydro units are in parallel operation in a system. There is a possibility that the hydro aggregates are stopped in case of alarm messages if some of the measured values are not within the permitted limits. The system has an automatic control and monitoring of technical safety. Figure 21b shows

modern monitoring for measuring relative vibrations and the degree of wear of sliding bearings (Žegarac, 1989), (Žegarac, 1993).

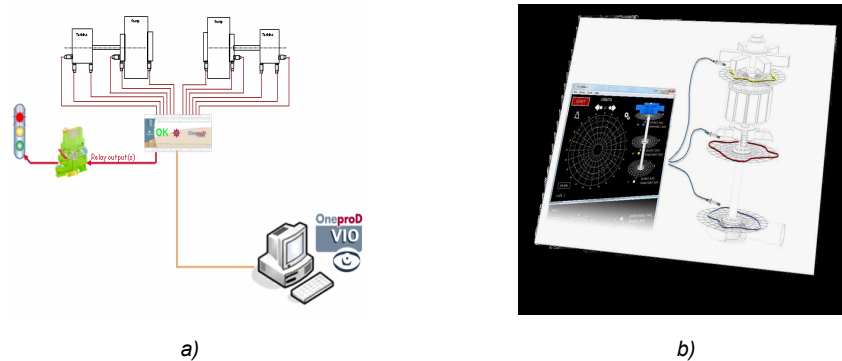


Figure 21 – On-line monitoring system and the monitoring system for sliding bearings
 Рисунок 21 – Изображение онлайн системы мониторинга и системы мониторинга по подшипникам скольжения
 Слика 21 – Приказ on-line мониторинг система и мониторинг система за клизне лежајеве

Conclusion

This paper describes the author's experience in performing technical maintenance of complex energy systems, mini hydropower systems in particular. Mini hydroelectric power plants are renewable sources of energy. At the present time and in the future, they have significant advantages compared to other energy systems. This paper presents an analysis of many causes of malfunctions, faults, operation failures and system failures that occur on some machine parts, electrical circuits or other parts of installations and equipment that are integral parts of power plants and play an important role in the proper functioning of the system. Examples of failures, accidents and causes of their occurrence are displayed in detail. The main goal is to perform preventive and planned technical maintenance of the system. The paper shows numerous examples of how to use technical documentation of equipment manufacturers which contains prescribed standards of technical maintenance of systems. Major damage to systems may occur due to neglecting or not knowing the instructions, standards or technical documentation. Some energy systems were installed long time ago so end-users do not have complete technical documentation, which makes serious problems during technical maintenance. Thanks to valuable experience and knowledge of our qualified personnel in the maintenance

of other complex systems such as large hydro and thermal power plants and systems for process industries, this part of the problem is successfully addressed. Such knowledge and experience are gladly communicated to technical staff of the system end users. Technical training is particularly important for persons responsible for systems in operational work so that they can react in time in case of an extraordinary event. Previous experience and knowledge show that many phenomena can be predicted in advance. The expertise and training of the personnel performing overhaul is of particular importance for high quality performed overhaul. In addition, they must be equipped with professional tools, accessories and other equipment for high quality overhaul. Such complex systems do not allow improvisations in performing overhaul; one mistake leads to several new problems for which there are certain consequences in the plant exploitation (known cases from practice). It is especially important to use modern measuring equipment, and to measure some parameters in the plant itself. Measuring equipment can be permanently installed (use of modern monitoring systems) or measuring equipment can be transferred so certain parameters are periodically measured on the spot where the system is installed. Some failures and faults cannot be predicted. At many locations, there are energy systems the exploitation period of which has been expired. A particular problem is the production and procurement of original spare parts. The process takes a long time so the systems are out of use. End users must plan a purchase of new mini hydropower plants.

In the current technical maintenance of mini hydropower plants, significant results have been achieved. Accidents, system faults and failures are prevented, which is very important, since these systems are of a production character. It is particularly important that systems operate properly in the season when there is large influx of water into hydroelectric power plants.

References

- Antriebstechnik von Stromag, D 800 11.83, Elastische Kupplungen, 1996. Unna, Deutschland: Stromag, pp.1-40.
- Betriebsanleitung BA 3100 DE 07.03, Elastische N-Eupex und N-Eupex-DS Kupplungen der Bauarten A, B und ADS, BDS, 2003. Bocholt, Deutschland: Flender, GmbH, pp.1-36.
- Milovanović, Z., 2014. Termoenergetska postrojenja - tehnološki sistemi, projektovanje i izgradnja, eksploatacija i održavanje. Univerzitet u Banja Luci - Mašinski fakultet (in Serbian).

- Razvoj, projektovanje i proizvodnja radnog kola Peltonove turbine, 2010. Beograd: Lola institut (in Serbian).
- SKF Priručnik za održavanje ležaja, 1998. Publikacija 4100/I YU reg.br. 50.3000.1998-07, pp.144-145.
- SKF Hauptkatalog, 2007. Sweden, pp.1031-1066.
- Tehnička dokumentacija za elektro hidraulični regulator tipa EHR-80 za male hidroelektrane, 1968. Ljubljana: Novum - Centar za tehnološke inovacije., pp.1-12.
- Tehnička dokumentacija firme Flender, 1975. Nemačka.
- Tehnička dokumentacija za MHE, 1980. Podgorica: Eelektroprivreda Crne Gore.
- Technische dokumentation Flender Betriebsanleitung BA 8700 DE 08.95, 1992. Bocholt, Deutschland: Flender, GmbH.
- Technische dokumentation Flender elastische Kupplungen N-Eupex, Bauarten A und B, 2003. Bocholt, Deutschland: Flender, GmbH, pp.1-36.
- Vujković, R., & Žegarac, N., 2012. Razvoj, projektovanje i proizvodnja zupčastog para za multiplikator u MHE Podgor. Crna Gora. Beograd: Alatnica Lazarević.
- Vujković, R., & Žegarac, N. 2013. Razvoj, projektovanje i proizvodnja zupčastog para za multiplikator u MHE Rijeka Crnojevića - Crna Gora. Beograd: Alatnica Lazarević.
- Žegarac, N., 2005. Projekat monitoring sistema za potrebe EPCG-MHE.
- Žegarac, N., 1989. Dijagnostika kliznih ležajeva u dizel motorima. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu - Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- Žegarac, N., 1993. Postupak i uređaj za određivanje zazora u kliznim ležajevima, merenjem dinamičke putanje glavnih rukavaca kolenastog vratila motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Patent- br. 48216 - P-640/93. Beograd: Zavod za intelektualnu svojinu.
- Žegarac, N., 2016. Application of modern monitoring systems in mini hydropower plants. Vojntehnički glasnik / Military Technical Courier, 64(4), pp.1102-1118. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg64-9936>.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
СИСТЕМ МИНИ ГЭС И АНАЛИЗ ПРИЧИН ИХ ВЫХОДА ИЗ
СТРОЯ, СБОЕВ И АВАРИЙ

Никола П. Жегарац
Сербская академия изобретателей и ученых, г. Белград,
Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: машиностроение, энергетика, электротехника, электроника,
контроль и надзор, техническая диагностика

ТИП СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК: английский

Резюме:

В статье представлен многолетний опыт работы, связанный с деятельностью по техническому обслуживанию машин и электроустановок. Приведен анализ главных причин неисправностей, сбоев и аварий, случающихся на мини-ГЭС. В статье предлагается внедрение системы на Мини ГЭС, которая будет способствовать улучшению качества технического обслуживания энергоблоков: турбинного блока с регулятором, механических узлов (мультипликатор и маховик ГЭС), эластичных муфт, соединяющих узлы установки, смазочных систем, автоматизации и высоковольтных установок. В статье также представлен краткий обзор возможностей применения технической диагностики и мониторинга систем на мини-ГЭС.

Ключевые слова: техническое обслуживание, мини ГЭС, отказы, сбои, аварии, подшипники, эластичные муфты, механические узлы, электрические схемы.

**УНАПРЕЂЕЊЕ ТЕХНИЧКОГ ОДРЖАВАЊА СИСТЕМА
МИНИ-ХИДРОЕЛЕКТРАНА, АНАЛИЗА УЗРОКА
НЕИСПРАВНОСТИ, КВАРОВА, ОТКАЗА У РАДУ И ХАВАРИЈА**

Никола П. Жегарац

Српска академија изумитеља и научника, Београд, Република Србија

*ОБЛАСТ: машинство, енергетика, електротехника, електроника,
аутоматско управљање и надзор, техничка дијагностика*

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду су приказана дугогодишња искуства на пословима техничког одржавања машинских и електропостројења. Извршена је анализа многих узрока неисправности, кварова, отказа у раду и хаварија, који се појављују на мини-хидроелектранама. Системи мини-хидроелектрана разматрани су са аспекта унапређења техничког одржавања по функционалним целинама: турбински склоп са регулятором турбине, механички склопови (мултипликатор и замајац електране), еластичне спојнице које повезују склопове постројења, електросклопови, системи подмазивања, аутоматика и високонапонска постројења. Приказан је кратак осврт на могућности примене техничке дијагностике, односно мониторинг система на мини-хидроелектранама.

Кључне речи: техничко одржавање, мини-хидроелектране, кварови, неисправности, хаварије, лежајеви, еластичне спојнице, машински склопови, електросклопови.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 21.02.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 19.03.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 21.03.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



TABLE OF OBSTACLE COURSE SCORING RESULTS FOR MILITARY ACADEMY FEMALE CADETS

Mile P. Randelović^a, Bojan Č. Milanović^b

University of Defence in Belgrade, Military Academy, Belgrade,
Republic of Serbia

^a Department for Physical Education,
e-mail: milelampas@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-0561-1332>

^b Department for Military Electrical Engineering,
e-mail: bojan.milanovic@va.mod.gov.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-0683-4500>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-12859>

FIELD: Interdisciplinary (development of physical ability, psychology,
physical education)

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

This paper presents the creation of a table for obstacle course scoring results, for female cadets. The table is created based on the results obtained by female cadets during four years of studying at the Military Academy in Belgrade. After creating and applying the scoring table, its influence on female cadets scoring results is investigated. The investigation has shown that the implementation of the scoring table has improved the results of female cadets in the obstacle course test for more than 45 seconds but less than 56 seconds in average.

Key words: scoring table, obstacle course, female cadets, z-test, cumulative distribution, repetition frequency.

Introduction

A standard obstacle course is used in the Serbian Army for training, obtaining, developing and maintaining physical activity as well as some of motor skills and personality traits. An obstacle course is made of artificial obstacles where the members of the Serbian Army are practicing in order to develop skills useful for performance of specific tasks during the peacetime (reconnaissance, field trips, camping, overcoming natural

obstacles) and in war conditions (Ministarstvo odbrane, 2011), (Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995a).

At the end of each year, for the evaluation of the physical skills of the Military Academy cadets, specific groups of tests are used. One of these tests is an obstacle course. An obstacle course is a test used for the evaluation of general physical readiness (aerobic anaerobic endurance) of cadets, by measuring the time required for correctly overcoming the obstacles. The time necessary for completing the obstacle course successfully is transformed into points and, together with the points from other tests (pull-up, push-up, crunch and 2400m running), used for the evaluation for the final mark in the subject Physical Education.

The obstacle course has to be passed by running, crawling, climbing, jumping, swiping, bowed movement, and skipping. In an obstacle course, specific motor skills (strength, speed, stamina, coordination, agility, flexibility) and personality traits (confidence, resourcefulness, perseverance, determination, courage, boldness, courage) are developed (Ministarstvo odbrane, 2011), (Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995a), (Kukolj, 2006).

After accepting the first generation of female cadets at the Military Academy (year 2007/08), the content of the Physical Education syllabus had to be adapted for female cadets. Besides the adaptation of class methods, due to the specificity of female population, the criteria for evaluating knowledge had to be adapted as well as the criteria for motor skills evaluation in female population, i.e. an appropriate scoring table for female cadets had to be created.

There are few precise data about research works on the participation of females in sports education and sports activities at the Military Academy and the Serbian Army. There are presumptions that research had been carried out, but there are no published papers on this subject (Rodić et al, 1985), (Perić, 2000), (Zorić, Đukić, 2010). During the first generations of female cadets testing, the only criterion for the satisfactory grade was passing the obstacle course test regardless of the time. The lack of time restrictions for taking the test led to significantly worse results in average for female cadets in comparison to male cadets. Because of that, a table showing obstacle course scoring results became necessary. The additional research showed the influence of the introduction of such a table into a testing process on average scoring results.

The aim of this paper is the creation of a table for the evaluation and assessment of the general physical readiness of female cadets based on the time achieved in the obstacle course test and testing the influence of such a table on the achieved results. This research has been done under

the assumption that the table is going to be officially used in the subject of Physical Education at the Military Academy.

Methodology

Taking in to account that, there were no tables for female cadets for the obstacle course test, there was a necessity to collect data needed for a statistical analysis. For that purpose, a sample group of female cadets tested without time limitation was formed. The only condition for this sample group was to overcome all the obstacles in an appropriate manner. The time was recorded in seconds.

The collected data were statistically processed. The repetition frequency was calculated, and a visual inspection of the repetition frequency was used to check whether the data distribution can be considered normal. Numerical normality distribution tests were not implemented.

Afterwards, cumulative distribution was calculated. On the basis of the calculated cumulative distribution, top 5% of the results were discarded. Since the scoring table ranges from 20 to 100 points, the worst 25% of the results were also discarded from the initial sample. Thus obtained time limit values corresponded to 20 i.e. 100 points. Since the points are integer numbers, as well as the achieved time values, the linear distribution of the points was not possible. The point interval for worse results is larger than the one for better results. The larger interval for worse results was taken since it is easier to improve worse results than better ones.

The influence of the existence of the scoring table on the achieved results was tested by the help of a female cadets sample tested with the implementation of the table. The results of female cadets tested with the table are compared with the results of the female cadets tested without the scoring table. For the comparison of the obtained results, the z-test was used (Winer et al, 1971), (Moore, 2007), (Kanji, 2006).

Four hypotheses were set and tested. The first zero hypothesis was: the average results of these two samples is equal. The next zero hypothesis: these two samples differ by a difference in their average results. Afterwards, a series of tests with diverse values of average results differences was conducted. The aim of these tests was to determine a difference of the average results for which it can be said that the hypothesis can be rejected. In such a manner, last determined limit can be used as limit of results improvement.

Test sample

The test sample used for table creation consisted of 189 female cadets (out of 202) from the generations enrolled between 2008 and 2012, aged from 18 to 24. Measurements were conducted at the end of each academic year (Jun, July), so each female cadet had at least one and at most four measurements (Table 1). From this sample, 734 results (measured times) were used for statistical processing.

Table 1 – Test sample of female cadets used for table creation
 Таблица 1 – Образец, на основании которого разработана оценочная таблица
 Табела 1 – Узорак на основу којег је израђена таблица за бодовање

No	Sample	Enrolled in year	Total number of female cadets	Tested female cadets	Testing year without the table			
					2009	2010	2011	2012
1	A	2008/2009	34	32	2009	2010	2011	2012
2	B	2009/2010	32	28	2010	2011	2012	2013
3	C	2010/2011	58	56	2011	2012	2013	2014
4	D	2011/2012	37	35	2012	2013	2014	
5	E	2012/2013	41	38	2013	2014		
Total			202	189				

For testing the scoring table influence on the accomplished results, a sample consisting of 114 female cadets (out of 122) enrolled in 2011, 2012, 2013 and 2014, aged between 18 and 24, was used. This sample was tested according to the scoring table formed from the previous sample. The testing of this sample was conducted at the end of school year 2014/2015 (Table 2). For statistical processing of this sample, 114 results (measured times) were used.

Table 2 – Test sample of female cadets used for checking the table influence on the achieved results
 Таблица 2 – Образец для анализа влияния оценочной таблицы на осуществление результатов
 Табела 2 – Узорак за тестирање утицаја таблице за бодовање на остварене резултате

No	Sample	Enrolled in year	Total number of female cadets	Tested female cadets	Testing year with the table
1	D	2011/2012	37	35	2015
2	E	2012/2013	41	38	2015

No	Sample	Enrolled in year	Total number of female cadets	Tested female cadets	Testing year with the table
3	F	2013/2014	28	28	2015
4	G	2014/2015	16	13	2015
Total			122	114	

All female cadets were located at the Military Academy campus. All of them had the same living and working conditions. All of them were healthy and regularly attended the classes of Physical Education.

Test description

The obstacle polygon consists of 18 different elements, obstacles, which are positioned in three lines on a 240m long course. The obstacles are set in the following sequence: belly crawl, twigs fence, wall, balancing beam, two beams, scaffolding, horizontal ladders, wire fences, horizontal bar, combined ladders, three beams, apertures doors and windows, tunnel, stumps, hallway, inclining wall, foot beam and trench. There is more than one way for passing these obstacles and each female cadet chooses an allowed one which best suits her. A way of passing obstacles for female cadets is slightly different from the way of passing them by male cadets.

Ways of passing obstacles for female cadets:

1. belly crawl overcomes by crawling (stomach, back, sideways);
2. twig fence overcomes by jump (take off with one foot and landing on the other foot or take off with one foot and landing on both feet);
3. wall overcomes by hooking underneath the armpit and below the knee; by running, jumping and swinging over and by chinning and a push-up;
4. balancing beam overcomes by straight stepping, moving in astride posture, on the knees and hands (on all fours).
5. two beams overcomes by jumps:
 - by run-up, stepping on the one lower beam and by jump over the higher beam;
 - by run-up stepping with one foot on the lower beam and with other foot on the higher beam;
 - by run-up stepping with one foot on the lower beam and by leaning with one foot and one hand on the higher beam;
 - by take-off with both feet from the lower one with support with both hands on the higher beam with a lean jump over the higher one;

- by take-off with both feet from the lower beam, jumping on the higher beam by supporting on belly, jumping over the higher beam;
6. scaffolding overcomes by climbing:
- climbing and by moving on hands upwards, catching each transverse and longitudinal rods, jumping over the horizontal rod and landing at the end;
 - by swinging and catching the fourth transverse rod jumping over the horizontal rod and landing at the end;
7. horizontal ladders overcomes by oversteps:
- overstepping every transverse rod;
 - leaning on hands and by overstepping with legs in front;
 - leaning on hands and overstepping with legs in back;
8. Wire fence overcomes by:
- front jump with leaning by one hand on the pylon;
 - side jump with leaning by one hand on the pylon;
9. horizontal bar overcomes by:
- crossing the bar and the pylon by leaning on the stomach (it is allowed to use the vertical bar);
 - hanging on the bar, leaning below the knees and swinging rising body, crossing the bar with the other leg and landing at the end;
 - by frontal turn;
10. combined ladders overcomes by climbing (between the first and the second horizontal bar), and by passing the horizontal part by stepping, climbing with hands and feet along the vertical ladder, with alighting along the ladders from the opposite side with a jump;
11. three beams overcomes by:
- leaning on one hand and foot, by a jump and a pull under;
 - leaning on both hands leaping on one side of hands and pulling under;
 - leaning on one hand, stepping over and pulling under;
12. apertures, doors and windows overcomes by passing through;
13. tunnel overcomes in the first part in a bent position, and in the second part by crawl;
14. stumps overcomes by jumps (stepping jump from one foot to another over each stump and stepping jumps from one foot to the other over each second stump) with obligatory stepping on the land line and a leap over the trench at the end;
15. hallway overcomes by passing (walking or running forwards, sideways, backwards);
16. inclined wall overcomes by:
- hooking underneath the armpit and below the knee;
 - hooking underneath the armpit and below the knee, using the side bar;

- running, jumping on the wall with a support on the hands and leaning the body forwards and downwards and shifting legs over the wall, with landing;
 - running, raising the body using hands, stepping with one foot on the wall, jumping over the wall;
17. foot beam overcomes by a run-up stepping on one foot and landing on the other or both legs;
18. trench overcomes by a run-up jump, a take off with one foot and landing on the other foot or a take off with one foot and landing on both feet.

Work description and measurement procedure

During regular classes, female cadets had obligatory classes of learning and exercising obstacle polygon passing and, during the year, opportunities for individual exercising. As precaution measures, before beginning of the obstacle test, the whole obstacle polygon functionality is checked and during the test, at some (more difficult) obstacles, cadets are placed as additional security. The warm up lasts from 10 to 15 minutes, with jogging and standing shaping exercises.

The equipment for obstacle polygon passing is military (shirt, trousers, military boots) without a beret and without a military strap (Ministarstvo odbrane, 2011), (Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995a), (Generalštab Vojske Srbije, 2010), (Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995b).

Female cadets start separately. The commands for the start are GET SET, READY, GO. On the command GET SET, a female cadet takes the starting position, lying down on stomach in such a way that the starting line is in line with her shoulder. On the command READY, she concentrates, and on the mark GO she moves towards the first obstacle. On the command GO, the teacher starts a stopwatch and observes the regularity of obstacle passing. In case some obstacle is not passed appropriately, the command is AGAIN, and a female cadet is obliged to go back and to repeat that obstacle until the obstacle is passed in the prescribed manner or to give up. The stopwatch is stopped when a female cadet passes the finish line with the whole body. Female cadets have two attempts, and a better score is recorded. Time is measured with 1s precision (Ministarstvo odbrane, 2011), (Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995a).

Results and discussion

Figure 1 shows the repetition frequency of the results of the female cadets tested without a scoring table. From Figure 1, one can see that excluding a few aberrations, the distribution can be considered normal.

The best score is 167 seconds, while the worst score is 15 minutes or 900 seconds.

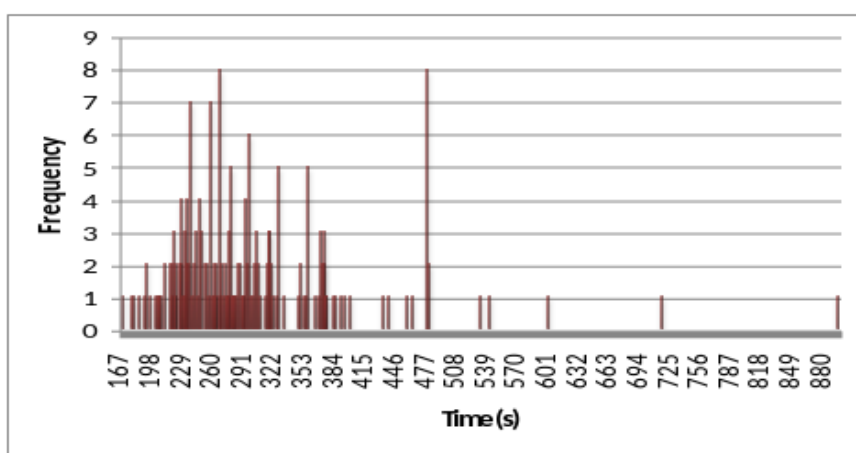


Figure 1 – Scoring results repetition frequency
 Рис. 1 – Частотность повторяемости результатов
 Слика 1 – Фреквенција понављања резултата

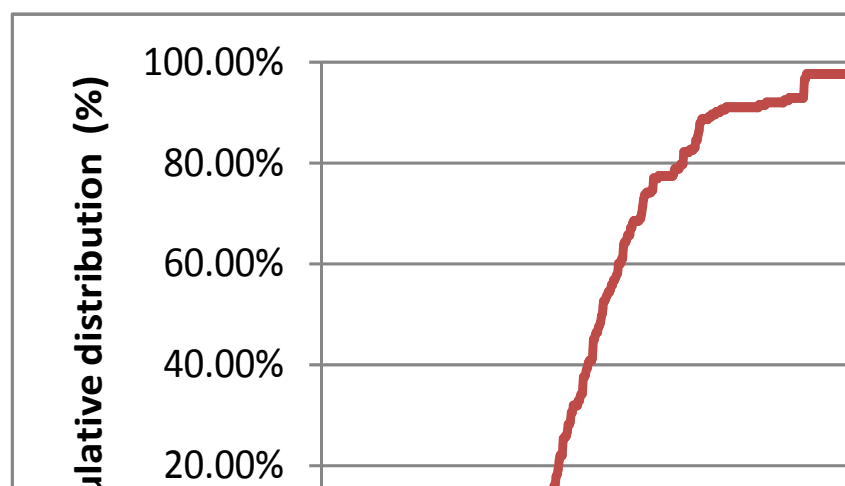


Figure 2 – Cumulative distribution
 Рис. 2 – Кумулятивное распределение
 Слика 2 – Кумулативна расподела

If, according to the cumulative distribution (Fig. 2), 5% of the best results are rejected, the best time 207s (3 min and 27s) is obtained, while the worst time obtained by rejection of 5% the worst results is 6 min and 18s.

Table 3 – Scoring table for female cadets in the obstacle course test
Таблица 3 – Оценочная таблица тестирования курсанток по прохождению
полосы препятствий
Табела 3 – Таблица за бодовање кадеткиња у тесту савлађивање полигона
пешадијских препрека

Points	Result	Points	Result	Points	Result	Points	Result
100	3:27	80	3:47	60	4:09	40	4:49
99	3:28	79	3:48	59	4:11	39	4:51
98	3:29	78	3:49	58	4:13	38	4:53
97	3:30	77	3:50	57	4:15	37	4:55
96	3:31	76	3:51	56	4:17	36	4:57
95	3:32	75	3:52	55	4:19	35	4:59
94	3:33	74	3:53	54	4:21	34	5:01
93	3:34	73	3:54	53	4:23	33	5:03
92	3:35	72	3:55	52	4:25	32	5:05
91	3:36	71	3:56	51	4:27	31	5:07
90	3:37	70	3:57	50	4:29	30	5:09
89	3:38	69	3:58	49	4:31	29	5:11
88	3:39	68	3:59	48	4:33	28	5:13
87	3:40	67	4:00	47	4:35	27	5:15
86	3:41	66	4:01	46	4:37	26	5:17
85	3:42	65	4:02	45	4:39	25	5:19
84	3:43	64	4:03	44	4:41	24	5:21
83	3:44	63	4:04	43	4:43	23	5:23
82	3:45	62	4:05	42	4:45	22	5:25
81	3:46	61	4:07	41	4:47	21	5:27
						20	5:29

Having in mind that the scoring table starts from 20 points, 25% of the worst results were rejected so the newly obtained worst result was 329s (5 min and 29s). Since linear distribution was not possible with integer values of seconds, the scoring table was obtained by taking 1s for spacing time between better results and 2s between worse results. In such a way, the obtained boundary between better and worse results was at 62nd point (Table 3). Time values were distributed in such a manner that each point corresponds to integer time values in seconds.

The obtained table is used for ranking the female cadets from the test sample. Descriptive statistics (<http://www.excel-easy.com>, 2016), of both samples is shown in Table 4. From Table 4, one can see that the mean value of the results obtained by the female cadets tested with the table implementation (sample for testing) is $309.3097 - 264.2632 = 45.0447$ seconds better than the mean value obtained by the female cadets tested without the table (sample for table creation).

Table 4 – Scoring, descriptive statistics
Таблица 4 – Дескриптивная статистика
Табела 4 – Дескриптивна статистика

Sample for table creation		Sample for table testing	
Mean	309.3079	Mean	264.2632
Standard Error	3.845998	Standard Error	5.580216
Median	285	Median	253
Mode	270	Mode	264
Standard Deviation	104.1974	Standard Deviation	59.5804
Sample Variance	10857.11	Sample Variance	3549.824
Kurtosis	7.763746	Kurtosis	0.535174
Skewness	2.262072	Skewness	0.84566
Range	793	Range	283
Minimum	167	Minimum	167
Maximum	960	Maximum	450
Sum	227032	Sum	30126
Count	734	Count	114

In order to confirm the claim that the table has influenced the improvement of the results, the zero hypothesis is set:

H₀: The mean values of the obtained result of both samples are statistically equal.

Taking into account that the sample has more than 30 results, the z – test is used for hypothesis testing (<https://support.office.com>, 2016). The results of the test are shown in Table 5. From Table 5, one can see that the value of the z statistics is higher than the critical values of the z statistics, which means that the zero hypothesis can be rejected, meaning that the mean values are not statistically equal.

Table 5 – Z-test with the zero hypothesis that the mean values are statistically equal
 Таблица 5 – Z-тест с нулевой гипотезой о том, что средние значения статистически равны
 Табела 5 – Z-тест са нултом хипотезом да су средње вредности резултата узорака једнаке

Z-Test: Two Sample for Means		
	Without the table	With the table
Mean	309.3079019	264.2631579
Known Variance	10857.11	3549.824
Observations	734	114
Hypothesized Mean Difference	0	
z	6.646507348	
P(Z<=z) one-tail	1.50064E-11	
z Critical one-tail	1.644853627	
P(Z<=z) two-tail	3.00129E-11	
z Critical two-tail	1.959963985	

New zero hypothesis is set:

H0: The mean values of the obtained results of both samples are statistically different for 45s.

The results of testing this zero hypothesis are shown in Table 6. From Table 6, one can see that the z statistics for this zero hypothesis is smaller than the critical values of the z statistics. According to the results of the z statistics for this hypothesis, it can be claimed that the mean values are statistically different for 45s.

Table 6 – Z-test for the zero hypothesis that the mean values differ for 45s
 Таблица 6 – Z-тест с нулевой гипотезой о том, что средние значения статистически различаются на 45 сек.
 Табела 6 – Z-тест са нултом хипотезом да се средње вредности резултата узорака разликују за 45 s

Z-Test: Two Sample for Means		
	Without the table	With the table
Mean	309.3079019	264.2631579
Known Variance	10857.11	3549.824
Observations	734	114
Hypothesized Mean Difference	45	
z	0.006602133	
P(Z<=z) one-tail	0.497366149	
z Critical one-tail	1.644853627	
P(Z<=z) two-tail	0.994732298	

Z-Test: Two Sample for Means		
	Without the table	With the table
z Critical two-tail	1.959963985	

Since the standard deviations of these two samples are different, a series of hypotheses which take other options of mean values differences into account was tested. The results of two characteristic hypotheses:

H0: The mean values of the obtained results of both samples are statistically different for 56s

and

H0: The mean values of the obtained results of both samples are statistically different for 57s

are shown in Table 7. From Table 7, one can see that the hypothesis stating that the mean values differ for 56 seconds can be accepted while the hypothesis stating that the mean values differ for 57 seconds should be rejected. This analysis leads to a conclusion that the introduction of the scoring table in the testing process improves the results of female cadets in the test, but not for more than 56 seconds.

Table 7 – Z- test with the zero hypothesis that the mean values differ for 56 seconds (left) and 57 seconds (right)

Таблица 7 – Z-тест с нулевой гипотезой о том, что средние значения статистически различаются на 57 сек.

Табела 7 – Z-тест са нултом хипотезом да се средње вредности резултата узорака разликују за 56 s, односно за 57 s

Z-Test: Two Sample for Means			Z-Test: Two Sample for Means		
	Without the table	With the table		Without the table	With the table
Mean	309.3079	264.2631	Mean	309.3079	264.2631
Known Variance	10857.11	3549.824	Known Variance	10857.11	3549.824
Observations	734	114	Observations	734	114
Hypothesized Mean Difference	56		Hypothesized Mean Difference	57	
z	-1.61648		z	-1.76403	
P(Z<=z) one-tail	0.05299		P(Z<=z) one-tail	0.03886	
z Critical one-tail	1.64485		z Critical one-tail	1.64485	
P(Z<=z) two-tail	0.10598		P(Z<=z) two-tail	0.07772	
z Critical two-tail	1.95996		z Critical two-tail	1.95996	

Conclusion

Significantly worse results in obstacle course testing of female cadets compared to male cadets are attributed, among other reasons, to the fact that female cadets did not have standards in a form of a scoring table. Regardless of the absence of time limitation, the competitive spirit of female cadets provided the normal distribution of results, i.e. the results which could be used for table creation. Some of female cadets were not motivated to compete, so their results were significantly below the rest of the sample thus giving a higher mean value and a higher variance.

The table is made based on a sample of 189 female cadets from the population of 202 female cadets, which can be considered as a representative sample. The table testing was performed on the sample of 114 female cadets out of 122 female cadets, which also can be considered as a representative sample. The best time was determined by rejecting 5% of the best results, while the worst time, due to the fact that the scoring table starts from 20 points, was determined by rejecting 25% of the worst results. In such a manner, the best time was 3 minutes and 27 seconds for 100 points, while the worst time was 5 minutes and 29 seconds for 20 points.

Having in mind that time is measured in seconds, it was not possible to do linear distribution of time values according to the point table. That is why the spacing between neighboring points for better results is set to 1 second, while the spacing between neighboring points for worse results is set to 2 seconds.

The obtained table was used to test four generations of female cadets in 2014/2015 academic year. The descriptive statistics of the sample for table creation and the sample for table testing has shown that the mean values of the samples are different. By applying the z test, it is shown that the mean values are statistically different, meaning that the introduction of the table improved the mean value of the achieved results.

The zero hypothesis that the mean values differ for 45 seconds could not be rejected, meaning that it can be claimed with statistical confidence of more than 95% that the implementation of the table improved the achieved results in average for 45s.

Two more hypotheses were set, where the mean values differ for 56 seconds and 57 seconds. By applying the z test, it was shown that the hypothesis in which the mean values differ for 56 seconds cannot be rejected, while the hypothesis in which the mean values differ for 57 seconds can be rejected, which leads to the conclusion that the implementation of the table improved results, but for not more than 56 seconds.

The conducted research has shown that the implementation of a table in the process of scoring of female cadets in obstacle course testing undoubtedly improves the achieved results. It is shown that better results, i.e. physical fitness of female cadets, are achieved by limiting the time for passing obstacles, which is done by introducing a table. For future research, it is suggested to keep track of scores of female cadets for the next four years and, according to the same methodology, to form a new table for the evaluation according to the proposed table from this paper. The table should be created periodically until the mean values of the results achieved by female cadets tested in accordance with new tables are not statistically different from the mean values of the results of the female cadets tested for table creation. In such a manner, after a few cycles of research, a table which would be a real description of physical skills of female cadets would be created.

References

- Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995a. Uputstvo za fizičku obuku u Vojsci Jugoslavije (in Serbian). Beograd: Novinsko-izdavačka ustanova "Vojska".
- Generalštab Vojske Jugoslavije, 1995b. Testovi i tablice za ocenjivanje fizičkih sposobnosti vojnih lica. Beograd (in Serbian). Novinsko-izdavačka ustanova „Vojska”. (Prilog uputstva za fizičku obuku u Vojsci Jugoslavije).
- Generalštab Vojske Srbije, 2010. Uputstvo o sportskim takmičenjima u Vojsci Srbije (in Serbian). Uprava za obuku i doktrinu, Beograd: Vojna štamparija.
- Kanji, G.K., 2006. 100 statistical tests. Sage.
- Kukolj, M., 2006. Antropomotorika (in Serbian). Beograd: Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja.
- Ministarstvo odbrane, 2011. Uputstvo za fizičku obuku u Vojsci Srbije (in Serbian). Beograd: Vojna štamparija.
- Moore, D.S., 2007. The basic practice of statistics. New York: WH Freeman. Vol.2.
- Perić, D., 2000. Nastava fizičkog vaspitanja u Vojnoj akademiji Kopnene vojske od osnivanja do raspada SFRJ (1850-1990) (in Serbian). Beograd. Ph.d. thesis.
- Rodić, N., Momirović, K., Metikoš, D., Labudović, M., Hofman, E., Hošek, A., & Prot, F., 1985. Konstrukcija i validacija baterije testova za proveru fizičke pripremljenosti vojnika, pitomaca i starešina JNA (in Serbian). Zagreb: Institut za kineziologiju. Elaborat.
- Winer, B.J., Brown, D.R., & Michels, K.M., 1971. Statistical principles in experimental design. New York: McGraw-Hill. Vol.2.

Zorić, M., & Đukić, S., 2010. Srpsko vojno školstvo (in Serbian). Beograd: Vojna štamparija.

<http://www.excel-easy.com/examples/descriptive-statistics.html>. Accessed: 01 March 2016.

<https://support.office.com/en-us/article/Z-TEST-function-d633d5a3-2031-4614-a016-92180ad82bee?ui=en-US&rs=en-US&ad=US>. Accessed: 01 March 2016.

РАЗРАБОТКА ОЦЕНОЧНОЙ ТАБЛИЦЫ РЕЗУЛЬТАТОВ, ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ КУРСАНТКАМИ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ, ПО ТЕСТИРОВАНИЮ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРЕПЯТСТВЕННОЙ ПОЛОСЫ

Миле П. Ранджелович^а, Боян Ч. Миланович^б

Университет обороны в Белграде, Военная академия, г. Белград, Республика Сербия

^а Кафедра физической культуры

^б Кафедра военной электронной техники

ОБЛАСТЬ: междисциплинарная (психофизическая подготовка, психология, физическая подготовка)

ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье представлен процесс разработки оценочной таблицы по осуществлению результатов курсантками при тестировании прохождения препятственной полосы. Таблица разработана на основании результатов, осуществленных курсантками, в течение их четырехлетнего обучения в Военной академии в Белграде. По разработке и внедрению данной таблицы проведено исследование, с целью установления влияния оценочной таблицы на достижения результатов курсантками в процессе тестирования. Анализ исследования показал, что внедрение оценочной таблицы повлияло на улучшение результатов тестирования по прохождению препятственной полосы, в среднем ускорив темп прохождения на 45 секунд, но не превысив 56 секунд.

Ключевые слова: частотность повторяемости, кумулятивное распределение, Z-тест, курсантки, оценочная таблица по прохождению препятственной полосы.

ИЗРАДА ТАБЛИЦЕ ЗА БОДОВАЊЕ ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА КАДЕТКИЊА ВОЈНЕ АКАДЕМИЈЕ У ТЕСТУ САВЛАЂИВАЊА ПОЛИГОНА ПЕШАДИЈСКИХ ПРЕПРЕКА

Миле П. Ранђеловић^а, Бојан Ч. Милановић^б

Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд,
Република Србија

^а Катедра физичке културе

^б Катедра војноелектронског инжењерства

ОБЛАСТ: интердисциплинарна (развој психофизичке спремности,
психологија, физичка обука)

ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду је приказан поступак израде таблице за бодовање остварених резултата кадеткиња приликом савлађивања полигона пешадијских препрека. Таблица је израђена на основу резултата које су кадеткиње оствариле током четворогодишњег школовања у Војној академији у Београду. Након формирања и имплементације таблице спроведено је истраживање које је одговорило на питање да ли увођење таблице за бодовање у процес тестирања кадеткиња утиче на остварене резултате. Показано је да је увођење таблице за бодовање кадеткиња поправило остварене резултате на полигону пешадијских препрека у просеку за 45 секунди, али не за више од 56 секунди.

Кључне речи: фреквенција понављања, кумулативна расподела, Z-тест, кадеткиње, таблица за бодовање полигона пешадијских препрека.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 03.01.2017.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 08.01.2017.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 10.01.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ


REVIEW PAPERS

EXPLICIT EXPRESSIONS OF THE GENERALIZED STIELTJES POLYNOMIAL

Ljiljana R. Paunović

University of Priština - Kosovska Mitrovica, Faculty of Education in
Prizren - Leposavić, Leposavić, Republic of Serbia,

e-mail: ljiljana.paunovic76@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-5449-9367>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-13355>

FIELD: Mathematics

ARTICLE TYPE: Review Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The existence and uniqueness of a Kronrod type extension to the well-known Gauss-Turan quadrature formulas were proved by Li (1994, pp.71-83). For the generalized Chebyshev weight functions and for the Gori-Micchelli weight function, we found explicit formulas of the corresponding generalized Stieltjes polynomials. General real Kronrod extensions of the Gaussian quadrature formulas with multiple nodes are introduced. In some cases, the explicit expressions of the polynomials, whose zeros are the nodes of the considered quadratures, are determined.

Keywords: Stieltjes polynomials, Kronrod extension, Gori-Micchelli weight function.

Introduction

Let ω be an integrable weight function on the interval $(-1,1)$. It is wellknown that the Gauss-Turan quadrature formula with multiple nodes

$$\int_{-1}^1 \omega(t)f(t)dt = \sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^{2s} A_{i,v} f^{(i)}(\tau_v) + E_{n,s}(f) \quad (n \in N; s \in N_0) \quad (1)$$

is exact for all algebraic polynomials of degree at most $2(s+1)n-1$, and that its nodes τ_v are the zeros of the corresponding (monic) s -orthogonal polynomial $\pi_{n,s}(t)$ of degree n which minimizes the following integral

$$\phi(a_0, a_1, \dots, a_{n-1}) = \int_{-1}^1 \pi_n(t)^{2s+2} \omega(t) dt, \text{ where } \pi_n(t) = t^n + a_{n-1}t^{n-1} + \dots + a_1t + a_0.$$

In order to minimize ϕ , we must have

$$\int_{-1}^1 \omega(t) \pi_n(t)^{2s+1} t^k dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n-1. \quad (2)$$

which are the corresponding orthogonality relations. For $s=0$, we have a case of the standard orthogonal polynomials.

Following the well-known idea of Kronrod (Gautschi, Milovanović, 1988, pp.16-18), S. Li proposed to extend formula (1) to the formula (Li, 1994, pp.71-83):

$$\int_{-1}^1 \omega(t) f(t) dt = \sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^{2s} \sigma_{i,v} f^{(i)}(\tau_v) + \sum_{\mu=1}^{n+1} K_{\mu} f(\hat{\tau}_{\mu}) + R_{n,s}(f), \quad (3)$$

where τ_v are the same nodes as in (1), and the new nodes $\hat{\tau}_v$ and new weights $\sigma_{i,v}, K_{\mu}$ are chosen to maximize the degree of exactness of (3). It is shown in (Li, 1994, pp.71-83) that we can always obtain the maximum degree $2(s+1)n+n+1$ by taking $\hat{\tau}_v$ to be the zeros of the polynomial $\hat{\pi}_{n+1}$, which we call the generalized Stieltjes polynomial, satisfying the

$$\text{orthogonality property } \int_{-1}^1 \omega(t) \hat{\pi}_{n+1}(t) p(t) \pi_n(t)^{2s+1} dt = 0, \quad \text{all } p \in P_n.$$

At the same time, Li showed that $\hat{\pi}_{n+1}$ always exists and is unique if it is monic. In the special case when $\omega(t) = (1-t^2)^{-1/2}$, he determined $\hat{\pi}_{n+1}$ explicitly and obtained the weights in (3) for $s=1$ and $s=2$.

Consider the following four generalized Chebyshev weight functions

$$\begin{aligned} \omega(t) = \omega_i(t): \quad \omega_1(t) &= (1-t^2)^{-1/2}, \quad \omega_2(t) = (1-t^2)^{1/2+s}, \\ \omega_3(t) &= (1-t)^{-1/2} (1+t)^{1/2+s}, \quad \omega_4(t) = (1-t)^{1/2+s} (1+t)^{1/2}. \end{aligned}$$

Bernstein (1930, pp.127-177) showed that the monic Chebyshev polynomial (orthogonal with respect to $\omega_1(t)T_n(t)/2^{n-1}$) minimized all integrals of the form $\int_{-1}^1 \frac{|\pi_n(t)|^{k+1}}{\sqrt{1-t^2}} dt$ ($k \geq 0$).

This means that the Chebyshev polynomials T_n are s -orthogonal on $(-1,1)$ for each $s \geq 0$. Ossicini and Rosati (1975, pp.224-237) found three other weight functions $\omega_i(t)$ ($i=2,3,4$) for which the s -orthogonal polynomials can be identified as the Chebyshev polynomials of the second, third, and fourth kind: U_n, V_n, W_n , which are defined by

$$U_n(t) = \frac{\sin(n+1)\theta}{\sin\theta}, \quad V_n(t) = \frac{\cos(n + \frac{1}{2})\theta}{\cos(\theta/2)}, \quad W_n(t) = \frac{\sin(n + \frac{1}{2})\theta}{\sin(\theta/2)},$$

respectively, where $t = \cos\theta$. It is easy to see that $W_n(-t) = (-1)^n V_n(t)$.

Explicit expressions of the generalized Stieltjes polynomials

For an arbitrary integrable weight function $\omega(t)$ on $[-1,1]$, Li proved that the generalized Stieltjes polynomial $\hat{\pi}_{n+1}$ exists and is unique up to a constant factor. He considered the case when $\omega(t) = \omega_1(t)$, see (Galjak, 2006). In this case, it is known that $\pi_{n,s}(t) = T_n(t)/2^{n-1}$. Li obtained that

$$\hat{\pi}_2(t) = \frac{1}{2} \left(T_2(t) - \frac{s+1}{s+2} T_0(t) \right), \text{ and for } n \geq 2$$

$$\hat{\pi}_{n+1}(t) = \frac{1}{2^n} (T_{n+1}(t) - T_{n-1}(t)) = \frac{1}{2^{n-1}} (t^2 - 1) U_{n-1}(t).$$

Let first $\omega(t)$ be $\omega_2(t)$. In this case, it is known that $\pi_{n,s}(t) = U_n(t)/2^n$. We have just proved the previous statement (Milovanović, Spalević, 2006, pp.171-195), (Milovanović et al, 2006b, pp.22-28) and (Milovanović et al, 2009, pp. 246-250).

Theorem 1. Let $\hat{\pi}_{n+1}$ be the monic polynomial of degree $n+1$ satisfying the orthogonality relation

$$\int_{-1}^1 (1-t^2)^{s+1} \hat{\pi}_{n+1}(t) p(t) \pi_n(t)^{2s+1} dt = 0, \text{ all } p \in P_n. \quad (4)$$

Then

$$\hat{\pi}_{n+1}(t) = \frac{1}{2^n} T_{n+1}(t). \quad (5)$$

Proof: In this case, orthogonality conditions (4) have the form

$$\int_{-1}^1 (1-t^2)^{s+1} \hat{\pi}_{n+1}(t) t^k [U_n(t)]^{2s+1} dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n. \quad (6)$$

We have

$$(1-t^2)^s [U_n(t)]^{2s+1} = \sum_{j=0}^s \beta_j U_{n(2j+1)+2j}(t), \quad (7)$$

$$\text{Where } \beta_j = 2^{-2s} (-1)^j \binom{2s+1}{s-j}.$$

Conditions (4) can be written in the form

$$\int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} \hat{\pi}_{n+1}(t) t^k (1-t^2)^s [U_n(t)]^{2s+1} dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n. \quad (8)$$

By using (7), the last conditions (8) obtain the form

$$\sum_{j=0}^s \beta_j \int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} \hat{\pi}_{n+1}(t) t^k U_{n(2j+1)+2j}(t) dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n. \quad (9)$$

Let $\hat{\pi}_{n+1}(t)$ be $T_{n+1}(t)/2^n$. By using (Monegato, 1982, pp.137-158) $2T_n(t)U_{n-1}(t) = U_{2n-1}(t)$ the integral under the sum in (9) for $j=0$ has the form $\int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} T_{n+1}(t) t^k U_n(t) dt = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} t^k U_{2n+1}(t) dt$, and it is equal to 0 for $k = 0, 1, \dots, 2n$.

For $j=1$, the integral under the sum in (9) has the form

$\int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} T_{n+1}(t) t^k U_{3n+2}(t) dt$, and it is equal to 0 for $k = 0, 1, \dots, n$, if $3n+2 > 2n+1$, which is always fulfilled. As for $j=1$, the same conclusions for $j \geq 2$ are obtained. Therefore, conditions (9) are fulfilled. Finally, (5) holds because of the uniqueness of the generalized Stieltjes polynomial.

Let now $\omega(t) = \omega_3(t)$ and we have just proved the previous statement (Galjak, 2006), (Milovanović, Spalević, 2006, pp.171-195), (Milovanović, Spalević, 2003, pp.1855-1873).

Theorem 2. Let $\hat{\pi}_{n+1}(t)$ be the monic polynomial of degree $n+1$ satisfying the orthogonality relation

$$\int_{-1}^1 (1-t)^{-1/2} (1+t)^{1/2+s} \hat{\pi}_{n+1}(t) p(t) \pi_n(t)^{2s+1} dt = 0, \text{ all } p \in P_n. \quad (10)$$

Then

$$\hat{\pi}_{n+1}(t) = \frac{2^n (n!)^2}{(2n)!} (t-1) P_n^{(1/2, -1/2)}(t), \quad (11)$$

where $P_n^{(1/2, -1/2)}(t)$ is the orthogonal polynomial with respect to the weight function $\omega(t) = \sqrt{\frac{1-t}{1+t}}$.

Proof. In this case, it is known that the corresponding monic s -orthogonal polynomial of degree n is

$$\pi_{n,s}(t) = \frac{1}{2^n} V_n(t) = \frac{2^n (n!)^2}{(2n)!} P_n^{(-1/2, 1/2)}(t), \text{ where } P_n^{(-1/2, 1/2)}(t) \text{ is the ordinary}$$

orthogonal polynomial with respect to the weight function $\omega(t) = \sqrt{\frac{1+t}{1-t}}$. In

this case, orthogonality conditions (10) have the form

$$\int_{-1}^1 (1-t)^{-1/2} (1+t)^{1/2+s} \hat{\pi}_{n+1}(t) t^k [P_n^{(-1/2, 1/2)}(t)]^{2s+1} dt = 0, \text{ for } k = 0, 1, \dots, n. \quad (12)$$

We have (Ossicini, Rosati, 1975, pp.224-237)

$$(1+t)^s [P_n^{(-1/2, 1/2)}(t)]^{2s+1} = \sum_{j=0}^s \gamma_j P_{n(2j+1)+j}^{(-1/2, 1/2)}(t), \quad (13)$$

where $\gamma_j = 2^{-s} \frac{c_n^{2s+1}}{c_{n(2j+1)+j}} \binom{2s+1}{s-j}$ and $c_n = (2n)! / (2^{2n} (n!)^2)$

The above conditions (12) can be written in the form

$$\int_{-1}^1 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} \hat{\pi}_{n+1}(t) t^k (1+t)^s [P_n^{(-1/2, 1/2)}(t)]^{2s+1} dt = 0, \text{ for } k = 0, 1, \dots, n. \quad (14)$$

By using (13), the last conditions (14) obtain the form

$$\sum_{j=0}^s \gamma_j \int_{-1}^1 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} \hat{\pi}_{n+1}(t) t^k P_{n(2j+1)+j}^{(-1/2, 1/2)}(t) dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n. \quad (15)$$

Let $\hat{\pi}_{n+1}(t)$ be $\frac{2^n (n!)^2}{(2n)!} (t-1) P_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(t)$. By using

$P_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(t) P_n^{(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(t) = k_n^2 U_{2n}(x)$, where $k_n = ((2n-1)!/(2n)!)$ (Monegato, 1982, pp.137-158), the integral under the sum in (15) for $j=0$ has the form

$$\int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} P_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(t) P_n^{(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(t) t^k dt = k_n^2 \int_{-1}^1 \sqrt{1-t^2} U_{2n}(t) t^k dt,$$

and it is equal to 0 for $k=0, 1, \dots, 2n-1$. For $j=1, 2, \dots, s$, the integrals under the sum in (15) have the form

$$\int_{-1}^1 \sqrt{\frac{1+t}{1-t}} (1-t) t^k P_n^{(1/2, -1/2)}(t) P_{n(2j+1)+j}^{(-1/2, 1/2)}(t) t^k dt, \quad \text{and they are equal to 0 for}$$

$k=0, 1, \dots, n$, if $2n+1 < 3n+1 \leq n(2j+1)+j$, which is always fulfilled.

Using these conclusions, we have that conditions (15) are fulfilled. Finally, (11) holds because of the uniqueness of the generalized Stieltjes polynomial.

Let ω be an integrable weight function on the interval (a, b) . Take now a sequence of nonnegative integers $\sigma = (s_1, s_2, \dots)$. For any $n \in \mathbb{N}$, we denote the corresponding finite sequence (s_1, s_2, \dots, s_n) by σ_n and consider a generalization of the Gauss-Turan quadrature formula (1) to rules having nodes with arbitrary multiplicities

$$\int_a^b \omega(t) f(t) dt = \sum_{\nu=1}^n \sum_{i=0}^{2s_\nu} A_{i,\nu} f^{(i)}(\tau_\nu) + \bar{R}(f), \quad (16)$$

Where $A_{i,\nu} = A_{i,\nu}^{(n,\sigma)}$, $\tau_\nu = \tau_\nu^{(n,\sigma)}$ ($i=0, 1, \dots, 2s_\nu; \nu=1, \dots, n$). Such formulas were derived independently by Chakalov and Popoviciu. A significant theoretical progress in this subject was made by Stancu see (Milovanović, 2001, pp.267-286).

In this case, it is important to assume that the nodes $\tau_\nu = \tau_\nu^{(n,\sigma)}$ are ordered, say

$$\tau_1 < \tau_2 < \dots < \tau_n, \quad \tau_\nu \in [a, b], \quad (17)$$

with odd multiplicities $2s_1 + 1, 2s_2 + 1, \dots, 2s_n + 1$, respectively, in order to have the uniqueness of the Chakalov-Popoviciu quadrature formula (16) (Karlín, Pinkus, 1976, pp.113-141). Then, this quadrature formula has the maximum degree of exactness $d_{\max} = 2\sum_{v=1}^n s_v + 2n - 1$ if and only if

$$\int_a^b \prod_{v=1}^n (t - \tau_v)^{2s_v+1} t^k \omega(t) dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n-1.$$

The existence of such quadrature rules was proved by Chakalov, Popoviciu, Morelli and Verna, and the existence and uniqueness subject to (17) by Ghizzetti and Ossicini (Ghizzetti, Ossicini, 1995), (Milovanović, 2001, pp.267-286), and also by (Milovanović, Spalević, 2002, pp.619-637). Conditions (17) define a sequence of polynomials

$$\{\pi_{n,\sigma}\}_{n \in N_0} \quad \pi_{n,\sigma}(t) = \prod_{v=1}^n (t - \tau_v^{(n,\sigma)}), \quad \tau_1^{(n,\sigma)} < \tau_2^{(n,\sigma)} < \dots < \tau_n^{(n,\sigma)}, \quad \tau_v^{(n,\sigma)} \in [a, b],$$

$$\text{such that } \int_a^b \pi_{k,\sigma}(t) \prod_{v=1}^n (t - \tau_v^{(n,\sigma)})^{2s_v+1} \omega(t) dt = 0, \quad k = 0, 1, \dots, n-1.$$

These polynomials are called σ -orthogonal polynomials and they correspond to the sequence $\sigma = (s_1, s_2, \dots)$. We will often write simple τ_v instead of $\tau_v^{(n,\sigma)}$. If we have $\sigma = (s, s, \dots)$, the above polynomials reduce to the s -orthogonal polynomials.

General Kronrod extensions of the Chakalov-Popoviciu quadratures

Let $\sigma_m^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_m^*) (s_\mu^* \in N_0, \mu = 1, 2, \dots, m)$. Following the well-known idea of Kronrod (Gautschi, Li, 1990, pp.315-329), we extend formula (16) to the interpolatory quadrature formula

$$\int_a^b f(t) \omega(t) dt = \sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^{2s_v} B_{i,v} f^{(i)}(\tau_v) + \sum_{\mu=1}^{n+1} \sum_{j=0}^{2s_\mu^*} C_{j,\mu}^* f^{(j)}(\tau_\mu^*) + R_{n,m}(f), \quad (18)$$

where τ_v are the same nodes as in (16), and the new nodes τ_μ^* and new weights $B_{i,v}, C_{j,\mu}^*$ are chosen to maximize the degree of exactness of (18) which is greater than or equal to

$$\sum_{\nu=1}^n (2s_{\nu} + 1) + \sum_{\mu=1}^m (2s_{\mu}^* + 1) + m - 1 = 2 \left(\sum_{\nu=1}^n s_{\nu} + \sum_{\mu=1}^m s_{\mu}^* \right) + n + 2m - 1.$$

We called quadrature formula (18) the Chakalov-Popoviciu-Kronrod quadrature formula. The particular case is the Gauss-Turan-Kronrod quadrature formula, if $s_1 = s_2 = \dots = s_n = s$. In the theory of the Gauss-Kronrod quadrature formulas, the important role is played by the Stieltjes polynomials $E_{n+1}(x)$ whose zeros are the nodes τ_{μ}^* , namely

$$E_{n+1}(x) = \prod_{\mu=1}^{n+1} (t - \tau_{\mu}^*)$$

Gori and Micchelli (Li, 1994, pp.71-83) have introduced for each n an interesting class of weight functions. Consider a subclass of the Gori-Micchelli weight functions,

$$\omega_{n,l}(t) = \left[\frac{U_{n-1}(t)}{n} \right]^{2l} (1-t^2)^{l-1/2}, \quad l \in \{0, 1, \dots, s\}. \quad (19)$$

In the particular case $l=0$, (19) reduced to the Chebyshev weight function of the first kind $\omega_{n,0} = (1-t^2)^{-1/2}$. In this case, $(n \geq 2, \sigma_{n+1}^* = ((s-l)/2, s-l, \dots, s-l, (s-l)/2))$ when quadrature formula (18) has the form $(\tau_1^* = -1, \tau_{n+1}^* = 1)$

$$\int_{-1}^1 f(t) \omega_{n,l}(t) dt = \sum_{\nu=1}^n \sum_{i=0}^{2s} B_{i,\nu} f^{(i)}(\tau_{\nu}) + \sum_{\mu=2}^n \sum_{j=0}^{2(s-l)} C_{j,\mu} f^{(j)}(\tau_{\mu}^*) + \sum_{j=0}^{s-l} (C_{j,1}^* f^{(j)}(-1) + C_{j,n+1}^* f^{(j)}(1)) + R_n(f) \quad (20)$$

Theorem 3. In the Kronrod extension (20) of the Gauss-Turan quadrature formula (16) with the weight function (19), and for $n \geq 2$, the corresponding generalized Stieltjes polynomial

$E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) (\sigma_{n+1}^* = ((s-l)/2, s-l, \dots, s-l, (s-l)/2))$ is given by

$E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) = (t^2 - 1)U_{n-1}(t)$, i.e., the nodes $\tau_{\mu}^* (\mu = 2, \dots, n)$ are the zeros of $U_{n-1}(t)$ (the Chebyshev polynomial of the second kind of the degree $n-1$), and $\tau_1^* = -1, \tau_{n+1}^* = 1$.

When quadrature formula (18) has the form

$$\int_{-1}^1 f(t)(1-t^2)^{1/2+s} dt = \sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^{2s} B_{i,v} f^{(i)}(\tau_v) + \sum_{\mu=1}^{n+1} \sum_{j=0}^{2s} C_{j,\mu}^* f^{(j)}(\tau_{\mu}^*) + R_n(f), \quad (21)$$

we have just proved the previous statement (Galjak, 2006), (Milovanović et al, 2006a, pp.291-305), (Milovanović et al, 2006b, pp. 22-28).

Theorem 4. In the Kronrod extension (21) of the Gauss-Turan quadrature formula (16) with the weight function $\omega_2(t) = (1-t^2)^{1/2+s}$ the corresponding generalized Stieltjes polynomial $E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) (\sigma_{n+1}^* = (s, s, \dots, s))$ is given by $E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) = T_{n+1}(t)$, i.e., the nodes $\tau_{\mu}^* (\mu = 1, \dots, n+1)$ are the zeros of $T_{n+1}(t)$ (the Chebyshev polynomial of the first kind of the degree $n+1$).

When quadrature formula (18) has the form ($\tau_1^* = -1$)

$$\int_{-1}^1 f(t)(1-t)^{1/2+s}(1+t)^{-1/2} dt = \sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^{2s} B_{i,v} f^{(i)}(\tau_v) + \sum_{\mu=2}^{n+1} \sum_{j=0}^{2s} C_{j,\mu}^* f^{(j)}(\tau_{\mu}^*) + \sum_{j=0}^s C_{j,1}^* f^{(j)}(-1) + R_n(f), \quad (22)$$

we have just proved the previous statement.

Theorem 5. In the Kronrod extension (22) of the Gauss-Turan quadrature formula (16) with the weight function $\omega_3(t) = (1-t)^{1/2+s}(1+t)^{-1/2}$ the corresponding generalized Stieltjes polynomial

$$E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) (\sigma_{n+1}^* = (s/2, s, \dots, s)) \text{ is given by } E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) = (t+1)P_n^{(-1/2, 1/2)}(t),$$

i.e., the nodes $\tau_{\mu}^* (\mu = 2, \dots, n+1)$ are the zeros of $P_n^{(-1/2, 1/2)}(t)$ (the Chebyshev polynomial of the fourth kind of the degree n), and $\tau_1^* = -1$.

When quadrature formula (18) has the form ($\tau_{n+1}^* = 1$).

$$\int_{-1}^1 f(t)\omega_4(t)dt = \sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^{2s} B_{i,v} f^{(i)}(\tau_v) + \sum_{\mu=1}^n \sum_{j=0}^{2s} C_{j,\mu}^* f^{(j)}(\tau_{\mu}^*) + \sum_{j=0}^s C_{j,n+1}^* f^{(j)}(1) + R_n(f), \quad (23)$$

where $\omega_4(t) = (1-t)^{-1/2}(1+t)^{1/2+s}$ is the Chebyshev weight of the fourth kind, in a similar way as in the previous case, the previous statement can be proved.

Theorem 6. In the Kronrod extension (23) of the Gauss-Turan quadrature formula (16) with the weight function $\omega_4(t) = (1-t)^{-1/2}(1+t)^{1/2+s}$ the corresponding generalized Stieltjes polynomial

$E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t)$ ($\sigma_{n+1}^* = (s, s, \dots, s/2)$) is given by $E_{n+1}^{(\sigma^*)}(t) = (t-1)P_n^{(1/2, -1/2)}(t)$,
i.e., the nodes τ_μ^* ($\mu = 1, \dots, n$) are the zeros of $P_n^{(1/2, -1/2)}(t)$ (the Chebyshev polynomial of the third kind of the degree n), and $\tau_{n+1}^* = 1$.

References

- Bernstein, S., 1930. Sur les polynomes orthogonaux relatifs a un segment fini. *J. Math. Pures Appl.*, 9, pp.127-177.
- Galjak, L., 2006. *Kronrod extensions of Gaussian quadratures with multiple nodes*. Univesity of Kragujevac. Master work.
- Gautschi, W., & Li, S., 1990. The remainder term for analytic functions of Gauss-Radau and Gauss-Lobatto quadrature rules with multiple points. *J. Comput. Appl. Math.*, 33, pp.315-329. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0377-0427\(05\)80007-X](https://doi.org/10.1016/S0377-0427(05)80007-X).
- Ghizzetti, A., & Ossicini, A., 1995. *Quadrature formulae*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Karlin, S., & Pinkus, A., 1976. Gaussian quadrature formulae with multiple nodes. In: S. Karlin, C.A. Micchelli, A. Pinkus, & I.J. Schoenberg Eds., *Studies in Spline Functions and Approximation Theory*. New York: Academic Press, pp.113-141.
- Li, S., 1994. Kronrod extension of Turan formula. *Studia Sci. Math. Hungar*, 29, pp.71-83.
- Milovanović, G.V., 2001. Quadratures with multiple nodes, power orthogonality, and moment-preserving spline approximation. In: Numerical analysis 2000, vol. V, Quadrature and orthogonal polynomials, (W. Gautschi, F. Marcellan, L. Reichel, Eds). *J. Comput. Appl. Math.*, 127, pp.267-286.
- Milovanović, G.V., & Spalević, M.M., 2002. Quadrature formulae connected to -orthogonal polynomials. *J. Comput. Appl. Math.*, 140, pp.619-637.
- Milovanović, G.V., & Spalević, M.M., 2003. Error bounds for Gauss-Turán quadrature formulae of analytic functions. *Mathematics of Computation*, 72(244), pp.1855-1873. Available at: <http://dx.doi.org/10.1090/S0025-5718-03-01544-8>.
- Milovanović, G.V., & Spalević, M.M., 2006. Gauss-Turán quadratures of Kronrod type for generalized Chebyshev weight functions. *Calcolo*, 43(3), pp.171-195. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s10092-006-0121-9>.
- Milovanović, G.V., Spalević, M.M., & Galjak, L. 2006a. Kronrod extensions of Gaussian quadratures with multiple nodes. *Computational Methods in Applied Mathematics*, 6(1), pp.291-305.
- Milovanović, G.V., Spalević, M.M., & Galjak, L., 2006b. Kronrod extensions of Gaussian quadratures with multiple nodes. In: ICNAM, 2016-09-27, Kragujevac, pp.22-28

Milovanović, G.V., Spalević, M.M., & Paunović, L., 2009. Error bounds of Gauss-Turan-Kronrod quadratures with Gori-Micchelli weight for analytic functions. In: MIT, 2009, Kopaonik, pp.246-250, August.

Monegato, G., 2001. An overview of the computational aspects of Kronrod quadrature rules. *Numer.Algorithms*, 26(2), pp.173-196. Available at: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016640617732>.

Ossicini, A., & Rosati, F., 1975. Funzioni caratteristiche nelle formule di quadrature gaussiane con nodi multipli. *Boll.Un. Mat. Ital.*, 11(4), pp.224-237.

ЭКСПЛИЦИТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ ПОДМНОЖЕСТВ СТИЛТЬЕСА

Лиљана Р. Пауновић

Универзитет у Приштини–Косовској Митровици, Педагогички факултет у Призрену–Лепосавићу, Лепосавић, Република Србија

ОБЛАСТЬ: математика

ВИД СТАТЬИ: обзорная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Уникальное применение теории расширения функций Кронрода относительно квадратурной формулы Гаусс-Тюрана доказал Ли (Li, 1994, стр.71-83). Определены эксплицитные выражения для обобщенных подмножеств Стилтjесаса отношению к весовым функциям Чебышева и весовым функциям Гори-Мишелли. Определено расширение функций Кронрода по квадратурной формуле Гаусса с узлами многочлена.

В отдельных случаях определены эксплицитные выражения множеств, нули которых являются узлами исследуемых квадратур.

Ключевые слова: подмножества Стилтjесаса, расширение функций Кронрода, Гори-Мишелли-весовая функция.

ЭКСПЛИЦИТНИ ИЗРАЗИ УОПШТЕНИХ СТИЛТJЕСОВИХ ПОЛИНОМА

Љиљана Р. Пауновић

Универзитет у Приштини – Косовској Митровици, Учительски факултет у Призрену – Лепосавићу, Лепосавић, Република Србија

ОБЛАСТ: математика

ВРСТА ЧЛАНКА: прегледни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Егзистенцију и јединственост Кронродових екстензија за добро познате Гаус-Туранове квадратурне формуле доказао је Ли (Li, 1994, стр.71-83). Одређени су експлицитни изрази за уопштене Стилтјесове полиноме у односу на Чебишевљеве тежинске функције, као и у односу на тежинску функцију Гори-Мичели. Дефинисана је Кронродова екстензија за Гаусове квадратурне формуле са вишеструким чворовима. У неким случајевима одређени су експлицитни изрази полинома, чије су нуле чворови посматраних квадратура.

Кључне речи: Стилтјесови полиноми, Кронродова екстензија, тежинска функција Гори-Мичели.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 03.03.2017.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 21.03.2017.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 23.03.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



DESIGNING PRIORITY DATABASES FOR QMS ACCORDING TO ISO 9001: 2015 STANDARD

Ljiljana Z. Miletić^a, Aca D. Jovanović^b, Filip P. Jovanović^c,
Vesna V. Buha^d

EDUCONS University in Sremska Kamenica, Faculty of Project and Innovation Management, Belgrade, Republic of Serbia

^a e-mail: ljmilet1@gmail.com,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3270-1891>

^b e-mail: aca.jovanovic@pmc.edu.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-2284-5875>

^c e-mail: filip.jovanovic@pmc.edu.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-4891-7219>

^d e-mail: vesna.buha@pmc.edu.rs,

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3239-3972>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-12731>

FIELD: Computer Sciences, Informatics, Quality Management

ARTICLE TYPE: Review Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract

The international ISO 9001:2015 standard for quality management system (QMS) is widely implemented in this country, especially in business organisations and in public administration. The Standard was created in 1987; it was revised and amended in 1994, 2000 and 2008, the latest amendments being of the largest scope. Compared to the previous ISO 9001:2008 standard, this standard does not require a complicated manual to be devised: instead of six, it needs no documented procedures now and only 18 prescribed reports are required in comparison with 21 in the previous version. The organisations that have already certified their standards to comply to the earlier ISO 2001:2008 standard have to adopt the new standard now, and no later than 2018. One of the greatest problems in this transition is designing the required databases necessary for the practical implementation of the new standard. The solution proposed by the authors is a general model with six priority databases: Documented information database; Measuring, control and testing equipment database; Qualified personnel database; Complaints on process output nonconformity database; Costs of process output nonconformity database and Plant and work equipment maintenance database.

Key words: Priority databases, Quality Management System, ISO 9001:2015 standard.

Introduction

International Quality Management System (QMS) ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015) Standard implemented in this country in business organisations and in public administration comes as a replacement of the earlier, ISO 9001:2008 standard. Hence the organisations that have already certified their standards to comply with this earlier standard now have to adopt the new standard of the quality system model, ISO 9001:2015, no later than September 2018. General preparations in the international ISO organisation commenced with the CD version (May 2013), then the DIS material was prepared for the accreditation bodies (February 2014), followed by creating the FDIS materials for the certification bodies (March 2015) and for organisational transition, as presented in the chart in Figure 1. The genuine ISO 9001: 2015 standard (ISO/TS 9002: 2016), (ISO 9000: 2015), (ISO/TC 176/SC 3/ISO/NP 10015) eventually appeared in September 2016.

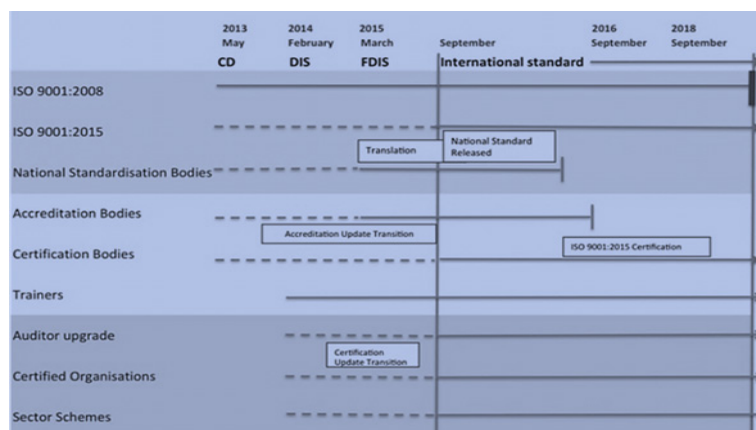


Figure 1 – Official transition from ISO 9001: 2008 standard to ISO 9001: 2015
 Рус. 1 – Официальный переход с ISO 9001: 2008 стандарта на ISO 9001: 2015
 Слика 1 – Прописани прелаз са стандарда ISO 9001:2008 на ISO 9001:2015

The number of international standards in the integral management system increases and organisations are faced with the problem of updating. It is expected that the majority of organisations in Serbia will have successfully adopted the new standard by the given deadline (by September 2018), whereby it is necessary that our organisations should revise and amend the required 18 prescribed reports and, on the basis of these, design the databases necessary for an effective and rational

implementation of the quality management system. The previous considerations have shown that the metal industry, on the basis of the requirements of the earlier versions of ISO standards, as of ISO 9001: 1994 and ISO 9004-1: 1994, requires the implementation of six priority databases: 1. Quality and work assurance procedures database; 2. Customer complaints and claims database; 3. Qualified personnel database; 4. Measuring, control and testing equipment database; 5. Complaints on process output nonconformity database and 6. Costs of process output nonconformity database and 6. Plant and work equipment maintenance database (Miletić, 2001a). Under the assumption that these six databases are also priority databases for the practical implementation of new ISO 9001: 2015 standard, this paper presents a comparative analysis of a large body of information and data required to form a QMS subsystem, in compliance with the previous version of ISO 9001:2008 standard and ISO 9001: 2015 standard. Following the requirements of ISO 9001: 2015 standard, priority databases have been designed in order that an organised and systematic gathering, processing and permanent storage of necessary information and data should be provided for the QMS subsystem of the organisation.

QMS Subsystem According to ISO 9001:2008

ISO 9001: 2008 standard presented in the chart in Figure 2 (Popović, 2014), (ISO 9001: 2008), (ISO 9000: 2005) replaced an earlier adopted ISO 9001:2000 standard which, as a model of quality management subsystem (QMS), was considered to rely too much on paperwork hence increasing the risk, the uncertainty and the costs of quality management (Sroufe, Curkovic, 2008, pp.503-520). ISO 9001:2008 standard is one model of the System of business organisation subsystem that observed the key principles of quality management (Popović, Todorović, 1998) listed in ISO 9000 and ISO 9004 standards. Internationally recognised, it makes a quality framework for product and service monitoring and improvement.

Similarly to the earlier version, the implementation of ISO 9001:2008 standard is based on observing customer requirements; however, the terms are changed. Hence the term “qualifications” is replaced by the term “competence”, “service” is replaced by “service provision”, and “product release” is replaced by the term “product acceptance”.

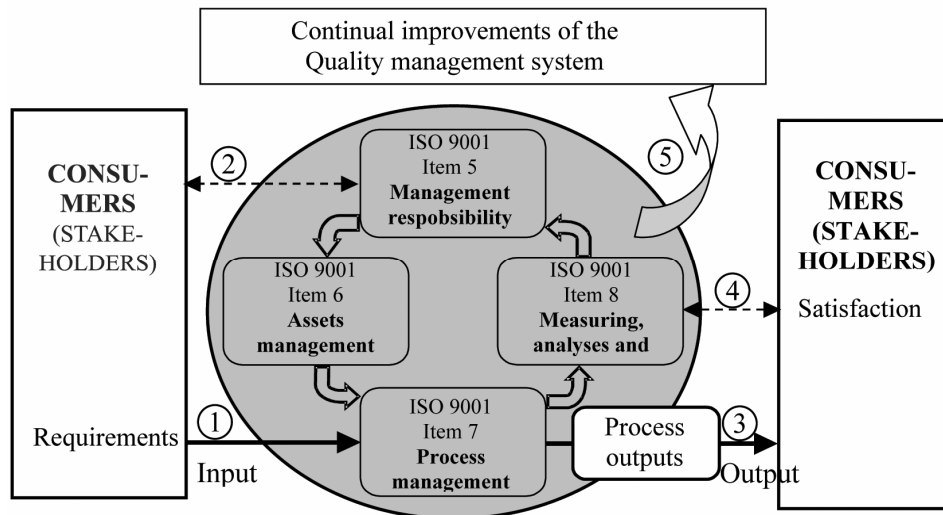


Figure 2 – Relations between the QMS subsystem and ISO 9001: 2008 standard
 Рис. 2 – Схема подсистем QMS и ISO 9001: 2008
 Слика 2 – Шема подсистема QMS према стандарду ISO 9001:2008

ISO 9001:2008 standard requires a process-based quality management model where the effects were the efficiency and customer satisfaction improvement, improvement of quality, cost reduction as well as financial performance improvement of the business (Armistead, Machin, 1997, pp.886-898) and it has an impact on effective planning and control of necessary activities (Vanhaverbeke, Torremans, 1999, pp.41-52). The process approach encompasses all the requirements of the standard (4. Quality management system, 5. Management responsibility, 6. Resource management, 7. Process output accomplishment, 8. Testing, analyses and improvements). In terms of requirements concerning information and data on operations procedures, this standard (ISO 9001: 2008) also requires six documented actions. These are: 1. Document management procedure, 4.2.3; 2. Record management procedure, 4.2.4; 3. Internal audit procedure, 8.2.2; 4. Defect treatment procedure, 8.3; 5. Corrective action procedure, 8.5.2; 6. Preventive action procedure, 8.5.3 as well as creation of 21 Records (1. Record on the subsystem to be submitted by the management 5.6.1; 2. Record on education, training, knowledge and experience 6.2.2; 3. Record on evidence that processes and outputs satisfy the requirements 7.1d; 4. Record on input elements for design and development 7.3.2; 6. Record on design and development audit 7.3.4; 7. Record on design and development recognition 7.3.5;

8. Record on design and development validity 7.3.6; 9. Record on design and development assessment 7.3.7; 10. Record on supplier assessment 7.4.1; 11. Record on the realisation process validity 7.5.2d; 12. Record on the process output traceability 7.5.3; 13. Record on the customer property 7.5.4; 14. Record on equipment not being calibrated due to absence of national standards 7.6a; 15. Record on equipment non conforming to calibration 7.6; 16. Record on the calibration of measuring, control or test equipment 7.6; 17. Record on internal subsystem audit 8.2.2; 18. Record on the authority to control process outputs 8.2.4; 19. Record on nonconforming process outputs 8.3; 20. Record on corrective action 8.5.2e and 21. Record on preventive action 8.5.3d).

QMS Subsystem According to ISO 9001:2015 Standard

The new ISO 9001:2015 standard also has a quality management subsystem (QMS) as presented in the chart in Figure 3. This is a subsystem within the Organisation System.

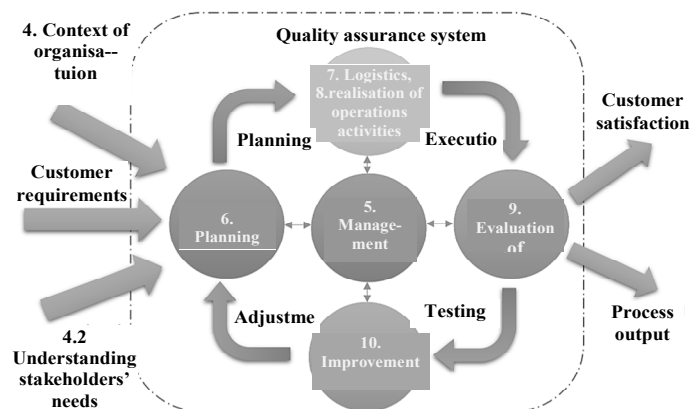


Figure 3 – Relations between the QMS subsystem and ISO 9001: 2015 standard

Рис. 3 – Схема подсистем QMS и ISO 9001: 2015

Слика 3 – Шема подсистема QMS према стандарду ISO 9001:2015

Its implementation is expected to: 1. establish the vision of a long-term development of the organisation and the process output quality policy meant to meet customer needs and requirements; 2. enhance the introduction of business planning for the purpose of: achieving business goals, preventing problem emergence and involving the interest of

stakeholders (owners, customers, employees) while simultaneously establishing the criteria and actions for tracking the achievement of goals and assessment of the results achieved, 3. establish a clear internal allocation of competence and authority based on documented actions for the purpose of minimizing employees' errors, and create basis for fact-based decision making through documented tracking of work execution and 4. improve the relationship between the owner(s)/management and the employees through fostering open communication. This standard does not require any documented procedures at the moment (ISO/TC 176/SC 3ISO 10002: 2014), (ISO/TC 176/SC 3ISO 10004: 2012), (ISO/TC 176/SC 2ISO 9004: 2009). Also altered are the requirements as regards the earlier ISO 9001:2008 standard; however, a relationship between individual standards as shown in the chart in Figure 4 can be established.

No.	Database titles	ISO 9001: 2008	ISO 9001: 2015
1	Database for subsystem review by the management	5.6.1	3. PERSONNEL (KAD): 9.3.1, 7.2
2	Database for education, training, knowledge and experience	6.2.2	
3	Database with evidence of conformity of processes	7.1d	5. QUALITY COSTS (TRO): 8.1, 8.2.2
4	Database for process output review and for required actions	7.2.2	
5	Database for input elements of design and development	7.3.2	1. DOCUMENTED INFORMATION (INF): 8.3.3, 8.3.4, 8.3.6
6	Database for design and development review	7.3.4	
7	Database for design and development verification	7.3.5	
8	Database for design and development validity	7.3.6	
9	Database for design and development review	7.3.7	4. COMPLAINTS (REK): 8.4.1, 8.4.2, 8.5.1, 8.5.2
10	Database for supplier assessment	7.4.1	
11	Database for realisation process validity	7.5.2d	
12	Database for process output traceability	7.5.3	6. MAINTENANCE (ODR): 8.5.3, 7.1.5
13	Database for customer property condition	7.5.4	
14	Database for uncalibrated equipment without national standards	7.6a	2. MIK EQUIPMENT (MIK): 7.1.5
15	Database for equipment nonconforming to calibration	7.6	
16	Database for calibrated measurement, testing and control equipment	7.6	

No.	Database titles	ISO 9001: 2008	ISO 9001: 2015
17	Database for internal audit of the system	8.2.2	3. PERSONNEL (KAD): 9.3.1, 7.2
18	Database for process output auditor authority	8.2.4	
19	Database for process output nonconformity	8.3	4. COMPLAINTS (REK): 8.4.1, 8.4.2, 8.5.1, 8.5.2
20	Database for corrective actions	8.5.2e	
21	Baza podataka za preventivne akcije	8.5.3d	

Figure 4 – Overview of the priority databases according to ISO 9001:2015
Рис. 4 – Обзор приоритетных баз данных в соответствии с ISO 9001: 2015
Слика 4 – Преглед приоритетних база података према ISO 9001:2015

The new ISO 9001:2015 standard now requires the following 18 records to be kept: 1. Record on the quality policy 5.2; 2. Record on the quality objectives 6.2; 3. Record on the results of the audit conducted by the management 9.3; 4. Record on education, training and experience 7.2f; 5. Record on the scope of trust that the planned processes have been accomplished 8.1c; 6. Record on the results of the preview of requirements for process outputs 8.3.3; 7. Record on the information describing the provider valuation results 8.4.2; 8. Record on the documented information for external suppliers 8.4.3; 9. Record on documented information on external suppliers' characteristics 8.4.3; 10. Record on the unique identification of the origins of process outputs 7.5.3; 11. Record on customer's property that is lost, damaged or unsuitable for use 7.5.4; 12. Record on the results of change preview and employees that approve of change 8.5.6; 13. Record on the conformity of monitoring and control devices 7.1.4; 14. Record on the programme implementation and audit results 9.2e; 15. Record on the authorised employees who accept the outputs of processes for customers 8.7; 16. Record on the nature of nonconformity with subsequently undertaken actions 8.8; 17. Record on the nature of nonconformity of subsequently undertaken corrective actions 10.2 and 18. Record on the results of monitoring and audit (measuring, testing, control) 9.1.1.

Priority Databases According to ISO 9001: 2015

In order that a company successfully release and launch new products, it is necessary that it should understand and correctly meet the requirements of its customers, of the market and of its competition, as well

as manage the product life cycle and integrate people, data, processes and business systems (Day, 1981, pp.102-124). As an intellectual product, software is a significant investment that has to be justified in terms that it satisfies the user's needs at an expected level (Đorđević, 2017, pp.102-124), which is accomplished in practice by using various models (Pavlović, Karović, 2015, pp.144-149).

The integrated database model, according to ISO 9001: standard model, enables retrieving and using data and information essential for quality achievement throughout all the phases of the product life cycle (Chang, Mills, 2015) as well as an effective and rational management in the organisational quality subsystem. The new standard can be expected to require maintenance of a number of necessary databases. However, it has been proven that, to satisfy the requirements of the subsystem of quality for quality management in business organisations it suffices to start from the following six established priority Databases: 1. Documented information database (INF); 2. Measuring, control and testing equipment database (MIK) (Popović, 2002), (Miletić, 2001b) 3. Qualified personnel database (KAD); 4. Complaints on process output nonconformity database (REK) (Miletich, Richkova, 2010, pp.8-10), (Popović, Todorović, 2000); 5. Costs of process output nonconformity database (TRO) (Miletić, 2001c) and 6. Plant and work equipment maintenance database (ODR) (Popović, 1993). Figure 5 presents the requirements of the standard concerning the priority databases.

Quality management is in the area of system management where a set of instantaneous actions or actions conducted during a space of time affects the system with the aim to accomplish the objectives of the system, namely, of management. Management involves the tasks of defining the method of management out of a set of admissible managerial actions as well as conducting managerial actions. The method of management is defined using either exact methods or in an empirical/intuitive manner. The former procedure requires the system model, the management goal, the management criterion and a defined set of applicable managerial actions, with variable values (of input, management, state and output) in order that accurate and reliable results be obtained. In the latter case, defining the method of management is based on experience, good practice, behaviour of other similar systems, intuition of people responsible for defining the method of management as well as other methods that cannot be measured, the result, of course, being less accurate and less reliable outputs. Figure 6 presents an example of the „Database“window.

Documented information database (INF)

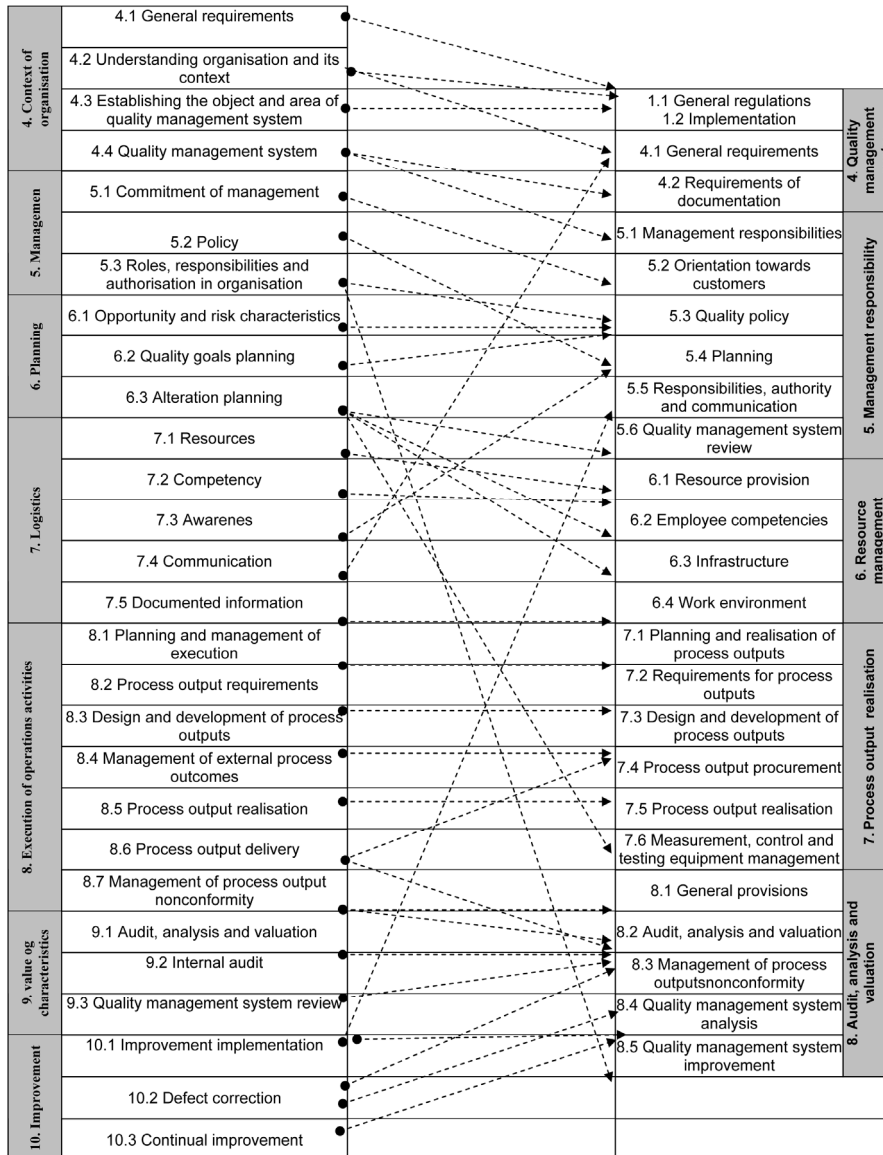


Figure 5 – Overview of the prescribed requirements according to ISO 9001: 2015 and ISO 9001: 2008

Рис. 5 – Обзор установленных требований, в соответствии с ISO 9001: 2015 и ISO 9001: 2008

Слика 5 – Преглед прописаних захтева према ISO 9001:2015 и ISO 9001:2008

The first priority Process database (documented information, INF), according to the ISO 9001:2015 standard requirements 8.3.3, 8.3.4 and 8.3.6 includes: a manual, process maps, process flow diagrams and/or process descriptions, procedures, instructions for work or for testing, organisational schemes, job descriptions, quality plans and measurement, testing and control methods, plans of business operations, audit, training, internal audit and similar information.

This database makes it possible to describe the quality management system of the organisation, to provide information to related organisational parts to ensure a better understanding of their relationships, to help the employees understand their role in the organisation and to create a clear, efficient work framework, establish a basis for order and harmony in the organization, ensure compatibility in work based on documented information as well as to ensure documented bases for Quality management system verification.

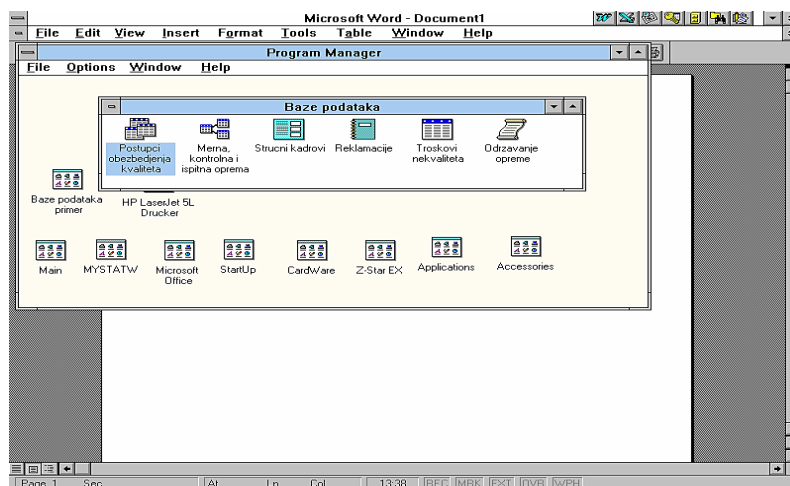


Figure 6 – "Program Manager" window with the window „Databases“

Рис. 6 – Окно "Program Manager" с окном "Базы данных"

Слика 6 – Прозор „Program Manager” са прозором „Базе података”

The starting point is the "Main Menu" and the List of procedures field (List of procedures, Preview of the quality assurance procedures records, Preview of the work procedures records, Entry of a new quality assurance procedure, Entry of a new work procedure) whereby the choice of equipment enables: a) search of already entered assurance procedures, b) search of already recorded work procedures, c) entry of a new assurance procedure or work procedure, d) recording a new assurance

procedure or work procedure, e) assignments regarding an assurance procedure or a work procedure and f) final activation.

a) The search of already filed procedures is effected by: 1. Groups of procedures (U1, U2, U3, M, R1, R2, N, P, T, K1, K2, K3, I, Š, A, S and O) and 2. Procedures (e.g., from group N: N1 Selection of eligible supplier procedure, N2 Procedure of data collection on suppliers, N3 Selection of eligible supplier procedure, N4 Procedure of preparing a contract on material procurement, N5 Procedure of complaining of nonconformity of the materials, N6 Acceptance of procured material procedure, N7 Procedure of recording procured materials).

b) The search of already filed work procedures is carried out by Organisational units (Research of market demand (IST), Management of organisation (RUK), Process output quality management and assurance (UPR), Process output design and development (PRJ), Planning and preparation of execution (PLA), Personnel training and record keeping (OBU), Material and equipment procurement and storage (NAB), Technology realisation (REA), Process output quality control (KON), Process output sales or distribution and storage (PRO), Process output installation (UGR) and Process output servicing or maintenance (SER). Figure 7 presents the window Search in selection of the N group of procedures and the provision procedure N3 Selection of eligible supplier procedure.

c) Entry of a new provision procedure or work procedure, by procedures or by organisational units, involves filling-in the record cards, namely, "Product or service provision procedure record" and "Work procedure record" forms that include the following data: Number of procedure, Identification of procedure, Work identification, Identification of operation, Identification number, Title of procedure, Objective of procedure, Responsibility record with a procedure sample, Controller, Manager, Archivist, Director, This procedure is conducted following, This procedure affects the procedures, Responsibility for this procedure is delegated to, Authorised person for procedure execution, Authorised person for interpretation and alterations in the procedure, This procedure is designed by, Date, Surname and name, Signature sign, This procedure is approved by, Date, Surname and name, Signature sign, Responsibility record with a procedure sample, Controller, Manager, Archivist, Director.

d) Record of a new procedure of the (product or service) provision procedure or a work procedure contains the following data: Record of responsibilities of the Quality assurance controller with a sample of the procedure that is kept in his/her work documentation, Record of responsibilities of the Operations assurance manager with a sample of the procedure that is kept in his/her work documentation, Record of

responsibilities of the Archivist in the design department with a sample of the procedure that is kept in his/her Quality management manual, Record of responsibilities of the Quality department director with a sample of the procedure that is kept in his/her Quality management manual, Date of assuming the responsibility, Number of issue, Copy number, Surname and name, Job position, Signature sign.

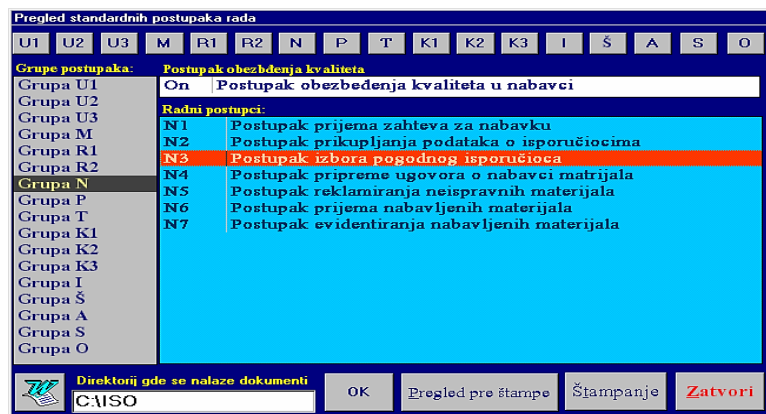


Figure 7 – Example of the window "searching" according to the group of processes and the providing procedure

Рис. 7 – Пример окна "Поиск" по группе процессов и процедуры обеспечения
Слика 7 – Пример прозора „Претраживања” по групи поступака и поступцима обезбеђења

e) Assignment of the assurance procedure or work procedure by procedures or organisational units contains the following data: Quality assurance controller, Organisational sector manager, Archivist, Quality department director, Date of assuming the responsibility, Number of issue, Copy number, Surname and name, Job position, Signature sign.

f) Final activation (Print preview and Printing).

Measuring, Control and Testing Equipment Database (MIK)

The second priority database, Measuring, control and testing equipment database (MIK), according to 7.1.5 requirement of ISO 9001: 2015 standard includes planned, procured, metrologically approved, metrologically verified, recorded, distributed and maintained measurement, testing and control equipment. It starts from the "Main Menu" window and

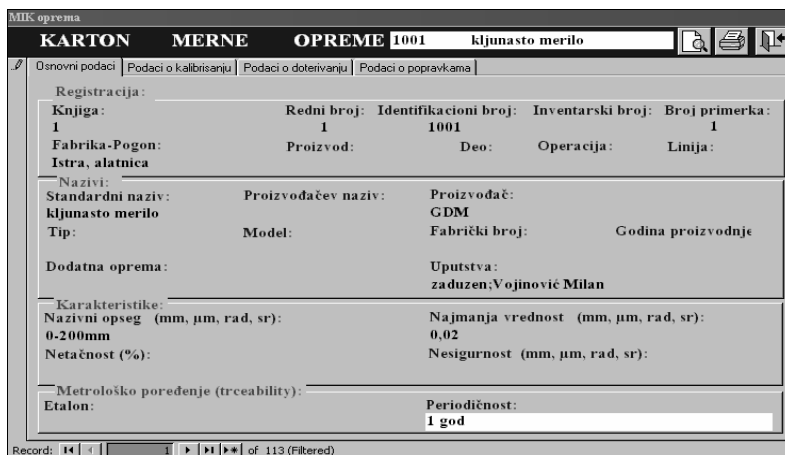
the “Select type of equipment (Measurement equipment, Testing equipment, Control equipment)” field; this selection of type of equipment enables: a) search of already filed data, b) entry of data about new equipment, c) position of the metrological verification of the recorded equipment, d) preview of recorded equipment and e) final activation (Print preview and Printing).

a) The search of already entered data is done by: 1. identification number, 2. inventory number, 3. standard name of equipment, 4. workshop in which the equipment is to be used, 5. process output or 6. part of the process output for which the equipment is used, 7. method of processing or 8. installation in which the equipment is used as well as at 9. processing or installation line in which the equipment is used.

b) Entry of new data about new equipment involves filling in the forms: “Measurement equipment record“, “Control equipment record“ and “ Testing equipment record“, where the following is recorded: General data, Data on metrological verification, Data on adjustments, Data on repairs, in such a manner that one piece of the existing and one piece of the newly procured equipment is entered in each of the records. General data include the following data: registration (Registry book, Sequence number, Identification number, Inventory number, Number of pieces, Factory, Process output, Part, Operation, Line), Names (Standard name, Manufacturer’s name, Manufacturer, Type, Model, Factory number, Year of manufacture, Accessory equipment, Instructions), characteristics (Name scope, Least value, Inaccuracy, Uncertainty) and metrological comparison (Standard, Periodicity). Data on metrological verification contain the following: Date of verification, Verified by the laboratory, Following date, Verification result, Seal and Signature signs. Data on adjustments include the following: Date, Adjustment result, Seal and Signature signs. Data on repairs include the following: Date, Repair result, Seal and Signature signs. Figure 8 shows a window with an example of the measuring equipment record for the Sliding calliper, identification number 1001. Figure 9 presents a window with an example of testing equipment for a Spectrometer, identification number 2881501. Figure 10 shows a window with an example of the record of control equipment for Control fork 71*30 (-0.1), marked with number 13.

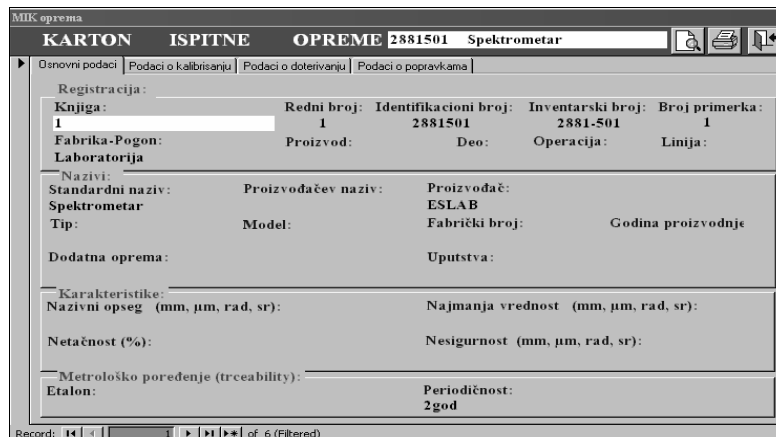
c) The position of the metrological verification of recorded equipment includes the following data: metrological verification (callibration, gauging, adjustment), repair and inspection of equipment. Equipment callibration contains the following data: issuing an order for callibration and verifying the state of callibration. Issuing the order for callibration involves a certain

authorised laboratory, following an entry of data into the "Order for metrological verification of equipment" form in order to obtain legalisation, i.e., get a licence for work and implementation in industry, with verifications (date, name of laboratory, next date of inspection, verification result, Seal and Signature of the person responsible signs).



Registracija:				
Knjiga:	Redni broj:	Identifikacioni broj:	Inventarski broj:	Broj primerka:
1	1	1001		1
Fabrika-Pogon:	Proizvod:	Deo:	Operacija:	Linija:
Istra, alatnica				
Nazivi:				
Standardni naziv:	Proizvođačev naziv:	Proizvođač:		
kljunasto merilo		GDM		
Tip:	Model:	Fabrički broj:	Godina proizvodnje	
Dodatna oprema:				
			Uputstva:	
			zaduzen;Vojinović Milan	
Karakteristike:				
Nazivni opseg (mm, µm, rad, sr):		Najmanja vrednost (mm, µm, rad, sr):		
0-200mm		0,02		
Netačnost (%):		Nesigurnost (mm, µm, rad, sr):		
Metrološko poređenje (trceability):				
Etalon:			Periodičnost:	
			1 god	

Figure 8 – Example of the window „Measuring equipment card“
Рис. 8 – Пример окна "Журнал измерительного оборудования"
Слика 8 – Пример прозора „Картон мерне опреме“



Registracija:				
Knjiga:	Redni broj:	Identifikacioni broj:	Inventarski broj:	Broj primerka:
1	1	2881501	2881-501	1
Fabrika-Pogon:	Proizvod:	Deo:	Operacija:	Linija:
Laboratorija				
Nazivi:				
Standardni naziv:	Proizvođačev naziv:	Proizvođač:		
Spektrometar		ESLAB		
Tip:	Model:	Fabrički broj:	Godina proizvodnje	
Dodatna oprema:				
			Uputstva:	
Karakteristike:				
Nazivni opseg (mm, µm, rad, sr):		Najmanja vrednost (mm, µm, rad, sr):		
Netačnost (%):		Nesigurnost (mm, µm, rad, sr):		
Metrološko poređenje (trceability):				
Etalon:			Periodičnost:	
			2god	

Figure 9 – Example of the window „Testing equipment card“
Рис. 9 – Пример окна "Журнал испытательного оборудования"
Слика 9 – Пример прозора „Картон испитне опреме“

The establishment of the state of the metrological verification of equipment enables a check of the date or the next date of verification in order that it should be determined whether a given piece of equipment is allowed to be used, or when the said piece should undergo the next metrological verification (Date, Laboratory, Next date, Verification result, Signature sign and Verified). Adjustment includes the following data: Date, Adjustment result, Seal and Adjustment expert signature signs). Repair includes the following data: Date, Repair result, Signs for seal and signature of the person who did the repair.

The screenshot shows a software window titled "MIK oprema" with a sub-header "KARTON KONTROLNE OPREME 13" and a search field containing "71*30(-0.1)". The window has several tabs: "Osnovni podaci", "Podaci o kalibriranju", "Podaci o doteivanju", and "Podaci o poprvkama". The main content area is divided into several sections:

- Registracija:**
 - Knjiga: 1
 - Redni broj: 13
 - Identifikacioni broj: 13
 - Inventarski broj: /
 - Broj primerka: 1
 - Fabrika-Pogon: Strugara
 - Proizvod: Deo: Operacija: Linija:
- Nazivi:**
 - Standardni naziv: 71*30(-0.1)
 - Proizvođačev naziv: Kontrolna račva
 - Proizvođač: "ISTRA"
 - Tip: Model: Fabrički broj: Godina proizvodnje
- Dodatna oprema:** Uputstva:
- Karakteristike:**
 - Nazivni opseg (mm, µm, rad, sr): 29.9-30mm
 - Najmanja vrednost (mm, µm, rad, sr):
 - Netačnost (%):
 - Nesigurnost (mm, µm, rad, sr):
- Metrološko poređenje (traceability):**
 - Etalon: Periodičnost: 2god.

At the bottom, there is a record navigation bar showing "Record: 1 of 298 (Filtered)".

Figure 10 – Example of the window „Control equipment card“
 Рис. 10 – Пример окна "Журнал контрольного оборудования"
 Слика 10 – Пример прозора „Картон контролне опреме“

- d) The inspection of recorded equipment includes the following data: inspection of the measuring equipment for metrological verification for the next month, the current and the next dates.
- e) Final activation (Pre-print preview and Printing).

Qualified Personnel Database (KAD)

The third priority database – Qualified personnel database (KAD), according to requirements 9.3.1 and 7.3 of ISO 9001: 2015 standard, includes planned and employed professionals in the organisation. It starts from the windows "Main Menu" and the "General data" field (Personal data, job position data), Data on the employee's qualifications, Results of

the employee over the probation period (of work), Data on the employee's training, Data on the employee's experience and Data on the employee's motivation; this choice of the type of data enables: a) search of the already filed qualified personnel, b) entry of data on new qualified personnel, c) preview of the qualified personnel file, d) preview of the general data related to qualified personnel and e) final activation.

a) The search of the already filed qualified personnel is carried out by:

1. general data (Personal data, Data on the job position/workplace),
2. data records on the employee's results during the probation period,
3. data records on the employee's education, 4. data records on the employee's experience and 5. data records on the employee's motivation at his/her workplace.

b) Data entry on new personnel includes recording in the form: "Qualified employee record" where the following is filled in: 1. Personal data (Surname, father's name, (maiden name) and the first name, Day, month and year of birth, Place and county of birth, Unique master citizen number, Identification card and passport number, Residence address, Apartment, Home phone number), 1. Workplace data (Organisational unit, Workplace number, Workplace name, Workplace complexity coefficient, Type of employment, Location, Workplace phone number), 3. Records on the employee's performance during the probation period (Type of probation work, Name of workplace, Workplace number, Length of probation period, Evaluation grade on probation), 4. Data records on the employee's education (Type of education, Degree of education, Course route or profession, Course profile, Internal title, Length of education, Has a diploma of), 5. Data records on the employee's work experience (Type of work experience, Experience in profession, Experience in academic rank, Experience in professional rank, Experience in the course route, Experience in profile, Period of experience) and 6. Data records on the employee's motivation at his/her workplace (Type of motivation, Level of motivation, Degree of motivation).

c) The preview of the personnel database is conducted on: General data, Records of performance during the probation work period, Data records on the employee's education, Data records on the employee's work experience and Data records on the employee's motivation at his/her workplace.

d) The preview of general data is conducted on: Personal data and Workplace data.

e) Final activation (Print preview and Printing).

Complaints on Process Outputs Nonconformity Database (REK)

The fourth priority database - Complaints on process outputs nonconformity database (REK), according to requirements 8.4.1, 8.4.2, 8.5.1 and 8.5.2 of ISO 9001: 2015 standard, includes complaints on nonconformity of own and others' process outputs (semi-products, products, documentation or services). It starts from the window "Main Menu" and the "Sales programme" field (Code of process output, Name of process output, Unit of measure and single cost of process output) and filing these data on the process output that was complained about enables: a) search of complaints on nonconformity, b) notification of a complaint, c) processing a complaint, d) resolving a complaint, e) preview of resolved complaints and f) final activation.

a) The search of sales programme is conducted by: 1. Purpose of complaint (Identification of complaint, Process output consumers, Contract, Dispatch note, Name of process output, Structure, Part and Material of process output, Number of nonconforming and Mass of process outputs, Description of a complaint, Date of a complaint, Date and Name of person making a complaint and Claimant signature sign), 2. Identification of a complaint (Identification number, Level 1-5), 3. Process outputs (Code, Name, Unit of measure, Price of process output), 4. Resolving a complaint (Identification of a complaint, Factory, Organisational unit, Process output, Design, Workplace, Material of process output, Number of nonconforming, Consumed mass, Wasted mass, Description of a complaint, Date of a complaint, Date, Name and Signature of person making a complaint and person entering a complaint, as well as Costs of a complaint), 5. First identification (ID 1A, ID 11, Name 1), Second identification (ID 2A, ID 12, ID 22, Name 2), Third identification (ID 3A, ID 13, ID 23, ID 33, Name 3) and Fourth identification (ID 4A, ID 1, ID 2, ID 3, ID 4, Name 4). Figure 11 presents a window with an example of nonconformities.

Reklamacije	Oznaka reklama...	Resavanje reklamacija	Prva oznaka	Cetvrta oznaka
IBR Oznaka Kupac Ugovor Otpremnica Proizvod Sklop Deo Materijal Br_neispravni Masa Opis Datum Ime Potpis	IBO IBR Nivo1 Nivo2 Nivo3 Nivo4 Nivo5 Proizvodi IDP Sifra proizvoda Naziv proizvoda Jedinica mere Cena	IBRR IBO Fabrika Organizaciona jedinica Proizvod Deo Crtez Radno mesto Materijal Br_neispravni Utroseno sati Bacena masa Opis Datum Ime Potpis Uneo Troškovi	ID1A ID11 Naziv1 Druga oznaka ID2A ID22 ID12 Naziv2 Trecia oznaka ID3A ID33 ID13 ID23 Naziv3	ID4A ID1 ID2 ID3 ID4 Naziv4

Figure 11 – Example of the window „search for claims on nonconformities”

Рис. 11 – Пример окна "поиск претензий по дефектам"

Слика 11 – Пример прозора за „претраживање рекламација неисправности”

b) Notification of a complaint includes completing the “Notification of a complaint” form by entering the following: Sequence number, Customer name, Contract number, Dispatch note number, Process output name, Structure, Part and Material of the process output, Number of nonconforming and Mass of process outputs, Description of a complaint, Date of a complaint, Name of the person making a complaint, Signature sign, Identification of a complaint (Level 1-5). Figure 12 shows a window with an example of Notification of a complaint.

Reklamacije				Redni broj: 1	
Prijava reklamacije					
Kupac: IBC	Ugovor: 12/34	Otpremnica: 165	Proizvod: KFR-ventil		
Sklop: 182.534	Deo: Opruga	Materijal: Č.1312	Br_neispravni: 10	Masa: 3.40	
Opis: Ventil se ne ponasa kao nepovratni jer opruga ventila ne pokazuje dobru fleksibilnost					
Datum: 05-01-98	Podnosilac reklamacije: Marko Jović			Potpis: <input checked="" type="checkbox"/>	
Oznaka reklamacije:	1.nivo: 1	2.nivo: 1	3.nivo: 4	4.nivo: 2	5.nivo: 1 Uneo: M.Jović
<input type="button" value="Print"/> <input type="button" value="Next"/>					
Record: 1 of 6					

Figure 12 – Example of the window „Notification of complaints”

Рис. 12 – Пример окна "Учет претензий"

Слика 12 – Пример прозора „Пријава рекламације”

c) Processing a complaint is done by organisational wholes (IST, RUK, UPR, PRJ, PLA, OBU, NAB, REA, KON, PRO, UGR, SER) as well as by process output.

d) Resolving a complaint is conducted by: Identification of a complaint, Factory, Organisational unit, Process output, Part of process output, Design, Workplace, Material of process output, Number of nonconforming, Wasted mass, Description of a complaint, Date of sending a complaint, Names and Signatures of claimants and the person that filed a complaint, Costs of the complaint and the Name of the person who resolved the complaint.

e) Preview of resolved complaints by organisational whole as well as by process outputs.

f) Final activation (Print preview and Printing).

Costs of process output nonconformity database (TRO)

The fifth priority database - Costs of process output nonconformity database (TRO), according to requirements 8.1 and 8.2.2 of ISO 9001:2015 standard includes planned and incurred costs related to process output nonconformity (semi-products, products, documentation or services).

The fifth priority database - Costs of process output nonconformity database (TRO) includes all planned and incurred costs related to process output nonconformity. It starts from the window "Main Menu" and the "Select the type of equipment" field (Measuring equipment, Testing equipment, Control equipment); such a selection of equipment type enables the following: a) search of already filed data on costs, b) reporting new data on costs, c) preview of diagram charts and d) final activation (Print preview and Printing).

a) The search of already recorded data on costs is conducted by:

I. *Organisational wholes* (1. Research into market needs (IST), 2. Designing process outputs (PRJ₁), 3. Development of process outputs (PRJ₂), 4. Planning and preparation of execution (PLA), 5. Procurement and storage of materials and equipment (NAB), 6. Realisation of technologies (REA), Fitting or installing process outputs (UGR) and Servicing or maintenance of process results (SER), 7. Management and quality assurance of process outputs (UPR) and process output quality control (KON) and 8. Sales or distribution and storage of process outputs (PRO)); II. *Organisational competences* (1. Prototype design, 2. Making of prototype, 3. Inspection of prototype, 4. Prototype storage, 5. Process

output creation, 6. Delivery, 7. Servicing, etc.); III. *Organisational business* (1. Processing, 2. Installing, 3. Transport, etc.); IV. *Cost caused by* (1. Energy, 2. Material, 3. Information); V. *Organisational phases* (1. Prior to process, 2. During the process, 3. After the process); VI. *Organisational processes* (1. Shaping, 2. Misshaping, 3. Separation, etc.); VII. *Organisational operations* (1. Forming from liquid, 2. Forming from pulp, etc.); VIII. *Cost elements* (1. Raw material, 2 Tools, 3. Auxiliary tool set, 4. Machinery, 5. Management) and IX. *Cost caused by* (1. Length values, 2. Values of forms, etc.).

b) Notification of new data on costs includes filling in a "Notification of nonconformity costs" form where the following data are entered: Sequence number, Factory name, Organisational whole, Process outputs, Part, Design and Material of process results, Workplace, Number of nonconforming items, Number of hours spent, Amount of recovery costs, Wasted mass of material, Description of costs, Names of the controller and software developer, Signature sign and nine identifications of cost levels (1, 2, 3, ..., 9).

c) Preview of diagram charts is conducted by: Factory name, Organisational whole, Process outputs, Workplace and Part of process output, Number of hours spent, Amount of recovery costs and Wasted mass of material and nine identifications of cost levels (1, 2, 3, ..., 9). Figure 13 presents the window for the preview of costs due to nonconformity at level 1.

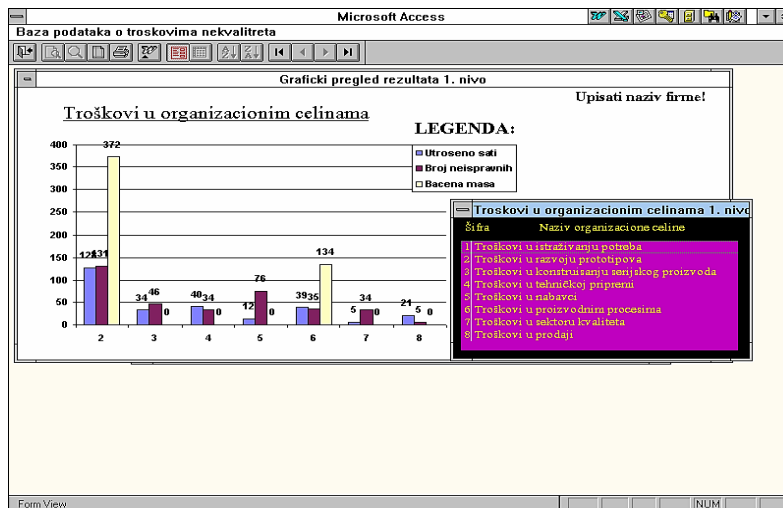


Figure 13 – Example of the window for search of the nonconformities costs at level 1
 Рис. 13 – Пример окна для поиска затрат по дефектам на уровне 1
 Слика 13 – Пример прозора за прегледање трошкова неисправности на 1. нивоу

The presented cost values at level 1 demonstrate that they are highest in the second organisational whole (Designing process outputs (PRJ_1)) due to a wasted mass of 372 kg of material.

Figure 14 presents the window for the preview of costs incurred by nonconformities at level 2. These results show that the highest costs are incurred in prototype making (Development of process outputs (PRJ_2)) due to a wasted mass of 204 kg of material.

d) Final activation (Print preview and Printing).

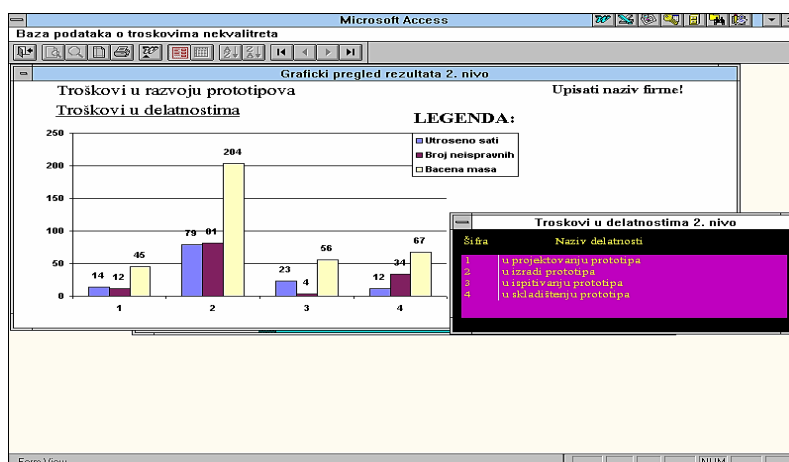


Figure 14 – Example of the window for search of the nonconformities costs at level 2

Рис. 14 – Пример окна для поиска затрат по дефектам на уровне 2

Слика 14 – Пример прозора за прегледање трошкова неисправности на 2. нивоу

Power and work equipment maintenance database (ODR)

The sixth priority database, Power and work equipment maintenance database (ODR), according to requirements 8.5.3 and 7.1.2 of ISO 9001: 2015 standard, includes the organisation's own power equipment (generators, compressors, ventilators, water, water purifiers) and technological equipment (machinery, tools, auxiliary equipment, cranes, transporters) and enables a complete inventory record of equipment and the overall maintenance of equipment. It starts from the window "Main Menu" and the "Power and work equipment" field (Machinery, Tools, Auxiliary equipment, General data); this choice of equipment type enables: a) search of already entered data, b) entry of data on power and work equipment, c) preview of filed equipment and d) final activation.

a) The search of already recorded data is done by: 1. Machinery (Records, Maintenance, Maintenance staff), 2. Tools (Records, Maintenance, Maintenance staff), 3. Auxiliary equipment (Records, Maintenance, Maintenance staff) and 4. General data (Classification of machinery according to purpose, Type of machine, Machine group, Classification of machines according to overall dimensions, Classification of machines according to speed of operation, Machine subsystems, Company name). Figure 15 presents the window used to search General data.

Figure 15 – Example of the window for General data research

Рис. 15 – Пример окна для поиска Общих сведений

Слика 15 – Пример прозора за претраживање општих података

b) Entry of data on power and work equipment involves recording data in the “Equipment record” form, where the following data are filled in: Sequence number, General data on equipment (Photography, outline or scheme of equipment, Name of equipment, Manufacturer, Manufacturer’s name of equipment, Type of equipment, Factory number, Year of manufacture, Year of procurement, Work field of equipment, Inventory number, Work position, Group of equipment), Data on the driving power of equipment (Power kW, Voltage V, Electricity A, Frequency of turn min^{-1}), Data on parts of equipment (Equipment part name, Part manufacturer, Equipment part type, Power, Frequency of turn), Annexes to equipment (Instructions for use, Schemes, Designs, Electrical scheme, Hydraulic scheme, Lubrication scheme), Review of change in equipment precision (Period, Precision/Accuracy), Data on spare parts (Part name, Product, Type, Identification, Number of pieces, Note), and Data on inspections,

repairs or overhaul of equipment (Inspection, repair or overhaul, Provider of works, Term, Note).

c) Preview of filed equipment is done by: Data on equipment (Group, Subgroup, Classification according to overall dimensions, Classification according to speed of operation, Manufacturer, Manufacturer's name, Factory number, Year of manufacture, Year of procurement, Work field of equipment, Inventory number, Work position, Identification of working condition), Parts of equipment, Driving power of equipment, Maintenance of equipment (Maintenance staff, spare parts, Machine group), Annexes to equipment, Equipment failures and Change in equipment precision. Figure 16 presents a window with the data on the Universal tool milling machine ALG-200B.

The screenshot shows a software interface for equipment data management. The main title is 'Štampani izveštaji'. Below it, the equipment name is 'Univerzalna alatna glodalica ALG-200 B'. A list of fields includes: Grupa (Glodalice), Podgrupa (Univerzalne glodalice), Podela po gabaritu (Srednje), Podela po brzini rada (Normalne), Proizvođač (Prvomajska), Proizvođačev naziv (ALG-200 B), Tip opreme (Mašina alatka), Fabrički broj (1158714), Godina izrade (1988), Godina nabavke (1990), Radno područje, Inventarski broj (100), and Radno mesto (Alatnica). There is a search filter 'Radi' with a checked box. To the right, a 'Izbor štampe' (Print selection) menu offers options: Podaci o mašini, Delovima mašine, Pogonu mašine, Održavanju mašine, Prilozima za mašinu, Otkazima mašine, and Promeni preciznosti. Below this menu are buttons for 'Radnici održavanja', 'Rezervni delovi', and 'Grupe mašina'. At the bottom, there are buttons for 'Pronađi', 'Štampa', and 'Izlaz'. A status bar at the bottom left shows 'Record: 1 of 8'.

Figure 16 – The window for research of the data for the Universal tool milling machine
Рис. 16 – Окно для поиска данных машины Универсальный инструментальный фрезерный станок

Слика 16 – Прозор за прегледање података машине универзалне алатне глодалице

d) Final activation (Print preview and Printing).

Conclusion

International Quality Management System (QMS) ISO 9001:2015 Standard implemented in this country in business organisations and in public administration comes as a replacement of the previous, ISO 9001:2008 standard. Compared to the previous ISO 9001:2008 standard, this standard does not require a complicated manual to be devised: instead of six, it needs no documented procedures now and only 18 prescribed reports are required in comparison with 21 in the previous

version. The organisations that have already certified their standards to comply with this earlier standard, ISO 9001: 2008 standard, now have to adopt the new standard of the quality system model, ISO 9001:2015, no later than September 2018. A serious problem in this transition from the earlier to the new standard is the design of necessary databases. For the purpose of successful transition to the new ISO 9001: 2015 standard and an effective quality management system, the authors analysed the required data and information resulting from the requirements of this standard and designed six priority databases that they propose as necessary to implement in manufacturing industry. Using the six priority databases for which conceptual and programme solutions are devised, the organisations that have already certified their quality systems to comply with the earlier standard can make a safe and fast transition to the new ISO 9001: 2015 standard and thus manage quality in an efficient and rational manner even before the given deadline (September 2018).

References

Armistead, C., & Machin S., 1997. Implications of business process management for operations management. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(9), pp.886-898. Available at: <http://dx.doi.org/10.1108/01443579710171217>.

Chang, K.C., & Mills, T.M., 2015. Modeling competition over product life cycles,. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 32(4). Available at: <http://dx.doi.org/10.1142/S0217595915500219>.

Day, G., 1981. The product life cycle: Analysis and applications issues. *Journal of Marketing*, 45, pp.60-67. Available at: <http://dx.doi.org/10.2307/1251472>.

Đorđević, D.N., 2017. Software quality standards. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 65(1), pp.102-124. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-10668>.

- ISO 9000: *Quality management system: Fundamentals and vocabulary* 2005. Geneva: International organization of standardization.

- ISO 9000: *Quality management systems: Fundamentals and vocabulary* 2015.

- ISO 9001: *Quality management systems: Requirements* 2015.

- ISO 9001: *Requirements* 2008. Geneva: International organization of standardization.

- ISO/TC 176/SC 2 ISO 9004: *Managing for the sustained success of an organization: A quality management approach* 2009.

- ISO/TC 176/SC 3 ISO 10002: *Quality management: Customer satisfaction: Guidelines for complaints handling in organizations* 2014.

- ISO/TC 176/SC 3 ISO 10004: Quality management: Customer satisfaction: Guidelines for monitoring and measuring 2012.

- ISO/TC 176/SC 3 ISO/NP 10015: Quality management: Guidelines for competence management and training.

- ISO/TS 9002: Quality management systems: Guidelines for the application of ISO 9001: 2015 2016.

Miletić, Lj., 2001a. *Organizovanje, projektovanje i uvođenje potrebnih baza podataka za sistem kvaliteta u preduzećima metalske industrije* (in Serbian), Ph.D. thesis, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering.

Miletić, Lj., 2001b. Projektovanje baze podataka „Troškovi“ (in Serbian). *Tehnika*, 56(6), pp.7SK-10SK6.

Miletić, Lj., 2001c. Projektovanje baze podataka MIK za sistem kvaliteta (in Serbian). In: III Međunarodni simpozijum SIE Industrijsko inženjerstvo, Beograd.

Pavlović, Z.B., & Karović M.S., The application of bass difusion model in forecasting telecommunication services users in military assistance to civilian authorities. *Defence Science Journal*, 65(2), pp.144-149. Available at: <http://dx.doi.org/10.14429/dsj.65.6026>.

Popović, B., 1993. *Ulazna kontrola u sistemu kvaliteta* (in Serbian), Beograd: Nauka.

Popović, B., 2002. *Procesna kontrola u sistemu kvaliteta* (in Serbian). Beograd: Nauka.

Popović, B., 2014. *Sistem šest sigma u usluživanju rezultatima procesa* (in Serbian). Beograd: Akademska misao.

Popović, B., & Todorović, Z., 1998. *Obezbeđenje kvaliteta* (in Serbian). Beograd: Nauka.

Popović, B., & Todorović, Z., 2000. *Izlazna kontrola u sistemu kvaliteta* (in Serbian). Beograd: Nauka.

Sroufe, R., & Curkovic, S., 2008. An examination of ISO 9000:2000 and supply chain quality assurance. *Journal of Operations Management*, 26(4), pp.503-520. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.006>.

Vanhaverbeke, W., & Torremans H., 1999. Organizational structure in process-based organizations. *Knowledge and Process Management*, 6(1), pp.41-52. Available at: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1441\(199903\)6:1<41::AID-KPM47>3.0.CO;2-4](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1441(199903)6:1<41::AID-KPM47>3.0.CO;2-4).

Miletić, L., & Rychkova M., 2010. Proektirovanie baz dannyh «Zhaloby» po Sisteme kachestva / Planning data base “Complaints” for Sistem Quality (in Russian). *Надёжность и качество (Nadezhnost' and Kachestvo)*, 1, pp.8-10.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ
СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА (QMS), В
СООТВЕТСТВИИ С ИСО 9001: 2015

Лиляна З. Милетич, Аца Д. Йованович, Филипп П. Йованович,
Весна В. Буха

Университет EDUCONS в г.Сремская Каменица, Факультет Управления
инновационными проектами, г.Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: компьютерные науки, информатика, управление качеством
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Международный стандарт системы менеджмента качества ISO 9001: 2015 в Сербии имеет весьма широкое применение, особенно в коммерческих организациях и в государственном управлении. Стандарт был разработан в 1987 году а первые изменения были внесены в 1994 году, а затем в 2000-ом и 2008--ом годах, объем изменений с каждым разом увеличивался, упрощая документооборот при его внедрении. Так, например, по сравнению с предыдущим стандартом ISO 9001: 2008, последний стандарт не требует сложных Регламентов, вместо шести, теперь вовсе не требуется проведение документированной процедуры и вместо 21-го теперь достаточно подготовить 18 предписанных отчетов. Организации, которые уже сертифицированы на соответствие с предыдущим стандартом ISO 9001: 2008 должны перейти к новому стандарту до сентября 2018-го года. Одной из основных проблем в этом переходе является создание необходимых баз данных, которые необходимы для практического применения нового стандарта. Авторы статьи в качестве решения этой проблемы, предлагают общую модель, состоящую из шести приоритетных баз данных: База данных по документообороту; База данных по измерительному, контрольному и испытательному оборудованию; База данных по персоналу; База данных по претензиям на дефекты; База данных по затратам на дефекты; и База данных по эксплуатации и техническому обслуживанию рабочего оборудования.

Ключевые слова: приоритетные базы данных, система управления качеством, стандарт ISO 9001: 2015.

ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРИОРИТЕТНИХ БАЗА ПОДАТАКА ЗА QMS
НА ОСНОВУ СТАНДАРДА ISO 9001:2015

*Љилјана З. Милетић, Аца Д. Јовановић, Филип П. Јовановић,
Весна В. Буха*

Универзитет EDUCONS у Сремској Каменици, Факултет за пројектни и
иновациони менаџмент, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: рачунарске науке, информатика, управљање квалитетом
ВРСТА ЧЛАНКА: прегледни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак

Међународни стандард за Систем управљања квалитетом ISO 9001:2015 има у нас веома широку примену, нарочито у привредним организацијама и јавној управи. Стандард је настао 1987, а ревидиран је 1994, 2000. и 2008. године, сваки пут уз све веће измене, а последњи пут и уз највеће промене. У односу на претходни стандард ISO 9001:2008, овај стандард не захтева израду компликованог приручника, уместо шест сада није потребан ниједан документовани поступак, а уместо 21 сада је довољно 18 прописаних извештаја. Организације које су већ сертификовале своје системе према ранијем стандарду ISO 9001:2008 сада морају да пређу на нови стандард, најкасније до септембра 2018. године. Један од већих проблема у овом преласку представља израда потребних база података које су неопходне за практичну примену новог стандарда. Као решење овог проблема аутори предлажу генерални модел са шест приоритетних база података: база за документоване информације; база за мерну, контролну и испитну опрему; база за стручне кадрове; база за рекламације неисправности резултата процеса; база за трошкове неисправности резултата процеса и база за одржавање погонске и радне опреме.

Кључне речи: приоритетне базе података, систем управљања квалитетом, стандард ISO 9001:2015.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 16.12.2016.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 24.01.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 26.01.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).




СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ
ПРОФЕСИОНАЛНЫЕ СТАТЬИ
PROFESSIONAL PAPERS

IMPROVING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A DECONTAMINATION TANKER WITH THE HELP OF TRIZ

Obrad T. Čabarkapa^a, Dušan S. Rajić^b

University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy,
Innovation Center, Belgrade, Republic of Serbia

^a e-mail: obrad.cabarkapa@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-3949-8227>,

^b e-mail: rajic.dusan1@gmail.com,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-5226-4089>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-11002>

FIELD: Chemical Technologies

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

This paper explains the application of the TRIZ methodology (Theory of Solving Inventive Tasks) in the field of solving a technical problem in a decontamination tanker. TRIZ is one of the most suitable scientific and innovative methodologies for solving problems, based on a systematic and logical approach, developed as a result of studying a great number of patents. The correct use of a decontamination tanker identified a harmful function related to preparing the decontamination solution in the on-board reservoir itself, which disabled the supply of drinking water.

The function used to extend the use of decontamination tankers to delivery of drinking water was achieved using the Inventive Principles and Alshuler's Contradiction Matrix, both known to be very efficient TRIZ methodology tools.

Key words: TRIZ methodology, harmful function, technical system, technical contradiction, contradiction matrix, inventive principles.

Introduction

The decontamination tanker M-78 (ACD M-78) is a special vehicle adopted by the Serbian military (in CBRN service units) with its main application in radiological, chemical and biological decontamination of personnel and technical equipment (<http://www.mycity-military.com>, 2016). Apart from this application, it can also be used for personnel's hygiene, fire extinguishing, technical water supply, pumping water out flooded areas, soil chlorination, etc.

The tanker is served by a certain number of people- personnel. In order for the personnel to be able to carry out their tasks, the vehicle is equipped with the following: a device for personnel decontamination, device for decontamination of technical equipment, soil decontamination kit, reservoir filling kit, illumination kit, water pumping and fire extinguishing equipment, as well as equipment for heating the pump and hose instalations. The vehicle is given in Fig 1:



Figure 1 – Decontamination tanker M-78
Рис. 1 – Автоцистерна для деконтаминации М-78
Слика 1 – Аутомобил цистерна за деконтаминацију М-78

The decontamination accessories in the ACD M-78 are: shower collectors; shower packs; working hoses (20 and 10 m long); nozzles; hand sprayers; distribution hose (branches) and a collector.

The accessories help with the final and total radiological, chemical and biological decontamination of the personnel and technical means, with the option of radiological soil decontamination, object decontamination and fire extinguishing. Radiological decontamination refers to elimination of radioactive contaminants off a contaminated surface. A decontamination process strives towards a complete elimination of radioactive contaminants

off a certain surface, and if this is not possible, then it is done to an extent that does not impose a danger in practice.

One of the Serbian army's missions is to support civilian government in fighting safety threats, as well as in case of natural disasters, industrial and other accidents and epidemics.

Over the recent years, Serbian army units have been engaged all over the country on numerous tasks- one of the most known ones to the public being the floods in Obrenovac. One of the main and most important tasks during these engagements is to enable water supply for the civilians (for example, in Kraljevo after the 2010 earthquake, in Užice after the contamination of the accumulative lake Vrujci, in Obrenovac, Trstenik, Svilajnac and many other places around the Republic of Serbia after the floods that happened in May 2014).

During the realization of these tasks, it was noticed that there was a lack of the necessary number of water tankers in order to fulfill the population's needs.

The main technical problem that was noticed during the use of the ACD M-78 was the exclusive use of the tanker water for technical purposes (bathing, dish washing, clothes washing, etc.), and not for drinking. The main reason for this limited use of the tanker was that the substance solution for decontamination was prepared in the tanker's reservoir. Substances for decontamination are chemical compounds or mixtures which have the ability to react with poisonous chemical substances (PCS), to break them down or neutralize biological agents or help eliminate CBRN contaminants. Calcium hypochlorite and sodium hypochlorite are mostly used as decontamination substances.

There is a question of finding new ways to expand the technical possibilities of the ACD M-78, to use it not only for supplying technical water used for CBRN decontamination, as it has been the case until now, but also for supplying drinking water, which is a realistic need. The TRIZ methodology is suitable for solving the described problem (Rajić et al, 2006, pp.489-501), (Rajić, Čabarkapa, 2016, pp.701-704).

Determining a harmful function of a decontamination tanker

A decontamination tanker is seen as a technical system (TS) where there is an identified harmful function (a technical problem) which refers to the *preparation of the substance solution for decontamination in the reservoir* - which disables supply of drinking water due to its contamination.

Solving this problem would enable a new useful function in the tanker, which would increase the operating ability of the units and would contribute to the successful problem solving in case of natural disasters.

By applying TRIZ it is possible to solve the existing technical problem in the tanker i.e. discover how to eliminate the harmful function. The Inventive Principles and Contradiction Matrix have been proved to be the most often used tools in practice for solving the existing technical problems (Rajić et al, 2016, pp.95-150). A graphic display of the useful and harmful functions of the ACD M-78 is shown in Figure 2.

The useful tanker functions for decontamination come from its basic applications, and those are: radiological, chemical, and biological decontamination of personel and technical means, technical water supply, fire extinguishing, soil chlorination, pumping water out the flooded areas, etc.

By considering the need for the tanker to be used for drinking water supply, its harmful function was noticed- the inability to supply drinking water due to the fact that the preparation of the chemical solutions for decontamination was performed in the tanker itself.

Determining the harmful function imposed a question: What can be done so that the tanker, apart from its original application, could also be used for supplying drinking water?

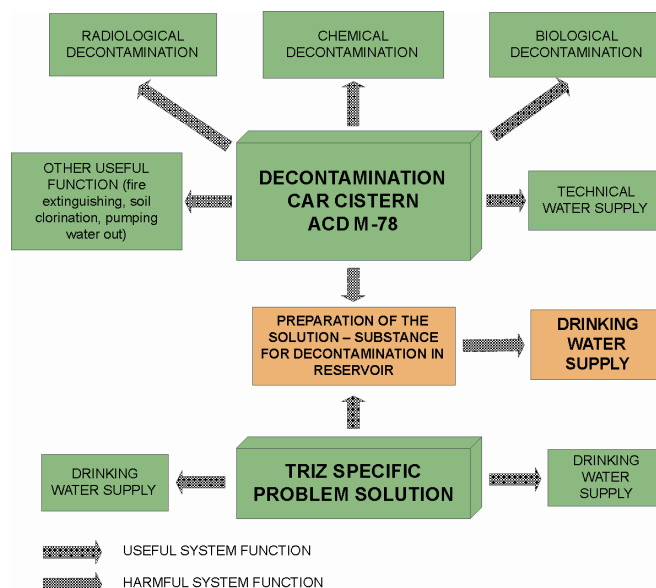


Figure 2 – Graphic representation of the useful and harmful functions in ACD M-78

Рис. 2 – Изображение полезных и вредных функций АЦД М-78

Слика 2 – Графички приказ корисних и штетних функција АЦД М-78

Solving this problem would establish another useful tanker function which would technically improve it - enabling the supply of drinking water, with the ultimate aim of increasing the units' efficiency level in delivering given tasks in emergency situations.

It is possible to solve the highlighted technical problem by applying the Inventive Principles and Contradiction Matrix, as the basic tools of the TRIZ methodology.

Basic tools of the TRIZ methodology

The Theory of Solving Inventive Tasks (TRIZ) is a well-known and often used methodology in the developed parts of the world. TRIZ as a method of solving technical contradictions was developed by a scientist and inventor Genrich Altshuller (15.10.1926 - 24.09.1998). The Theory of Solving Inventive Tasks is a methodology of solving problems in a systematical and logical way. This methodology is based on the axiom: »the evolution of all technical systems happens according to the objective laws«. The application of the TRIZ methodology is a part of creative thinking (creatology), which should be the main tool on the route between a problem and its solution.

TRIZ is used worldwide. On a daily basis, it is used at 35 most prestigious universities and in more than 500 most powerful and leading world companies (Siemens, Boeing, NASA, Rolls Royce, Intel, XEROX, Motorola, HILTI, etc.).

This methodology leads an innovator towards the solution of a technical problem (new invention or approach or improved existing innovation or approach) in the shortest possible way and with the minimum use of resources. Compared to other methods of creatology which are used in the innovation work, TRIZ is considered to be the most efficient methodology based on the view that an invention is not a matter of inspiration- but on the contrary- an exact science. (Rajić et al, 2016, pp.81-349).

TRIZ uses the Inventive Principles (40 established principles, including segmentation, extraction, local quality, asymmetry, universality, consolidation, etc.) and the Contradiction Matrix as its basic tools. The Inventive Principles solve technical contradictions, while the Contradiction Matrix gives us a chance to choose the most effective Inventive Principle that needs to be applied in order for the problem to be solved. A contradiction is a problem that appears within a subsystem of a complex technical system (cars, planes, cranes, etc.), as a consequence of the

improvement of certain parameters of the complex technical system. For instance, it is necessary to lower a car's weight by replacing the shell material with a more modern material, without putting passengers' safety at risk.

There are certain parameters or characteristics for the description of every technical system. Some of them are: power, voltage, pressure, reliability, moving object's mass, adaptability, complexity of devices, etc., and they are contained in the Contradiction Matrix, dimensions 39X39.

The schematic representation of a part of the Contradiction Matrix is given in Table 1.

*Table 1 – Contradiction Matrix
Таблица 1 – Матрица противоречий
Табела 1 – Матрица противречности*

CHARACTERISTICS		Worsening Characteristics						PRINCIPLES		
		1	2	3	4	5	6			
Improving Characteristics	1	Mobile object's mass			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		Segmentation	1
	2	Stationed object's mass				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2	Extraction	2
	3	Mobile object's length	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		Local quality	3
	4	Stationed object's length		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40	Asymmetry	4
	5	Mobile object's surface	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				Consolidation	5
	6	Object's surface		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39			Universality	6
	7	Mobile object's volume	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		Insertion (matryoshka)	7
	8	Object's volume		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14			Anti-weight	8
	9	Speed	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		Preventive counteracting	9

In the left column of the matrix there are the characteristics that need to be improved, while in the first row there are the characteristics that worsen as a consequence of the improving characteristics. In the Contradiction Matrix, in the intersection of the established characteristics, there are certain numbers that represent serial numbers of the principles suggested for application in order to solve the technical contradiction. Each of the offered principles suggests certain activities for possible solving of the described problem that is in the technical contradiction. The analysis of the offered activities leads to the conclusion on what needs to be done in order to solve the problem (Čabarkapa, 2010, pp.162-186).

Solving the problem of preparing the substance solution for decontamination in the tanker

To determine the exact technical contradiction, we would use the form for formulating technical contradictions (<http://www.sigonline.rs>, 2016), (Čabarkapa, 2010, pp.171-173), with the help of which we identify the characteristic that is about to be improved. This form comprises the following information: technical system's name, technical system's purpose, description of the technical system's function and determining the characteristic that needs to be improved or eliminated.

With the help of the form for formulating the technical contradiction, the characteristic that needs to be improved is determined and that is the characteristic that describes the problem best. That characteristic is «harmful inner factor of the object» placed under number 31 in the first column of the Contradiction Matrix. So, in order to solve the technical problem of preparing the solution material in the reservoir of the tanker itself, it is necessary to eliminate this characteristic. Then, the characteristics which will be worsened are being determined (they are in the first row of the Contradiction Matrix) as a consequence of the elimination of the harmful inner factors of the object. The following worsening characteristics are identified: 2 – 'stationed object's mass', 27 – 'reliability' and 36 – 'device complexity'. The schematic representation of the Contradiction Matrix's use for the described characteristics is given in Table 2.

Table 2 – Representation of the use of the Contradiction Matrix
 Таблица 2 – Применение матрицы противоречий
 Табела 2 – Приказ коришћења матрице противречности

CHARACTERISTICS			WORSENING		
			1,2,3,4,5,6,7,8,.....19.....36,37,38,39		
			2 – STATIONED OBJECT'S MASS	27 - RELIABILITY	36 – DEVICE COMPLEXITY
IMPROVING	1,2,3,4,5,6,7,8,.....19.....36,37,38,39	31 – HARMFUL INNER FACTORS OF THE OBJECT	35, 22, 1, 39,	24, 2, 40, 39	19, 1, 31
			35- Change of physical and chemical parameters of the object 22 –Converting damage into benefit 1 - Segmentation 39 – Change of the degree of inertia	24 –Mediator 2 – Extraction 40 – Composite materials 39 – Change of the degree of inertia	19 – Periodical operating 1-Segmentation 31- Porous materials
			INVENTIVE PRINCIPLES (1,2,3,....20.....37,38,39,40) (1 – Segmentation; 2 – Extraction; 3 – Local quality, etc.)		

In the intersection of the rows (31 – improving characteristics) and columns (2, 27 and 36 –worsening characteristics), there are serial numbers of the Inventive Principles which should be considered when solving the technical contradiction. The names of the offered principles are given in the table. Each of the offered principles suggests taking certain actions in order to possibly solve the described problem which lies in the technical contradiction. A detailed analysis of the offered principles and activities which they suggest has shortlisted the following principles as the most suitable ones for the described case: 1 – ‘Segmentation’ and 24 – ‘Mediator’.

The ‘Segmentation’ principle suggests undertaking the following activities:

- 1A – Divide the object into independent parts;
- 1B – Make the object modular (for easier assembly or dismantling),
- 1C – Increase the degree of fragmentation of the object.

The 'Mediator' principle suggests undertaking the following activities:

- 24A – Use an indirect object or a process, and
 24B – Submerge one object into another (depending on which one is more suitable for carrying).

A detailed analysis of the offered activities brings us to the solution of the technical problem - it is necessary to introduce a new device which would solve the problem - not preparing the decontamination substance in the reservoir while still being able to perform decontamination successfully. It means that the solution of the problem consists of making a device outside the reservoir which would have a sufficient amount of concentrating solution for decontamination. The device would use a suitable regulating vent to release certain amounts of the solution for decontamination. It would be mixed with the water from the tanker reservoir, which would result in making the solution of the desired concentration outside the reservoir. The design of the device and regulation of its functioning would be an innovative solution of this problem. A basic block diagram of the useful functions of the ACD M-78 with the proposed device is given in Figure 3.

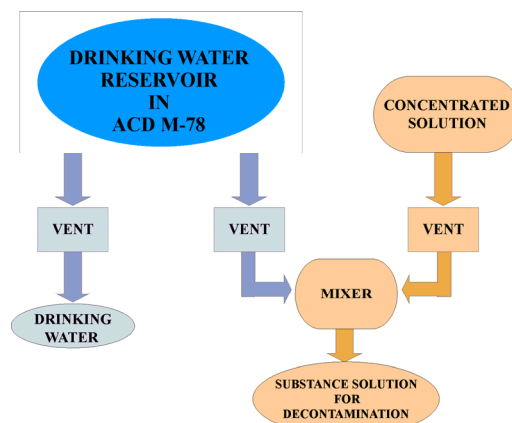


Figure 3 – Graphic representation of the useful functions of the ACD M-78

Рис. 3 – Изображение полезных функций АЦД М-78

Слика 3 – Графички приказ корисних функција АЦД М-78

The installation of the suggested device, as well as establishing an additional installation (tubing) system from the device and the reservoir with the needed automatic regulating vents and pipes, asks for an engineer for its final construction solution, which needs to be protected according to a prescribed procedure (Čabarkapa et al, 2013a, pp.7-25), (Čabarkapa et al, 2013b, pp.146-161).

In order to establish a new useful function of the ACD M-78 i.e. drinking water supply, it is necessary for the existing reservoir, previously used for the solution preparation, to be very well prepared (washed and disinfected) so that it could be used for transport of the drinking water.

Apart from described the technical solution to the tanker's problem, there also could have been other, similar, possibly better ones if we applied different TRIZ tools like the Substance-field Analysis and 76 Standards for Solving Innovative Problems, Application of Algorithms for Solving Inventive Tasks (ARIZ), Methods for Overcoming Psychological Inertia in Innovators, etc. about which there are detailed explanations in literature (Rajic, et al, 2016, pp.95-349).

Conclusion

The use of the decontamination tanker ACD M – 78 highlighted a technical problem. That is a harmful function of the system which manifests in inability to supply drinking water. The main cause of the harmful function is the preparation of the decontamination substance solution in the tanker reservoir itself.

TRIZ is a very suitable methodology for solving problems in complex technical systems. It is necessary to correctly formulate the technical contradiction i.e. to determine the technical characteristics of the system which need to be improved as well as the characteristics which will consequently worsen. In the ACD, the characteristic that was being improved (harmful inner factors of the object) was determined, as well as the characteristics that was being worsened (stationed object's mass, reliability and device complexity), as a consequence of the improving characteristic. By applying the basic TRIZ tools - the Inventive Principles and the Contradiction Matrix, the problem was solved: preparing the solution outside the reservoir with the help of an additional device which would contain the decontamination substance and which would be innovated and adapted for this purpose.

The application of the TRIZ methodology in solving the described technical problem offers possibilities to undertake certain innovative actions to enable drinking water supply with minimum financial investment.

References

- Čabarkapa, O., 2010. Zaštita poverljivih inovacija. Beograd: Redakcija „Vojna knjiga” (in Serbian).
- Čabarkapa, O., Petrović, D., & Bojović, M., 2013a. Prijava poverljivog patenta sa primerom sastavljanja, *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 61(4), pp.7-25. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg61-2048>.
- Čabarkapa, O., Petrović, D., & Dunjić, M., 2013b. Uslovi patentibilnosti za zaštitu pronalazaka. *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 61(1), pp.146-161. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg61-1595>.
- Rajić, D., & Čabarkapa, O., 2016. Application of Innovation Standards in the Field of Weaponry and Military Equipment. In: 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2016, Military Technical Institute, Belgrade, pp.701-704.
- Rajić, D., Kamberović, Ž., & Žakula, B., 2016. *Kreativni inženjering*. Beograd: Inovacioni Centar TMF (in Serbian).
- Rajić, D., Žakula, B., & Jovanović, V., 2006. Uticaj industrijske svojine na tehničko-tehnološki faktor odbrane. *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 54(4), pp.489-501. Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg0604489R>.
- <http://www.sigonline.rs/files/File/knjige/uvodutriz.pdf>. Accessed: 20 April 2016.
- <http://www.mycity-military.com/Vojske-sveta-baze-i-objekti/Nauruzanje-Vojske-Srbije>. Accessed: 20 April 2016.

УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ДЕКОНТАМИНАЦИИ, С ПОМОЩЬЮ ТРИЗ МЕТОДОЛОГИИ

Обрад Т. Чабаркапа, Душан С. Раич
Университет в Белграде, Технологический и металлургический
факультет, Инновационный центр, г.Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: химические технологии
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье представлено применение ТРИЗ (Теория решения изобретательских задач, в области решения технических проблем на автоцистерне для деконтаминации. ТРИЗ является одной из лучших научно-инновационных

методологий по решению проблем, основанной на систематическом и логическом принципе, развитом на основании углубленного изучения большого количества патентов. При целевом применении автоцистерны для деконтаминации выявлена вредная функция, связанная с приготовлением деконтаминационного раствора в самом резервуаре, вследствие чего поставки питьевой воды в данных резервуарах исключаются. Благодаря применению ТРИЗ методологии, а именно: инвентивных методов и матрицы Альштуллера, область использования автоцистерны для деконтаминации расширена за счет возможности поставки питьевой воды.

Ключевые слова: ТРИЗ методология, вредная функция, техническая система, технические противоречия, матрица противоречий, инвентивные методы.

ПОБОЛЬШАЊЕ ТЕХНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА АУТОМОБИЛА ЦИСТЕРНЕ ЗА ДЕКОНТАМИНАЦИЈУ ПОМОЋУ ТРИЗ-А

Обрад Т. Чабаркапа, Душан С. Рајић
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Иновациони центар, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: хемијске технологије
ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески
Сажетак:

У раду је приказана примена ТРИЗ методологије (Теорија решавања инвентивних задатака) у области решавања техничког проблема на аутомобилу цистерни за деконтаминацију. То је једна од најпогоднијих научно-иновационих методологија за решавање проблема, која почива на систематичном и логичком приступу, развијеном на основу студиозног изучавања великог броја патената. Наменском употребом аутомобила цистерне за деконтаминацију идентификована је штетна функција која се односи на припремање раствора за деконтаминацију у самом резервоару, чиме је онемогућен дотур воде за пиће.

Функција којом се проширује употреба цистерне за деконтаминацију и за потребе доставе питке воде остварена је коришћењем инвентивних принципа и Алштулерове матрице противречности, као веома ефикасних алата ТРИЗ методологије.

Кључне речи: ТРИЗ методологија, штетна функција, технички систем, техничка противречност, матрица противречности, инвентивни принципи.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 25.05.2016.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 20.02.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 22.02.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



FAILURE POINTS IN THE PKI ARCHITECTURE

Radomir I. Prodanović^a, Ivan B. Vulić^b

^a Serbian Armed Forces, General Staff,
Department of Telecommunications and IT (J-6),
Centre for Applied Mathematics and Electronics,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: radomir.prodanovic@vs.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2067-2758>

^b Ministry of Defence of the Republic of Serbia,
Military Intelligence Agency, Belgrade, Republic of Serbia
e-mail: ivan.vulic@vs.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-5161-5422>

<https://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-11144>

FIELD: IT

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Over the last 20 years, the PKI architecture has found its vast application, especially in the fields which require the establishment of a security infrastructure. Given that the purpose of this architecture is to be used for achieving higher security standards, its smooth operation has to be one of the main requirements for its implementation. Its complexity is mirrored in the numerous implementations that the PKI has had so far. For all the reasons mentioned above, it is of great importance to consider potential failure points of such a structure. Due to the complexity of these structures, this paper will present only a basic review of such stress points, without providing details on specific applications and types of implementations. The significance of failure points will be explained by examining the common features of the PKI architectures and the occurrence of failure points in these structures, and where possible, an overview of suggestions for preventing such failures will be provided.

Key words: smart cards, cryptography, HSM, PKI, security, failure, architecture.

Introduction

PKI stands for Public Key Infrastructure, and as such it represents infrastructure based on the use of public key cryptography. The idea to use asymmetric cryptographic algorithms in user authentication protocols, and other services that the PKI enables, preceded the formation of this infrastructure.

The use of asymmetric algorithms means that a key pair will be generated, the private one and the public one. Intuitively, it may be concluded that it is an imperative to keep the private key a secret, while the public key should be in some way announced to those who participate in the communication, and all that in such a manner that it is unequivocally clear who the participant is and that the key linked to them really belongs to that participant. This leads to the introduction of certificates as a means of binding entity with its public key, and to the development of the PKI architecture which is therefore used to manage these certificates and to guarantee their validity.

A failure is a very important concept in technology, and its importance becomes more apparent with the development of faster and more powerful computer systems. Whether they are considered from the security of private data standpoint, or from the standpoint of material and physical security, the study of ways they could be classified and processed in various fields of technology is important. The study of failures in complex systems, as the PKI architecture may be, is especially interesting. In the case of such complex systems, it is advisable to try to prevent faults and make fault – tolerant systems.

The Concept of Faults

Reliability is often presented by contemporary technical systems as a wanted quality in front of system designers. The definition of reliability can be given as a probability of the system to perform its intended task successfully, within a certain trust scope and within specified performance boundaries, while being utilized in the proper manner and for the intended purpose, under the specified load, and taking into account the previous system utilization time (Ramović, 2005). Therefore, it is clear that the concept of reliability is complex and at the same time, intertwined with the concept of faults.

When a system deviates from its specified behavior, it is said that a failure has occurred. A failure is caused by an error, which would be an

invalid system state, and it is an external manifestation of the said errors occurring within the system. Faults are the root cause of errors.

There are many ways of classifying faults in the systems, depending on the observation scope, where the said concepts can be observed at the level of a component within the system, as well as at the system level. It is clear that by observing such concepts at the component level as a part of a complex system, one arrives at very intricate definitions of reliability and fault, especially considering mutual dependency of system components. Also, there are a lot of criteria by which faults can be classified and some of those are given in Table 1.

*Table 1 – Fault types arranged by classification methods, taken from (Ramović, 2005)
Таблица 1 – Види сбоек по методам классификации, согласно (Ramović, 2005)
Табела 1 – Врсте отказа по методама класификације (Ramović, 2005)*

Classification criteria	Fault type
By the type of state change	Unexpected fault
	Gradual fault
By relationship with other faults	Independent fault
	Depended fault
By possibility of utilization after fault occurrence	Complete fault
	Partial fault
By elimination period	Permanent fault
	Intermittent fault
By external manifestation	Apparent fault
	Suppressed fault
By the cause of fault	Design fault
	Technological fault
	Operational fault
By the nature of fault	Natural fault
	Artificial fault
By the time of occurrence	Fault during testing period
	Fault in the preparation period
	Normal exploitation fault
	Near end exploitation period fault
By fault intensity	Random fault
	System fault

It is not possible to apply all the classification methods to every system, nor to all parts of it, but it is clear that some of these classification methods are, because of their nature, more relevant for consideration.

For the purposes of this paper, a classification method from the standpoint of possibility of utilization after occurrence of a fault makes an interesting topic. Within this method, there are the concepts of a complete and a partial fault, where it is intuitively clear that the system is rendered non-usable after the occurrence of a complete fault, while the system is still somewhat usable after the occurrence of a partial fault.

Also, it is important to consider the ways of determining the scope of a failure and the consequences of its occurrence, as well as the ways of achieving recovery after a failure in the architecture.

The PKI Architecture

As mentioned previously, when speaking of the PKI architecture, several different types of architecture, depending of their intended use, may be considered; however, it is obvious that they all have some common features.

Since it is the architecture intended for the purpose of establishing security, it is apparent that the use of cryptographic techniques achieved through the specialized hardware and software will be needed. The PKI architecture is inherently based on the use of certificates, their generation and application in order to enable different services based on this architecture. Besides the cryptographic part of it, this architecture also requires an extensive use of various hardware and software resources, namely servers, computer networks and application software.

Broadly speaking, the PKI architecture is based on the existence of one or more trusted authorities with their policies and protocols, which enable certain services distinctive for the PKI (Adams, Lloyd, 2003), (Chokani, 2003).

These trusted authorities are called certification authorities. They are responsible for establishing trust policies, and for the issuance and management of certificates, which then enable the use of various services, i.e. services of authentication, digital signing and non-repudiation. The only self-signed certificates are those that belong to the certificate authority, while user certificates are signed by the certification authority and as such, are considered to be a valid confirmation that the key given in the certificate really belongs to the owner of the said certificate, as long as there is no breach of trust established in the certification authority.

In the PKI architecture, beside certification authorities and depending on the application of the said architecture, there may be one or more registration authorities, which have the role of collecting the relevant user data which will be later displayed in the certificate, and in establishing indirect connection between the certification authority and its end users.

Architecture Types and Failure Points in Them

Generally speaking, there are several basic PKI architecture types, and they are hierarchical, distributed trust architecture, web architecture, mash architecture and bridge architecture.

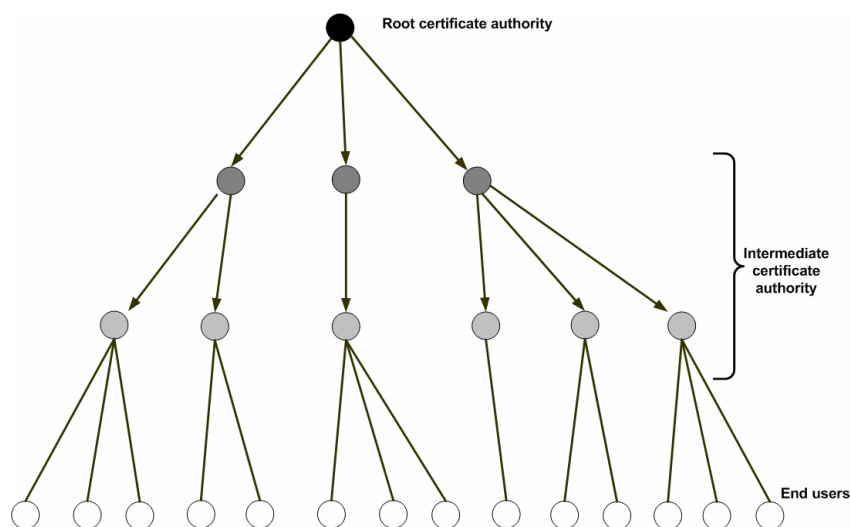


Figure 1 – Hierarchical PKI architecture
 Рус. 1 – Иерархическая архитектура PKI
 Слика 1 – Хијерархијска PKI архитектура

The hierarchical architecture, shown in Figure 1, requires the existence of a Root certificate authority in the top of the hierarchy, and one or more certificate authorities called the Intermediate certificate authorities which issue end user certificates. End users are at the lowest level of this hierarchy. This type of architecture is often used in the business organizations and in the cases when achieving a high level of scalability is necessary. In the case of this architecture, the Root certificate authority will sign only certificates of those who are at the level below it, while the certificates of end users will be signed by the Intermediate certificate authority at the level above them.

Being that the Root certificate authority is the basic trust point in the whole hierarchy, it being compromised will lead to the failure of the whole structure, while compromising the Intermediate certificate authority will cause only a partial failure within the structure.

In case of a failure of the Intermediate certificate authority, recovery is achieved by revoking all valid certificates this body has issued and by

establishing a new Intermediate certificate authority which will reissue certificates for end users of the previous Intermediate certificate authority. It is possible for the Root certificate authority to issue certificates for end users directly, without having any intermediate body, but it is not advisable to do so because the failure of such certificate authority simultaneously means the failure of the whole architecture.

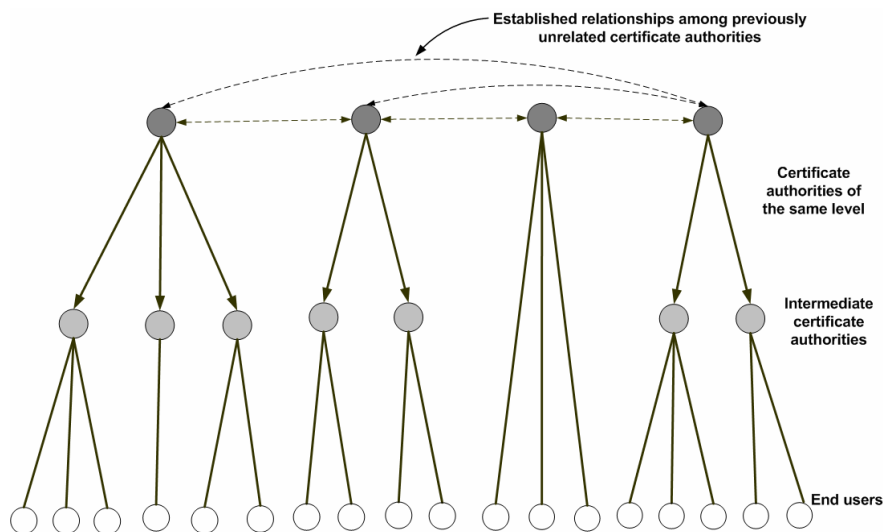


Figure 2 – Distributed trust PKI architecture
 Рис. 2 – PKI архитектура распределенного доверия
 Слика 2 – PKI архитектура дистрибуираног поверења

The distributed trust PKI architecture is the second type of the PKI architecture. As shown in Figure 2, in this type of architecture, a bidirectional relation of trust interoperability is achieved among several certification authorities. This way, several certification authorities established for different purposes and for different end users, are bound in a trust chain in order to enable some common service or a faster mutual authentication, and all that without the need for issuing multiple certificates. Depending on the way of establishing trust relations within the certification authorities in this architecture (Adams, Lloyd, 2003), a failure of a single certification authority will naturally affect its end users, but it will have only limited or none at all influence on the end users of other certificate authorities. What complicate things in this type of architecture are different models of establishing trust relations among the certificate authorities within the architecture.

After the failure of a certificate authority in this type of architecture, recovery can be achieved by revoking all valid certificates this authority has issued, breaking the trust relation this authority has had with other authorities, reestablishing this authority and broken trust relations by reissuance of all the revoked certificates.

The Web PKI architecture, shown in Figure 3, is used within web browsers, where there are preinstalled certificates of the Intermediate and Root certificate authorities whose certificates will be trusted by the browser. Compared to the other types of the PKI architectures, this is considered to be the easiest and simplest for use, but it is also the most susceptible to security problems (Adams, Lloyd, 2003). The biggest problem with this architecture lies within its users not being informed enough about the meaning of having preinstalled certificates in their browser and the way they can affect their safety.

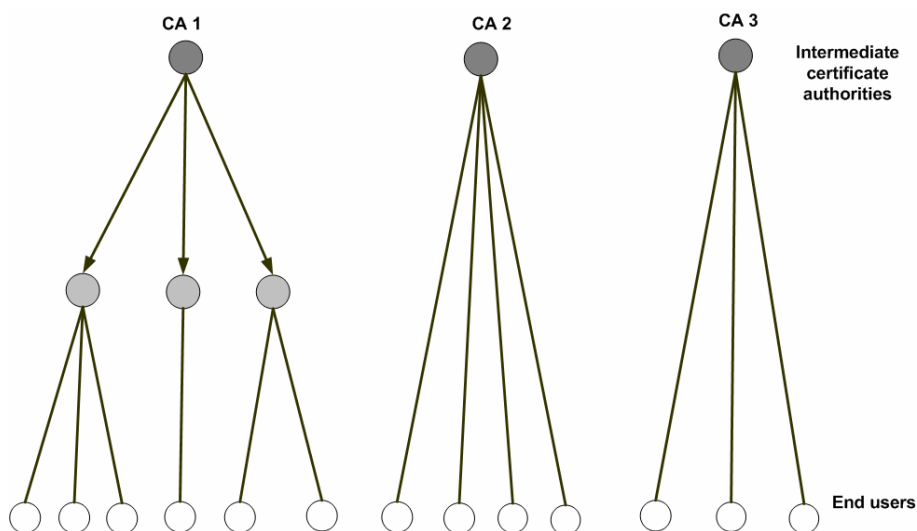


Figure 3 – Web PKI architecture
 Рус. 3 – Архитектура Веб PKI
 Слика 3 – Веб PKI архитектура

Because this architecture may have an extremely large number of end users, a simple revocation may not be the solution for the case of compromising a key within the certificate, because some browsers do not have a built-in function for checking the revocation list. This means that the user of a browser must be somehow informed of certificate compromising, and that he himself must remove that certificate from the list of trusted certificates in his browser.

The main characteristic of this architecture is that the user decides what certificates he will trust. The Mash PKI architecture (Figure 4) establishes bidirectional peer-to-peer trust relationships in a way that CAs issue certificates to each other (Adams, Lloyd, 2003).

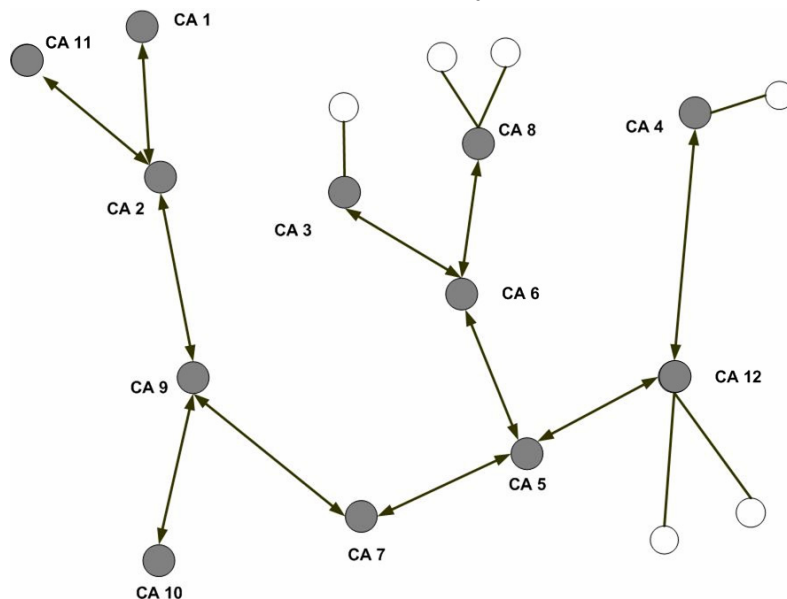


Figure 4 – Mash PKI architecture
 Рис. 4 – Сетевая PKI архитектура
 Слика 4 – Мрежна PKI архитектура

In this architecture, there are more trust points so compromising any of them will not influence the functionality of the architecture. In case of compromising one CA, the entities of the other CAs continue to communicate with the rest of the entities if there is a valid certification path. The compromised CA can be trustful again in the next case: all the certificates issued by this CA have to be revoked, and then the CA issues new certificates signed by a new public key. The CA issues new certificates for the users and the other CAs with whom it establishes relationships.

The last type of the PKI architecture to be mentioned in this paper is the Bridge PKI architecture, shown in Figure 5. The Bridge PKI architecture connects different PKI architectures regardless of architecture, in a way that it introduces a new CA (bridge CA) which establishes peer-to-peer trust relationships with the CAs of the other PKI architectures (Moses, 2003). In the case of a hierarchical PKI architecture, a trust

relationship is established with the root CA, and in the case of a mash PKI architecture with any of CAs.

In this type of the architecture, a compromising CA which establishes trust relationships will influence the ability of that PKI architecture to achieve secure communication with the other PKI architecture.

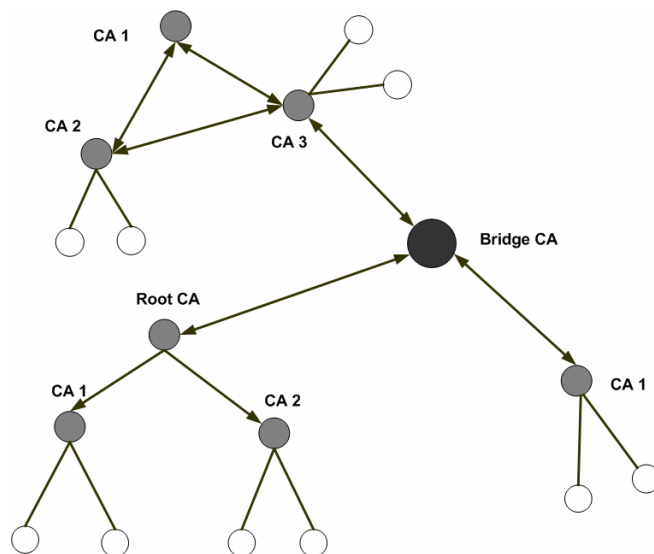


Figure 5 – Bridge PKI architecture
 Рис. 5 – Мостовая PKI архитектура
 Слика 5 – Мостовна PKI архитектура

The Bridge CA can be compromised completely or partially. Completely compromising means compromising all of the private keys which the bridge CA used for signing certificates issued for the CAs by which trust was established. If the bridge CA uses only one private key for signing certificates by which it establishes a trust relationship, then compromising that key causes a collapse of the whole bridge PKI architecture. Compromising a single private key means only losing the trust with that particular architecture, while the trust between the rest of the architectures still exists.

Reestablishment of the trust in the case of compromising CA which establishes trust relationships can be accomplished in the way characteristic for the PKI architecture to which that CA belongs. Furthermore, the CA which establishes trust has to revoke a certificate issued by the Bridge CA and to reestablish a new trust relationship with that CA. Reestablishing a trust relationship with the Bridge CA can be accomplished by exchanging certificates.

Cryptographic methods and their failure

PKI architectures use various cryptographic algorithms and techniques for the realization of those algorithms within the protocols they are used in. As previously mentioned, the core of the PKI architecture is based on the implementation of the public key algorithms (Schneier, 1996). It is an accepted practice for one certificate authority to use one public key algorithm while keeping track of the attempts to break that algorithm. Algorithm vulnerability makes the whole architecture which is based on it vulnerable; therefore, hardware devices used for the implementation of cryptographic functions, depending on their price and quality, offer more than one algorithm and several key size options for each of them, their periodic renewal, assuring limited influence in case of accidental or deliberate compromising of any of the keys positioned higher in the hierarchy.

Besides the asymmetric cryptographic algorithms, various hash functions are used in these architectures.

A failure caused by any of these algorithms or functions having been broken, even if the break did not happen within the used system, means the security violation of every PKI system that uses them, and thus represents a critical type of a failure. Recovery after this kind of failure would require the revocation of all certificate authorities within the PKI architecture, the revocation of all certificates issued by it and a new architecture based on more stringent algorithms or longer keys being established.

Hardware cryptographic modules and their failure

HSM (*Hardware Security Module*) are devices characteristic for their use in the PKI architecture, although they are not required for its implementation. In the PKI architecture, these devices enable a safe implementation of cryptographic operations in the process of key generation, certificate signing, while at the same time they provide a safety mechanism against an unauthorized access to it. This mechanism automatically destroys data in the HSM device. It could be argued that the PKI architecture is secure if its keys are secure, and HSM devices provide that security.

All cryptographic operations and key management are stopped as a result of this device failing. This leads to the failure of a certification authority that uses this HSM device. It is often the case that several

certificate authorities are established on the basis of only one HSM device having several slots designated to each certificate authority in the hierarchy, which means that the failure of this device would lead to a failure of the whole architecture. These failures could be classified as temporary, from the standpoint of time needed for recovery from them. It is advisable to have another HSM device ready to be implemented in the structure. This, in turn, requires the existence of specialized procedures for handling these devices and making back up data from them (Souza et. al, 2007). Since these procedures are often treated as internal and thus kept secret, there are not many sources providing more details about them. Because of their value within the PKI architecture, it is clear that these devices are very valuable for the whole PKI architecture and they should be given greater attention which goes beyond the scope of this paper.

Smart cards, as hardware elements enabling data storage and safe execution of cryptographic functions, and by their relatively simple design and application methods, have been vastly implemented among different PKI architectures.

The application of these devices provides double authentication by means of “something you have”, which would be the card itself in this case, and by means of “something you know”, which would be the PIN code that enables card access.

Thus, card access is enabled only by the PIN code known only to the owner of the card, which makes contents of the card and its features limited within the architecture, establishing a higher security level at the same time. It is possible to limit the number of incorrectly typed PIN codes, after which the access to the card will be blocked. This failure is only temporary and it is limited only to the card itself and to the scope of privileges the card holder has.

Failures of these devices caused by minor mechanical damage, when the card is somewhat or completely rendered unusable, are problematic because there could still be some possibility for someone to access the chip content, which is one of the reasons why the smart card validity period is limited and why it is a requirement for their users to return them to the certificate or registration authority for disposal in case of a mechanical damage or card validity expiration.

Failures of individual end user smart cards can be considered to have only minor consequences if the established procedures of smart card handling have been followed after the occurrence of failure.

Conclusion

The PKI architectures can be extremely complex, containing a large number of specialized, as well as general hardware and software components, complicated and expensive for implementation. At the same time, they enable extremely important services such as authentication, integrity, privacy and non-repudiation.

Because of their intricacy and various implementations, a thorough analysis of their failure points is required, as well as the establishment of methods and algorithms for overcoming such failures. This analysis could be conducted by already established methods for the evaluation and simulation of stressful points within the architecture, or by implementing some new methods specifically tailored for this architecture's requirements.

References

- Adams, C., & Lloyd, S., 2003. *Understanding PKI: Concepts, standards, and deployment considerations*. Addison-Wesley Professional, pp.11-15.
- Chokani, S., Ford, W., Sabett, R., Merrill, C., & Wu, S., 2003. *Internet X.509 Public Key Infrastructure Certificate Policy and Certification Practices Framework, RFC 3647*.
- Moses, T., 2003. *PKI trust models*. Draft. Available at: http://automedicbilling.com/CalculateSavings/PKI_Trust_models.pdf. Accessed: 17 May 2016.
- Ramović, R., 2005. *Pouzdanost sistema elektronskih, telekomunikacionih i informacionih* Beograd: Katedra za mikroelektroniku i tehničku fiziku (in Serbian).
- Schneier, B., 1996. *Applied Cryptography*. John Wiley & Sons.
- Souza, T.C.S., Martina, J.E., & Custodio, R.F., 2007. *Audit and backup procedures for Hardware Security Modules, White paper*.

ТОЧКИ ОТКАЗА В РКІ АРХИТЕКТУРЕ

Радомир И. Проданович^а, Иван Б. Вулич^б

^а Вооруженные силы Республики Сербия, Генштаб,
Управление телекоммуникаций и информатики (J-6)
Центр прикладной математики и электроники, г. Белград,
Республика Сербия

^б Министерство обороны Республики Сербия,
Военно-разведывательное агентство, г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: информационные технологии
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

За последних двадцать лет, архитектура PKI стала широко применяться, особенно в областях, требующих создания инфраструктуры безопасности. Учитывая, что цель создания такой архитектуры заключается в обеспечении безопасности систем, главными задачами при внедрении архитектуры PKI являются бесперебойная работа и взаимодействие с другими компонентами комплектной структуры. Из вышеизложенного следует, что прогноз потенциальных точек отказа представляет собой исключительно важный фактор. В связи с ограничением объема статьи, и так как речь идет о значительно сложных инфраструктурах, в данной работе представлен лишь общий обзор главных потенциальных точек отказа, без подробного объяснения характеристик по каждому отдельному виду внедрения архитектуры. В статье исследуются общие характеристики PKI архитектур, на основании которых трактуются значение возможных отказов и предлагаются мероприятия по предупреждению и преодолению данного рода проблемы.

Ключевые слова: смарт-карты, криптография, HSM, PK, безопасность, отказ, архитектура.

Prodanović, R et al, Failure points in the PKI architecture pp.771-784

ТАЧКЕ ОТКАЗА У PKI АРХИТЕКТУРИ

Радомир И. Продановић^а, Иван Б. Вулић^б

^а Војска Србије, Генералштаб, Управа за телекомуникације и информатику (Ј-6),
Центар за примењену математику и електронику, Београд,
Република Србија

^б Министарство одбране Републике Србије,
Војнообавештајна агенција, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: информационе технологије
ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Током последњих 20 година PKI архитектура нашла је широку примену, посебно у областима које су захтевале успостављање сигурносне инфраструктуре. С обзиром на то да се користи ради сигурности јасно је да је њен несметан рад један од основних

захтева који се поставља при њеној имплементацији, а већ самим увидом у бројне типове архитектура и различите имплементације увиђа се њена комплексност. Због тога је разматрање потенцијалних тачака отказа од велике важности. Како се ради о врло сложеним инфраструктурама, овај рад даће само основни преглед тачака које могу бити тачке отказа, без детаља који су карактеристични за поједине примене и типове имплементација. Тражиће се заједничке карактеристике РКI архитектура и на њима објашњавати значај отказа који се могу десити, а тамо где је могуће биће наведени и предлози за њихово превазилажење.

Кључне речи: смарт картице, криптографија, HSM, РК, безбедност, отказ, архитектура.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 14.06.2016.

Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 16.08.2016.

Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 18.08.2016.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутори. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



EVALUATION OF THE USABILITY OF WEB-BASED APPLICATIONS

Nebojša D. Đorđević

Serbian Armed Forces, Army HQ, Niš, Republic of Serbia,

e-mail: djnebojsa@mts.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-3730-0085>

<http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-11319>

FIELD: Computer Sciences, IT

ARTICLE TYPE: Professional Paper

ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The paper emphasizes the importance of the usability of Web-based applications as an essential condition for attracting and retaining customers. At the beginning of the paper, a general classification of methods for usability evaluation is given in order to show different views of researchers on usability. In order to ensure a Web application lifetime, it is necessary to measure and evaluate many features that affect software usability. The paper gives a brief overview of the most commonly used methods for evaluating the usability of Web-based applications published in the last decade, chosen by the author. Since decision making is not an easy process, the conclusion gives recommendations to be specially considered when selecting a method.

Key words: methods, usability, Web-based applications.

Introduction

The emergence of the Internet contributes to the speedy development and massive use of Web-based applications. The specific properties of the Internet as a basic working and development environment for Web applications indicate that Web applications represent a rather specific software product. When the Web is concerned, however, the need for a positive user experience in interacting with the application is further emphasized, ie. satisfaction and comfort level of users in achieving the objectives of a Web site, as an essential condition for the retention of the user.

Given that Web applications have been developed considerably shorter than classic information systems, the evaluation of usability is often

skipped, and the reason for this lies in the fact that the application of certain methods takes time, expensive and sophisticated equipment and the participation of experts as evaluators. However, designers of Web applications are aware that the evaluation of usability can significantly affect the reduction of the development of Web applications if the usability problems are identified in the early stages of the life cycle. Therefore, the basic question of practitioners is to find the most efficient way of integrating Web usability evaluation into daily work.

Today, there are various methods for assessing usability. As a result, there is a question of choice of the most appropriate method for assessing the usability of a particular software product. The choice of an adequate method can significantly improve the efficiency of the evaluation process and usability of the software product. However, the choice of the appropriate method to be applied in the process of evaluating usability is not simple, since it depends not only on the software product type, but also on the development of the objectives of the project and the context of use. In fact, the choice of a method depends on various criteria, some of which are among the most important resources required to perform the method (time, money, the number of evaluators and their expertise, the number of users for testing, place and test equipment), the required level of objectivity and the possibility of applying development of Web applications in various stages. Using a combined approach can reduce the disadvantages of different usability methods and find a good compromise between the needs to implement high quality evaluation of Web usability, and the time and cost of execution.

Specifics of Web applications

Between Web applications and traditional software systems, there are some differences arising from the specific environment in which they are developed, maintained and used. In "cyberspace", the Internet and the Web remove restrictions of real distances in space allowing instant access to information regardless of how far users and servers might be away from each other. This quality of the Web provides numerous advantages of Web applications over traditional, desktop applications, and they include:

- *Global approach.* Web applications are published centralized in one place and the whole world can see them. Any user who has access to the Internet can access Web applications from a home computer.
- *Simultaneous work of a large number of users.* In general, traditional desktop applications are used by one user at a certain time,

while Web applications can be used by tens and hundreds of users simultaneously. Web applications are usually intended for large, diverse, remote user groups, which have many varied requirements and expectations in terms of national, religious and cultural feelings and standards, different levels of knowledge and a variety of platforms for the application use. This requires a greater need for security and privacy, and higher standards and performances of Web applications compared to desktop applications.

- *Ability to work on multiple platforms.* Most clients of Web applications are Web readers who play the role of a universal interface between the user and the system for displaying data of any format and can be run on any computer with the Internet access. Web applications use publicly accessible and free Web browsers and do not depend on the user's software platform. Due to the fact that there are different Web browsers typical for different operating systems (Internet Explorer, Mozilla Firefox, Apple Safari, Google Chrome, Opera, etc.), and that all these readers largely consist of HTML and JavaScript standards, Web applications relying on HTML clients typically support different operating systems.

- *Low cost compared to the average number of users.* Most Internet components are free for end users, which also applies to Web applications. Organizations that have a need for a Web application can reduce the cost of its purchase and maintenance because employees can set up and use the Web application at home, at work or under field conditions.

- *Ease of use by end users.* Web applications are designed for a broader audience so they are simple to use, similarly to regular Web sites. The ease of use of Web applications encourages public participation, but obliges Web developers to customize this application to users who have no previous knowledge.

- *Centralized upgrade.* The process of upgrading Web applications is faster and easier, because the changes implemented are centralized in one place, so changing a program code on the Web server becomes immediately visible to all users.

- *Different purpose of use.* Unlike desktop applications whose use is limited to a certain number of users, Web applications can be used by a wide number of users, for a variety of purposes of business and personal nature.

- *Web applications can fail for many different reasons.* The timescales for the development of Web applications are significantly shorter and this influences the choice of methods and techniques for their

development. Non-linear navigation and unpredictable user behavior and the environment in which Web apps work (limited bandwidth or availability of Web servers) may affect the user experience (Murgesan, 2008, pp.7-32). The consequences of failure and dissatisfaction of users of Web applications can be much more serious (more expensive) than in the case of traditional desktop applications.

The above features indicate that Web applications are fairly specific software products. For these reasons, many researchers in the area of quality Web applications in their works (Bublione et al, 2002) (Becker, Olsina, 2010), (Olsina, Molina, 2008, pp.385-420), (Lew, Olsina, 2011, pp.214-229) indicate that the existing quality models listed in the relevant ISO/IEC standards are not suitable to describe the quality of Web applications.

In the era of hyper-production of complex and sophisticated Web software, usability is crucial for the acceptance of Web applications and is the key quality factor that determines their success or further destiny.

Along with the growth in popularity of Web applications, the attention paid to the evaluation of their use in all phases of the life cycle has also increased.

Methods for evaluating the usability of Web applications

Just as there are a lot of different approaches and definitions of quality, there are numerous methods for its evaluation. The methods can be qualitative or quantitative, automatic, semi-automatic and manual, ranging from easy to difficult to use, etc. Most of the available methods originated from Human-Computer Interaction (HCI) and are primarily intended to evaluate the quality of traditional software products. Although they are used to identify usability problems of traditional graphic user interfaces, today they can be equally successfully applied to a variety of Web applications.

There are plenty of general quality models tailored specifically for Web applications, but the efforts of researchers over the past decade have given a number of models of software quality Web applications, oriented to a specific domain (Đorđević, 2017, pp.513-529). However, this chapter will show the most commonly used methods from the last decade, developed to evaluate the quality of Web applications.

WAMMI

WAMMI (*Website Analysis and Measurement Inventory*) is a Web analysis service that measures and analyzes the experience of real Web site users to help them achieve the digital goal (Muylle et al, 2004, pp.543-560).

WAMMI is a measuring tool which:

- measures the Web site user experience based on the reactions of visitors.
- compares the site in relation to other Web sites in the international standardized database.
- generates objective data for management and a convenient digital report easy to read.
- analyzes qualitative comments of users and their reactions to the site.
- interprets quantitative and qualitative data to determine what to improve and how much to invest.

WAMMI is a research Web site and an analytical service developed using psychometric techniques with a data reliability rating between 0.90 and 0.93.

It is based on international software standards and expertise obtained from the assessment of software usability. It is used in the public sector (e-government) and business sectors such as banking, finance, travel, telecom and IT, and web sites for electronic commerce (e-commerce). WAMMI is often used for international studies and is available in most European languages.

Statistical methods are applied to select 20 statements that summarize the essence of the experience of site visitors from a large number of questions. Each question is a vital aspect of the user experience and they are all required to cover the entire spectrum of customer experience. All questions cover specific topics, such as attractiveness, control, efficiency, helpfulness and ease of learning. Visitors fill out questionnaires and give their answers. A digital report is generated at the end of the probationary period. Visitor experiences are measured through questions to compare their expectations with what they found on the site. A few additional questions help to analyze detailed information on the type of visitors to the site, the reasons why they visited it and how they think it can be improved.

WAMMI has a unique approach because it compares the satisfaction of site visitors who estimate the values of the reference database, which contains data from more than 320 selected analyses. This allows to

compare the site being estimated with the other one. Other questionnaires can only give the number of visitors who assessed the site.

The whole process takes a few minutes only. When enough users answered (between 40 and 200 users), a digital report is received within two working days and the whole assessment process usually takes no longer than three weeks.

The most important element of the report is the profile of the site, which contains five sub-scales (Figure 1): Attractiveness, Controllability, Efficiency, Helpfulness and Learnability) and there is a general assessment of Global Usability.

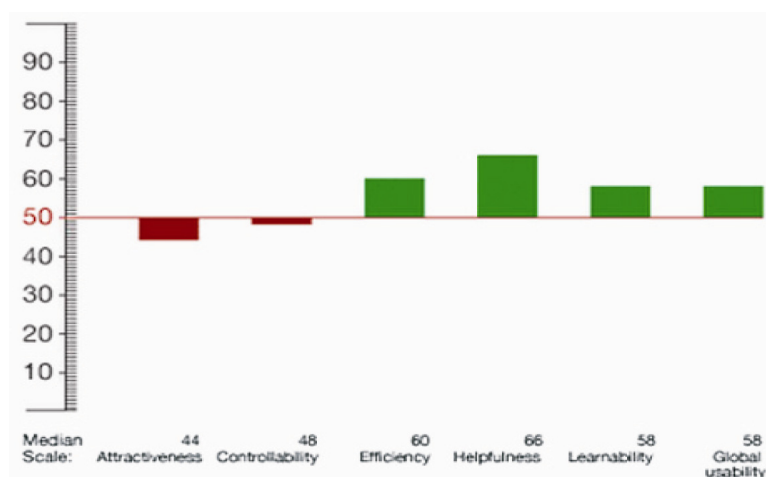


Figure 1 – Graph of the results about the website profile

Рис. 1 – График результатов профиля сайта

Слика 1 – Графикон резултата профила сајта

If the Web site at any scale is estimated above average (50) according to the database, it is given as a green bar and extends above the 50 line. But if the site achieved a score below the average on the scale, this is indicated by a red bar extending down from the 50 line. The average score is 50; below 30 or above 70 means the site is remarkable on this scale, while a perfect score is 100.

The standard deviation expresses a degree of variation in the data. For this type of data, a reasonable value of the standard deviation is 20:00. The greater the number of respondents agreeing in their assessments of the Web Site, the smaller the standard deviation, and vice versa - if many respondents have different opinions, the standard deviation will be much higher. The standard deviation over 30 indicates that there are two or more

groups of subjects with very different opinions about the site usability. It is not uncommon that standard deviations vary in scales. This indicates that there are differences in the degree of agreement of respondents about these scales.

Other elements of the WAMMI report are:

- detailed analysis for each statement and setting priorities for the site aspects which need improvement.
- analysis of additional questions with fixed response categories.
- answers to the free text questions where visitors talk about things that are not specifically required by the WAMMI questions.
- profiles of individual visitors and a numerical summary of the WAMMI results.

UWIS

HCI (human-computer interaction) professionals generally discover perceptual and motor difficulties through problems based on skills and problems of rule-based consistency, while the true intentions of end users are identified by the questions based on knowledge (mental models) (Abdinnour-Helm et al, 2005, pp.341-364).

This shows that there is a need for a comprehensive methodology for measuring the usability of Web-based information systems, which will integrate measures of quality and usability. UWIS (Usability of Web-based Information Systems) is a methodology for assessing the usability and design of Web-based information systems that combines the size and quality of Web services and the usability of information systems (Oztekin et al, 2009, pp.2038-2050).

To assess the usability and quality of Web-based information systems, UWIS uses appropriate methods. This methodology applies the structured equation model SEM (Structural Equation Modeling) to establish a quantitative model for evaluating usability. UWIS integrates the established dimensions for measuring the quality of Web services with the appropriate lists of formulated questions, which is a modification of the ServQual model, expanded with the dimension of usability. To create a list of questions, UWIS uses ServQual and WebQual approaches to measure the quality, the principles of dialogue for the design of the user interface according to ISO 9241-10 (ISO, 1996) and Nielsen usability heuristics (Nielsen, 1994).

The UWIS methodology defines a quantitative model for measuring the dimensions of usability and introduces two latent variables called the usability index (Figure 2). In accordance with the definition of usability in

ISO 9241-11 (ISO, 1998), effectiveness, efficiency and satisfaction are high-level parameters that are grouped and aggregated in the index of usability 1 (UI_1). These dimensions are objective measures of usability and cannot be changed directly and consciously by the user interface designer.

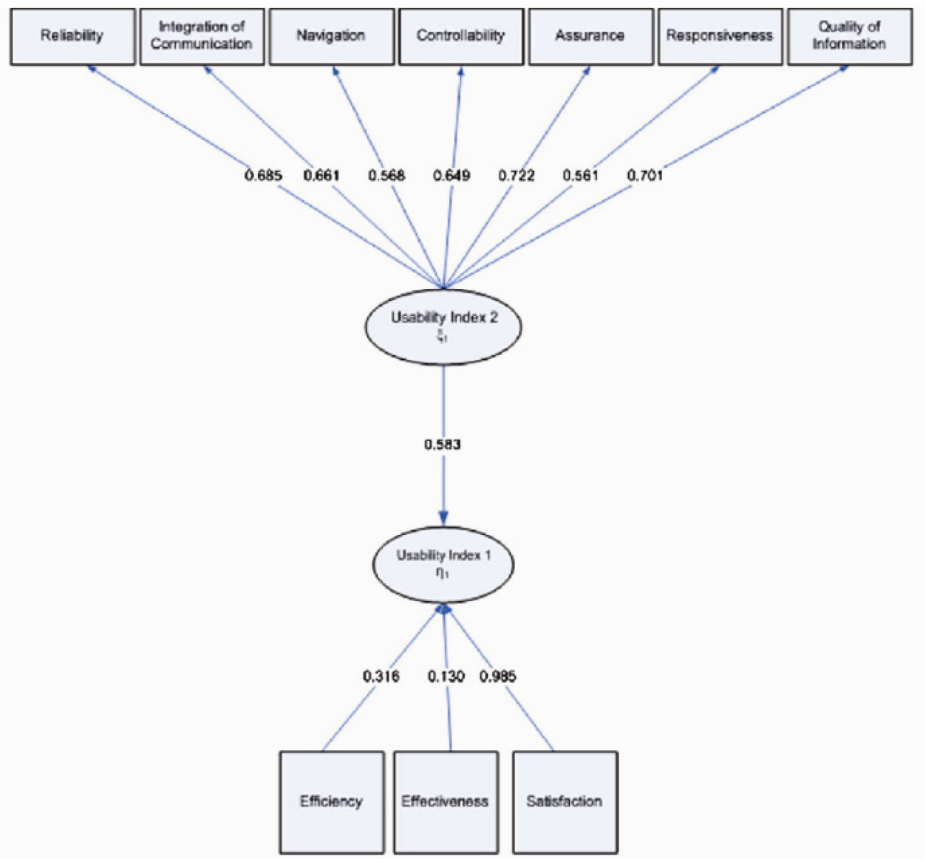


Figure 2 – UWIS methodology
 Рис. 2 – UWIS методология
 Слика 2 – UWIS методологија

The dimensions of the low level of usability are the following measures: reliability, integration of communication, navigation, controllability, assurance, responsiveness, and quality of information. They are collected through the UWIS methodology for forming usability index 2 (UI_2). Low level dimensions can be changed directly and usability can be improved by analysts and designers using the user interface.

To measure the connections and relationships between the indexes of usability UI1 UI2, classical statistical methods of multiple regression are used in a combination with the factor analysis.

The UWIS methodology may give a list of the most critical dimensions. Once they are repaired, the performance of the usability of Web-based information systems is expected to improve significantly (through efficiency, effectiveness and satisfaction) because there is a strong link between the rate of low and high level of usability. The correlation analysis was used to determine the numerical indicators of the strength and direction of the relationship between variables.

The main limitation of the UWIS methodology is that it does not provide a solution to measure the usability of Web-based information systems if the lists of dimensions are not linearly associated with the usability index. This flaw stems from the basic principles of the SEM quantitative method applied by UWIS. In such cases, it is necessary to use sophisticated analytical techniques such as genetic algorithms, neural networks and vector regression to explain the relationship between the non-linear lists of the dimensions and the index of usability.

WebQual

Similarly to the previous one, this method is based solely on the view of the end user who is considered to be the ultimate judge of quality. This qualitative method is classified as a test method, because it uses the mechanisms of the questionnaire which uses a set of 36 statements to assess 12 factors of quality of Web applications, classified in four categories of the highest level: usefulness, usability, fun and building relationships (Figure 3). It is mainly designed to assess whether the user will visit the site again. The TAM (Technology Acceptance Model) is used as a theoretical basis for defining the criteria based on which the user will decide to do so.

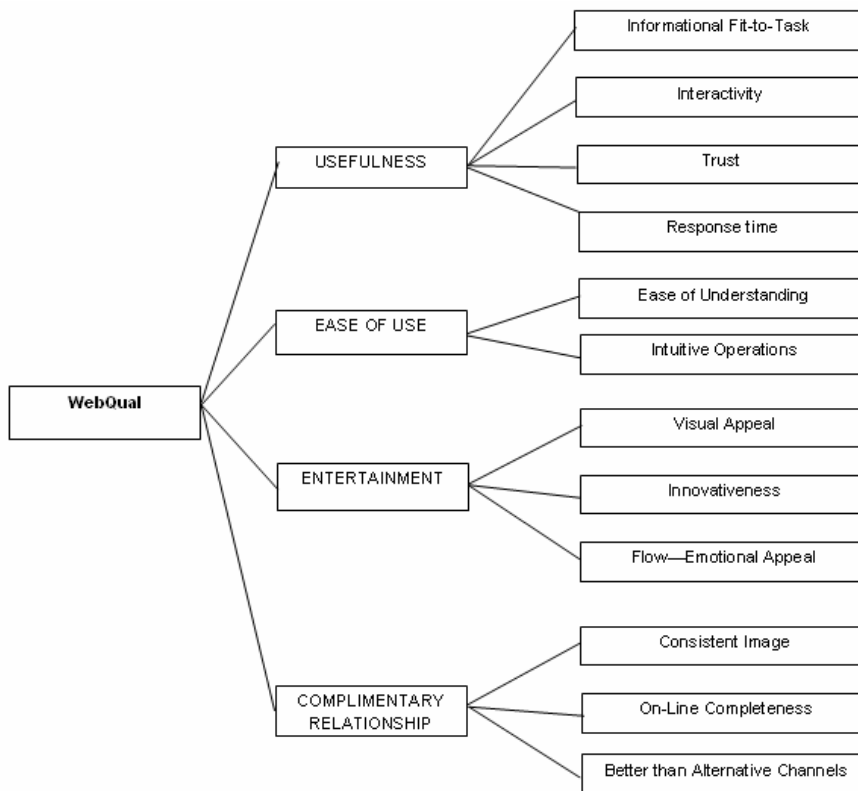


Figure 3a – WebQual quality model
 Рус. 3а – WebQual модель качества
 Слика 3а – WebQual модел квалитета

While filling out the questionnaire, the site user expresses his/her agreement and disagreement with a statement on the seven-point Likert scale ranging from "strongly disagree" to "agree completely".

Using competent assessors of the quality of Web applications, WebQual provides a quite reliable method of assessment. Selected quality factors provide good opportunities for the establishment of an area that is "the most problematic", so that its improvement is a priority. When it comes to the evaluation of the quality of the site, this method has the best price/quality ratio, simply because users fill out a questionnaire for free, and the information site owners receive is extremely valuable and relevant.

A disadvantage of this methodology is that (Loiacono et al, 2002) the method of analyzing the data obtained from the questionnaire is not clearly

defined. The Likert scale is a scale of ordinal values, where the responses are classified by ranks, but the intervals between them cannot be considered equal. This means that the method of calculation of the mean (and standard deviation) cannot be used for the analysis of ordinal variables. Appropriate techniques of descriptive and deductive statistics differ for ordinal (i.e. qualitative) and lapse (or quantitative) variables, and if WebQual users use wrong statistical techniques, it could easily happen that they draw wrong conclusions from the collected data thus "fixing" something that is not necessary to repair and neglecting actual shortcomings of the Web site.

WEF

WEF (Website Evaluation Framework) (Zhou, 2009) is a quantitative methodology that supports the thesis that customer satisfaction is more important than anything else, which means that it neglects other important user roles (eg. development and maintenance).

The main objective of this methodology is the evaluation of any Web site, regardless of the domain, type or programming/script languages. The advantages of this methodology are its universality and simplicity. It allows each owner or administrator of the Web site to automatically and easily check whether the site is in accordance with the rules of good practice, without the need to have technical and/or domain knowledge.

Although this concept is a great idea in the field of software quality assurance, the relevance and practical usability of an evaluation template like this is questionable.

The WEF Quality Model consists of five quality characteristics (Zhou, 2009): aesthetics, ease of use, multimedia, rich content, and reputation. Only two of them, aesthetics and ease of use, are divided into sub characteristics (Figure 3). Other measures are direct indicators of quality. The importance of individual quality factors is determined by the assigned numbers that represent fixed weighting factors.

The evaluation approach of this methodology is from the bottom to the top, which means that the values of the most basic factors of quality indicators are measured first and then summed up by an aggregation formula into high order quality factors (subcharacteristics and characteristics).

1 Aesthetic Evaluation	2.2.2 Link to Home
1.1 Images	2.2.3 Navigation Menu Bar
1.1.1 Definite Image Size	2.3 Comment
1.1.2 One Larger Image in One Page	2.3.1 Label of Link Table and Form
1.1.3 Image ALT	2.3.2 Description of Meta
1.1.4 Image Link	3 Multimedia
1.2 Page's Resolution & Resizable Table	3.1 Plug-in Support
1.2.1 Sizable Table	3.2 Attributes of Multimedia Components
1.2.2 Optimize the Page Resolution	3.3 One Media in One Page
1.3 Color	3.4 Using Thumbnails
1.3.1 Using Multiple Colors	4 Rich Content
1.3.2 Using Sage Color	4.1 Bulletin Boards
1.3.3 Limitations of Colors for Color Blindness People	4.2 Information Guide
1.4 Emphasis	4.3 Search Engine
1.4.1 Underline of Text	4.4 Avoiding Auto-refresh
2 Ease of Use	5 Reputation
2.1 Consistency	5.1 Customer Feedback
2.1.1 CSS Attributes	5.2 Web Traffic
2.2 Navigation	5.3 Domain Name
2.2.1 Frames Validity	5.4 Information Publicity

Figure 3b – WEF model to evaluate the quality of Web sites
Рис. 3б – WEF модель качества для оценки Веб-сайтов
Слика 3б – WEF модел квалитета за евалуацију веб сајта

After completing all evaluation steps, the site is ranked into one out of five categories, in accordance with the key shown in Figure 4 (Zhou, 2009).

category	range
★★★★★	0,9 — 1
★★★★☆	0,7 — 0,89
★★★☆☆	0,5 — 0,69
★★★☆☆	0,3 — 0,49
★☆☆☆☆	0,1 — 0,29

Figure 4– The key to the site ranking
Рис. 4 – Ключ к ранжированию сайта
Слика 4 – Кључ за рангирање сајта

In the end, it seems that it is too superficial to be used for a serious and comprehensive analysis and perhaps it could be used to evaluate the

quality of simple websites. It can be said that the simplicity of this methodology is its greatest strength but also its greatest disadvantage.

WebQEM

To provide methods and techniques, Olsina and Rossi (Olsina, Rossi, 2002, pp.20-29) presented the WebQEM (*Web Quality Evaluation Method*) method based on the C-INCAMI framework for quality measurement and evaluation.

The C-INCAMI methodology (Becker, Olsina, 2010) (*from Contextual Information-Need Concept model, Attribute, and Metric Indicator*) is a comprehensive and well-developed framework for the implementation of projects of measuring and evaluating quality; it prescribes a set of activities, their inputs and outputs, roles, interdependences, etc. which ensures the consistency and reproducibility of the measurement and evaluation process and its results.

The C-INCAMI framework consists of six basic activities:

1. Definition of non-functional requirements;
2. Planning of measurements;
3. Execution of measurements;
4. Planning of evaluation;
5. Execution of evaluation;
6. Analysis of the results and making recommendations.

Using WebQEM for the evaluation of Web sites and applications supports the efforts being made to meet the demands for quality in new Web development projects, as well as in those already operating. It also helps identify missing properties or poorly implemented requirements, such as interface design, or problems with navigation, accessibility, search systems, content, reliability and performances (Olsina, Rossi, 2002, pp.20-29).

The steps of the WebQEM process are grouped into four main technical phases:

1. Definition and specification of requirements for quality;
2. Elementary measurement and evaluation (planning and realization)
3. Global evaluation (planning and evaluation)
4. Conclusions and recommendations.

During the phase of *defining and specifying quality requirements*, the goals of the evaluation and the user point of view (the role) are specified. Then, a quality model is selected and it may be defined in the appropriate ISO standard, with the addition of the attributes specific for a particular domain. The relative importance of these components for selected users is then identified as well as the required level of coverage.

User roles can be classified into three abstract categories: visitor, member of the development team and manager. These categories can be broken down into sub-categories. For example, the visitor category can be divided into the sub-categories of conventional and advanced visitors.

When the domains and product descriptions are defined, the objectives agreed upon and the user role (i.e. explicit and implicit customer needs) selected, the next step is to specify the necessary characteristics, subcharacteristics and attributes in the form of a tree of requirements. The result of this phase is the specification of quality requirements.

The phase of the *elementary measurement and evaluation* defines two main activities: design of elementary evaluation and implementation of elementary evaluation. In the design phase, all information about the selected metrics and indicators is recorded, in line with the conceptual scheme of the Metrics and Elementary Indicator.

The phase of *global evaluation* has two main stages: design and implementation of partial and global evaluation. In the design phase, the aggregation criterion is selected as well as the scoring model. These two parameters are intended to make the evaluation well structured, accurate and understandable. There are at least two types of models: those based on linear additive scoring models and those based on nonlinear multi-criteria scoring models. Both types use the weighting factor as a way of determining the relative importance of indicators.

Even if we ignore the rest of the C-INCAMI framework (whose integral part WebQEM is), and observe this method separately, we immediately see its good sides. Concise, yet flexible, the proposed model of quality, a well-defined process and a scoring preference method based on a mathematical model of weight exponents make it one of the best resources for quantitative expert evaluation of the quality of Web applications that professional and academic communities currently have to offer. In addition, WebQEM can be used in the early stages of the development of Web applications as efficiently as the operational Web application. This is a possibility that the above described two methodologies do not have.

WebQEM has its drawbacks, though, the biggest of which being a necessity of expert evaluators who possess the knowledge necessary for defining the requirements tree (Zhou, 2009) and a good knowledge of the domain in which the Web app works. Therefore, this method carries the risk that, during the evaluation of global quality, subjectivity cannot be completely avoided (Olsina, Rossi, 2002, pp.20-29). Manual and thorough evaluation would require a huge effort and a lot of time, which may pose a

potential problem. For this reason, Olsina et al created a tool called "C-INCAMI Tool" in order to facilitate the evaluation process and save time.

Conclusion

An important component of software is its evaluation. To ensure the required quality, it is necessary to measure many characteristics that allow the determination of software quality, where software quality metrics plays a significant role. However, first it is necessary to define a model with a set of quality characteristics of software quality to be assessed. Of course, it is not possible to measure all the characteristics of quality in all possible cases.

However, separate measurements are not suitable for evaluating the overall usability because each metric is measured on its own scale and the results are difficult to compare. The interpretation of usability across multiple metrics becomes clumsy, heavy and unconvincing for decision-making, which represents a drawback of such an approach.

A difficult task for professionals, business managers and potential customers is to determine which product is superior regarding its usability when considering several attribute measures on different scales. One usability metric provides better assessment of usability and easier comparison of products than when individual metric components are considered. However, the existence and use of these methods indicate a need to present the complex usability structure in a form that can be manipulated. Therefore, it is expected that the combination of a number of known evaluation methods provides an easily applicable procedure of the comprehensive and objective evaluation of the usability of Web applications, thus enabling easy identification of problems in the design of interfaces as well as an efficient comparison of competing products or the same product in different stages of its life cycle.

Performing a summary usability metrics reduces the complexity of identifying the difference in the usability of competing products and facilitates decision-making. In this way it provides clear, understandable and unambiguous interpretation of the results and readily compares the results of the usability of competing products or one particular product after changes.

References

- Abdinnour-Helm, S.F., Chaparro, B.S., & Farmer, S.M., 2005. Using the End-User Computing Satisfaction (EUCS) Instrument to Measure Satisfaction with a Web Site. *Decision Sciences*, 36(2), pp.341-364. Available at: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-5414.2005.00076.x>.
- Becker, P., & Olsina, L., 2010. Towards Support Processes for Web Projects. Argentina: La Pampa, GIDIS_Web, Engineering School, UNLPam.
- Bublione, L., Gasparro, F., Giacobbe, E., & Grande, C., 2002. A Quality Model for Web-based Environments: GUFPI-ISMA Viewpoint. Rome: GUFPIISMA.
- Đorđević, N., 2017. Usability: key characteristic of software quality. *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 65(2), pp.513-529. Available at: <https://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-11028>.
- ISO, 1996. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs): Part 10: Dialogue principles. 9241-10.
 - ISO, 1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs): Part 11: Guidance on usability. Geneva, Switzerland. 9241-11.
- Lew, P., & Olsina, L., 2011. Instantiating Web Quality Models in a Purposeful Way. In: 1st Int'l Conference on Web Engineering (ICWE), Paphos, Cyprus, pp.214-229
- Loiacono, E., Watson, R., & Goodhue, D., 2002. WebQual™: A Measure of Web Site Quality. Worcester, Massachusetts: Worcester Polytechnic Institute; Athens, Georgia: University of Georgia.
- Murgesan, S., 2008. Web Application Development: Challenges and The Role of Web Engineering. In G. Rossi & et al Ed., *Web Engineering: Modelling and Implementing Web Applications*. Springer, pp.7-32, ch. 2.
- Muyllé, S., Moenaert, R., & Despontin, M., 2004. The conceptualization and empirical validation of web site user satisfaction. *Information & Management*, 41(5), pp.543-560. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206\(03\)00089-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7206(03)00089-2).
- Nielsen, J. 1994., Heuristic evaluation. In J. Nielsen & R.L. Mack Ed., *Usability Inspection Methods*. New York: Wiley & Sons.
- Olsina, L., & Molina, H., 2008. How To Measure And Evaluate Web Applications In A Consistent Way. In G. Rossi & et al Ed., *Web Engineering: Modelling and Implementing Web Applications*. London: Springer, pp.385-420, ch. 8.
- Olsina, L., & Rossi, G., 2002. Measuring Web Application Quality with WebQEM. *IEEE MultiMedia*, 9(4), pp.20-29. Available at: <http://dx.doi.org/10.1109/MMUL.2002.1041945>.
- Oztekin, A., Nikov, A., & Zaim, S., 2009. UWIS: An assessment methodology for usability of web-based information systems. *The Journal of Systems and Software*, 82(12), pp.2038-2050.
- Zhou, Z., 2009. Evaluating Websites Using a Practical Quality Model. De Montfort University, Software Technology Research Laboratory.

ОЦЕНКА УДОБСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Небойша Д. Джорджевич

Вооруженные Силы Республики Сербия, Управление сухопутных войск, г. Ниш, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: вычислительная техника и информатика,
информационные технологии

ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья

ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной статье подчеркивается роль удобства использования Веб-приложений, так как оно привлекает и удерживает пользователей на сайте. В вводной части статьи приведена общая классификация оценочной методологии по удобству использования, с целью обзорного представления о различных точках зрения отдельных исследователей в вопросах по удобству использования. Для продления жизненного цикла Веб-приложений необходимо проводить оценку и анализ многих факторов, влияющих на удобность использования программного обеспечения. В данной статье приведен краткий обзор наиболее распространенных оценочных методов в области удобства использования Веб-приложений, представленных в ряде публикаций, посвящавших данному вопросу особое внимание на протяжении последнего десятилетия. В заключении статьи, автор, учитывая тот факт, что у многих пользователей вопрос о выборе методологии вызывает затруднения, приводит обоснованные рекомендации по преимуществу отдельных методов.

Ключевые слова: методы, удобство использования, Веб-приложения.

ЕВАЛУАЦИЈА УПОТРЕБЉИВОСТИ ВЕБ АПЛИКАЦИЈА

Небојша Д. Ђорђевић

Војска Србије, Команда Копнене војске, Ниш, Република Србија

ОБЛАСТ: рачунарство и информатика, информационе технологије

ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду је наглашен значај употребљивости веб заснованих апликација као битан услов за привлачење и задржавање корисника. На почетку рада представљена је уопштена подела метода за евалуацију употребљивости, са намером да покаже различит поглед истраживача на употребљивост. Да би се обезбедио животни век веб апликације потребно је мерити и вредновати многе карактеристике које утичу на употребљивост софтвера. У раду су укратко приказане најчешће коришћене методе за евалуацију употребљивости веб заснованих апликација публикованих у последњој деценији. Имајући у виду да није лако одабрати праву методу, у закључку су наведене препоруке које треба посебно размотрити приликом њеног избора.

Кључне речи: методе, употребљивост, веб засноване апликације.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 05.05.2016.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы /
Датум достављања исправки рукописа: 27.03.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум
коначног прихватања чланка за објављивање: 29.03.2017.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



ПРИКАЗИ

ОБЗОРИ

REVIEWS

7. МЕЂУНАРОДНИ НАУЧНО-СТРУЧНИ СКУП ИЗ ОБЛАСТИ ОДБРАМБЕНИХ ТЕХНОЛОГИЈА ОТЕХ-2016 (ПРИКАЗ ЗБОРНИКА РАДОВА)

Славко Ј. Покорни

Висока школа струковних студија за информационе технологије,
Београд, Република Србија,
e-mail: slavko.pokorni@its.edu.rs,
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-3173-597X>

<https://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-12142>

ОБЛАСТ: војне технологије

ВРСТА ЧЛАНКА: приказ

ЈЕЗИК ЧЛАНКА: српски

Сажетак:

У овом приказу наведене су основне информације о укупним резултатима, значају, међународном програмском одбору и областима рада 7. међународног научно-стручног скупа из области одбрамбених технологија ОТЕХ 2016 (7th International Scientific Conference On Defensive Technologies ОТЕН 2016). Представљен је број тематских области, број радова, број аутора/коаутора, број сесија скупа и број чланова програмског одбора. На овогодишњем скупу било је најмање објављених радова, али највише њихових аутора/коаутора.

Кључне речи: међународна конференција, ОТЕХ, војне технологије, приказ.

У Војнотехничком институту (ВТИ) у Београду је 6. и 7. октобра 2016. године, одржан 7. међународни научно-стручни скуп из области одбрамбених технологија ОТЕХ 2016 (7th International Scientific Conference on Defensive Technologies ОТЕН 2016), под покровитељством Управе за одбрамбене технологије Министарства одбране Републике Србије.

Организатор ове значајне конференције је, по шести пут, Војнотехнички институт. Напоменимо да је прва конференција одржана 2005. године, на иницијативу Војне академије, под називом Први научни скуп одбрамбене технологије у функцији мира ОТЕХ 2005, а имала је карактер домаће конференције, као и друга, коју је организовао Војнотехнички институт, као и све остале. Трећа конференција била је са међународним учешћем, а од четврте је међународна. Статистички подаци и неки детаљи са претходних конференција могу се видети у (Pokorni, 2015).

За конференцију се могу поднети радови који садрже оригиналне теоријске или практичне резултате истраживања, као и прикази практичних решења или уређаја из домена тематских области конференције.

Сваки учесник може бити аутор или коаутор највише три рада, али само једанпут као први аутор.

Сви радови подлежу стручној рецензији.

Овогодишња конференција има 8 секција, као и претходна (табела 1).

До сада је у зборницима ове конференције публиковано укупно 1130 радова, укључујући и ОТЕХ 2016 (табела 2).

За конференцију се уобичајено штампа програм и ради ЦД на којем се налазе сви радови који су прошли рецензију. Од четврте конференције, одржане 2009. године (ОТЕХ 2009), када је ОТЕХ постао међународна конференција, радови се пишу на енглеском језику, а излажу на енглеском или српском (ако у секцији у којој се излажу радови нема учесника који не разумеју српски језик, по договору са председавајућим секције).

Програмски одбор овогодишње конференције чине 43 научна радника из 12 земаља: Белорусија – 1, Босна и Херцеговина – 3, Бугарска – 2, Чешка – 2, Италија – 1, Немачка – 1, Нови Зеланд – 1, Румунија – 2, Русија – 1, Словенија – 1, Србија – 27 (од којих је 9 из цивилних институција) и Турска – 1. Дакле, 16 чланова је из иностранства, или око 37%, што је мањи проценат него на претходној конференцији, због већег броја чланова из Србије (табела 2).

На овогодишњој конференцији било је најмање објављених радова, али се појављује највише аутора/коаутора (табела 1, табела 2, табела 3).

Овогодишњу конференцију отворио је министар одбране Републике Србије Зоран Ђорђевић, а скупу се, у име организатора и домаћина, обратио директор ВТИ пуковник др Зоран Рајић.

Министар одбране је, поред осталог, истакао да је ОТЕХ изузетно значајна научно-стручна манифестација која се одржава

ради свеобухватног и мултидисциплинарног сагледавања научног и технолошког развоја у области одбране. Отварању конференције присуствовали су високи званичници Министарства одбране и Војске Србије, страни војни изасланици акредитовани у Србији, делегације МО више земаља, више од 30 гостију из иностранства, представници института, факултета и фабрика одбрамбене индустрије и други гости. Учесници конференције имали су прилику и да обиђу лабораторје ВТИ.

На већини досадашњих конференција су, на отварању, одржана и пригодна предавања посвећена нашим познатим научницима. Тако је 2011. године пригодна предавање било посвећено животу и научним достигнућима Николе Тесле, а 2014. године 160. годишњици рођења Михајла Пупина. Овогодишња конференција ОТЕХ 2016 била је посвећена математичарки Милеви Марић, Српкињи која је дала неизмеран допринос науци, радећи у сенци свога мужа Алберта Ајнштајна, о којој је, приликом отварања конференције, пригодна предавање одржао професор Велимир Абрамовић (<http://www.vti.mod.gov.rs/index>, 2016).

*Табела 1 – Преглед укупног броја радова по областима конференције
Таблица 1 – Обзор общего количества работ, представленных в секциях
конференции*

Table 1 – Overview of the number of all papers grouped by the Conference areas

Ред. бр.	Назив области	ОТЕХ 2011	ОТЕХ 2012	ОТЕХ 2014	ОТЕХ 2016
	Пленарна излагања	3	2	2	2
1	Аеродинамика и динамика лета	11	12	10	12
2	Ваздухоплови	22	23	26	13
3	Наоружање и возила			21	14
4	Муниција и енергетски материјали	28	29	20	15
5	Интегрисани сензорски и роботски системи	17	16	21	20
6	Телекомуникациони и информациони системи	18	18	12	12
7	Материјали и технологије	22	34	36	35
8	Квалитет, стандардизација, метрологија, одржавање и експлоатација	11	11	10	11
9	Геотопографске технологије	7	-	-	-
10	Медицина у функцији одбране	3	-	-	-
УКУПНО ОБЛАСТИ		9	7	8	8
УКУПНО РАДОВА		142	145	158	134

Након отварања одржана су два пленарна предавања гостију из иностранства – др Евгенија В. Судова из Истраживачко-развојног центра „Примењена логистика” из Москве и Слободана Рајића из Националне лабораторије Оак Риџ, Тенеси, САД.

Табела 2 – Број радова, аутора, секција, сесија и чланова програмског одбора по конференцијама

Таблица 2 – Список количества представљених радова, аутора, секција, сесија и представитеља Оргкомитета конференције

Table 2 – Number of papers, authors, sections, sessions and members of the Programme Committee by Conferences

	ОТЕХ 2005	ОТЕХ 2007	ОТЕХ 2009	ОТЕХ 2011	ОТЕХ 2012	ОТЕХ 2014	ОТЕХ 2016
Број радова*	168	181	202	142	145	158	134
Број аутора/ коаутора	268	287	374	315	402	417	507
Број секција**	14	10	11	9	7	8	8
Број сесија	19	22	20	15	15	16	16
Број чланова Програмског одбора***	30/7	30/4	22/5	31/13	29/10	38/17	43/16
Број држава****	1	1	4	17	16	14	15

Легенда:

* Свака конференција имала је по два пленарна рада, која су обухваћена.

** Број тематских области односно секција.

*** Укупан број чланова Програмског одбора/број ван институција Војске Србије за ОТЕХ 2005, ОТЕХ 2007 и ОТЕХ 2009, а за ОТЕХ 2011, ОТЕХ 2012, ОТЕХ 2014 и ОТЕХ 2016 то је укупан број чланова Програмског одбора/број чланова из иностранства (при чему чланови из цивилних институција Србије нису посебно издвајани из укупног броја).

**** У број држава је укључена и Србија, као домаћин конференције.

Затим је конференција настављена радом по секцијама и сесијама, а кратки садржаји прихваћених и рецензираних радова могу се видети на сајту ОТЕХ 2016 (<http://www.vti.mod.gov.rs/oteh>), док се комплетни радови налазе на ЦД-у (ОТЕН, 2016).

У зборнику овогодишње конференције има укупно 134 рада (укључујући и два пленарна рада), које је написало 507 аутора из 15 држава (укључујући и Србију). Број држава учесница је на нивоу претходних конференција, с тим што три државе учествују по први

пут. Укупан број радова овогодишње конференције је најмањи до сада, али је највише аутора (табела 4).

Табела 3 – Преглед броја радова и аутора (и коаутора) по иностраним државама учесницама

Таблица 3 – Обзор количества работ и авторов (соавторов), по зарубежным странам, которые представляют участники

Table 3 – Overview of the number of papers and authors (with coauthors) by the foreign member states

Ред. бр.	Држава	ОТЕХ 2011		ОТЕХ 2012		ОТЕХ 2014		ОТЕХ 2016	
		Број радова	Број аутора	Број радова	Број аутора	Број радова	Број аутора	Број радова	Број аутора
1	Алжир	3	3	3	5	5	11	7	7
2	Аустралија	1	1						
3	Аустрија					1	1		
4	Белорусија		9	1	3	2	4	1	4
5	БиХ	5		3	6	4	8	2	5
6	Бугарска			2	4	1	2	1	4
7	Црна Гора	1	3	2	2	2	5		
8	Чешка Република	2	3	2	3	1	4	1	1
9	Египат			2	2				
10	Француска	1	1	2	2	1	1		
11	Ирска	1	2						
12	Италија	1	1	1	1				
13	Израел							1	1
14	Канада	3	3			1	1	1	1
15	Кина			2	3				
16	Македонија					3	7	3	9
17	Нови Зеланд	1	1						
18	Пољска			2	10				
19	Русија	1	1					1	1
20	САД							1	1
21	Словенија	1	4	1	6	1	1	2	2
22	Судан					8	15		
23	Швајцарска	1	1					1	1
24	Турска	8	11	6	10				
25	Уједињени Арапски Емирати							1	1
26	Украјина	1	1	1	2				
27	Велика Британија	1	2	2	2	1	2	1	1
	УКУПНО	32	47	32	61	31	62	24	39

Табела 4 – Преглед броја радова и аутора/коаутора по државама учесницама
Таблица 4 – Обзор количества работ и ауторов/соавторов по странам
участников

Table 4 – Overview of the number of papers and authors/coauthors by the member states

Ред. бр.	ОТЕХ 2011		ОТЕХ 2012		ОТЕХ 2014		ОТЕХ 2016	
	Број радова	Број аутора	Број радова	Број аутора	Број радова	Број аутора	Број радова	Број аутора
Број иностраних држава	16		15		13		14	
УКУПНО инострани	32	47	32	61	31	62	24	39
Србија	110	268	113	341	127	356	110	468
УКУПНО ОТЕХ	142	315	145	402	158	412	134	507

За разлику од већине других конференција, за ОТЕХ се не плаћа котизација, а одржава се у Београду, где је концентрација научног и стручног потенцијала Србије, како војног тако и цивилног. Поред тога, Београд је привлачна дестинација и за учеснике из иностранства, па је све то додатни мотив да ОТЕХ има бројне и квалитетне учеснике.

На крају, може се констатовати да конференција ОТЕХ успешно наставља рад са све већим бројем аутора/коаутора. И даље се уочава сарадња аутора из разних институција Војске и Министарства одбране Републике Србије, како са цивилним институцијама у Србији, тако и са институцијама ван Србије. Већина радова је колективно дело више аутора. Међутим, неколико аутора потписује више од три рада (премда је и на овој конференцији, као и на већини других научних скупова, ограничено да се један аутор може појавити на највише три рада, а само на једном као први аутор). Треба додати да су, као и претходних година, на конференцији учествовали и излагали радове, укључујући и пленарна излагања, и некадашњи припадници Војске, који сада раде у високообразовним институцијама и научним институцијама, како у иностранству, тако и у Србији.

References

<http://www.vti.mod.gov.rs/index.php?view=actuality&type=news&id=327>
2014. Accessed: 11 October 2016.

- ОТЕХ, 2016. *ОТЕХ 2016 Conference Proceedings*. In: 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies ОТЕХ 2016, 2016, Belgrade.

Pokorni, S., 2015. 6. Međunarodni naučno-stručni skup iz oblasti odbrambenih tehnologija OTEH 2014 (prikaz zbornika radova). *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier*, 63(2), pp.195-203 (in Serbian). Available at: <http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg63-7154>.

СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ OTEH-2016
(ОБЗОР СБОРНИКА СТАТЕЙ)

Славко Й. Покорни
Колледж информационных технологий, г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: военные технологии
ВИД СТАТЬИ: обзор
ЯЗЫК СТАТЬИ: сербский

Резюме:

В данной обзорной статье представлены основные данные о результатах, значении, мировых тенденциях и сферах деятельности Седьмой международной военно-технической конференции OTEX-2016 (7th International Scientific Conference On Defensive Technologies OTEH 2016) и сравнительный анализ с шестью предыдущими. Приведены данные по количеству работ, числу авторов/соавторов, сфер деятельности, длительности проведения и числу членов отборной комиссии. Седьмая конференция OTEX-2016, по числу авторов, значительно превосходит все проведенные ранее.

Ключевые слова: международная конференция, OTEX, военные технологии, обзор.

7TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON DEFENSIVE
TECHNOLOGIES OTEH-2016 (PROCEEDINGS REVIEW)

Slavko J. Pokorni
Information Technology School, Belgrade, Republic of Serbia

FIELD: Military Technology
ARTICLE TYPE: Review
ARTICLE LANGUAGE: Serbian

Summary:

The article presents the basic information about the overall results, the significance, the international programme committee and the working areas of the 7th International Scientific Conference on Defensive

Technologies, OTEH 2016, in comparison with the previous six conferences. The number of sections, number of papers, number of authors/coauthors, number of sessions and number of members of the scientific committees are presented in the review. This year conference has had the smallest number of papers but the biggest number of authors/coauthors since this conference was held for the first time.

Key words: international conference, OTEH, military technology, review.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 21.10.2016.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 20.11.2016.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 22.11.2016.

© 2017 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/>).

© 2017 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/>).

© 2017 Аутор. Објавио Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / 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/>).



Нишањење путем бежичне технологије¹

Америчка војска планира повезивање уређаја за посматрање ноћу са нишаном оружја и очекује да ће та технологија бити оперативна већ 2018. године. Она ће омогућити повезивање уређаја за ноћно осматрање са термалним нишаном на оружју, што ће помоћи војницима у борбеним ситуацијама да брже идентификују и униште непријатељеве мете. Очекује се да ће иницијална производња ових уређаја, названих *брза аквизиција мете*, почети у наредних неколико месеци.

Систем брзе аквизиције мете спаја две технологије, нове модернизоване наочаре за ноћно осматрање под називом *унапређене наочаре за ноћно осматрање* (Enhanced Night Vision Goggle III), скраћено ENVG III, са следећом генерацијом термалних нишанских уређаја под називом *скуп нишанских уређаја* (Family of Weapons Sights), скраћено FWS-1.

Војници ће ускоро моћи да прате и нападају непријатеље у брзим борбеним ситуацијама без подизања оружја у нивоу очију. Бежични линк ће показати нишански крстић са термалног нишана директно у видно поље наочара за ноћно осматрање са таквом прецизношћу да војник неће морати да диже оружје у ниво рамена ради усклађивања нишанских линија.

Унапређена нишанска технологија је изузетно важна у блиској борби када се мете појављују и нестају у делићу секунде.

Када се мета појављује у видном пољу наочара, војник не мора дизати пушку већ само okreће оружје ка нишанском крстићу у наочарама и напада мету. Практично, он може пуцати са бока без класичног подизања пушке и нишањења у нивоу рамена.

Нишански уређај FWS-1 је термална нишанска справа која се налази на горњем делу јуришне пушке М-4. Овај уређај је могуће поставити и на тешке митраљезе калибра 50, односно 12.7 мм.

Слика са термалне нишанске справе бежично се шаље у наочаре за ноћно осматрање ENVG III и приказује у видном пољу наочара. Она се састоји од нишанског крста и дела слике термалне нишанске справе високе резолуције.

Наочаре за ноћно осматрање поседују два канала. Један канал укључује стандардно унапређење слике, док други приказује слику са термалне нишанске справе. Обе слике шаљу се бежичним путем и приказују спојене у истом видном пољу, тако да се не види разлика између два различита извора.

Унапређени модел наочара за ноћно осматрање ENVG III омогућује веће видно поље, бољу резолуцију, детектује инфрацрвене ласере и


¹ Scout.com 17.11.2017

поседује могућност гласовног управљања. Ова технологија је у фази тестирања и биће оперативна током 2017. године.

Нишански крстић појављује се у видном пољу наочара за ноћно осматрање када је оружје уперено у мету. Могуће је напасти мету оног тренутка када се појави крстић у видном пољу. Нема више потребе за дизањем оружја и нишањења на мету. Нишански крстић је већ у видном пољу.

Америчка војска планира набавку 40.000 наочара за ноћно осматрање типа ENVG III.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Нови опаснији леопард²

Немачка војска одлучила је да повећа број и убојитост својих тенкова Leopard 2. Ова одлука је уследила након поруке немачког министра одбране који је током априла 2016. године изјавио да ће бити предузето низ мера усмерених на јачање немачке војске, укључујући и планирано повећање флоте тенкова са 225 на 320 комада. Ова иницијатива требало би да оконча смањивање броја немачких тенкова која је 2012. године имала само 350 оперативних тенкова Leopard 2.

Почетком октобра 2016. године, компанија Rheinmetall изнела је нове детаље у вези с модернизацијом топовског система 120 мм са глатком цеви. Тенкови опремљени овим системом носиће ознаку Leopard 2A7V. Интересантно је да је то ознака једног од првих немачких тенкова у Првом светском рату – А7V који се појавио на бојном пољу пре тачно 100 година.

Осим немачких тенкова и холандски тенкови типа Leopard 2A6 (16 комада) и 68 тенкова типа Leopard 2A4 који су купљени од шведске војске, као и 20 тенкова Leopard 2A7 које је компанија KMW испоручила немачкој војсци у периоду од 2014. до 2015. године предвиђени су за модернизацију. Тако ће у садашњем стању остати 155 тенкова Leopard 2A6 и 50 тенкова Leopard 2A6M. Прва два демонстратора типа Leopard 2A7 биће испоручена за потребе тестирања у трећем кварталу 2018. године. Важан део модернизације представљаће уградња модернизованог модела топа 120 мм са глатком цеви (L55A1) који је први пут уведен у употребу на тенку Leopard 2A6.

Leopard 2A7V садржаће све модернизације које су уведене за модел Leopard 2A7, укључујући систем за климатску контролу, помоћни агрегат од 17 kW Steyr M12, дигитални унутрашњи комуникациони систем Thales SOTAS, систем за управљање борбом IFIS са новим дисплејима за посаду, модернизоване нишанске справе командира и нишанције са термалним камерама Airbus ATTICA, мобилни камуфлажни систем Saab Barracuda,

² Jane's International Defence Review – December 2016

комплет за заштиту од мина и систем за програмирање вишенаменске експлозивне гранате МКМ.

Унапређени топ L55A1 биће формално квалификован за рад под већим притиском (700 МПа уместо 670 МПа). Стручњаци компаније „Rheinmetall”, који раде на развоју ове варијанте од 2004. године, већ су изјавили да већи притисак у цеви неће утицати на смањење перформанси топа, односно да ће топ и даље имати лимит од 1.500 испаљених граната. Више посла биће на измени система за избацавање утрошених чаура граната.

Стандард челика употребљеног за цев топа L55A1 (издржљивост 1.100 МПа) биће исти као и за основну верзију L55 због недостатка времена за формалном квалификацијом дизајна топа L55A1 са челиком веће снаге због планираног завршетка тенка Leopard 2A7V. Почетком 21. века, компанија је открила верзију топа са глатком цеви 120 мм, дужине 47 калибара са краћим трзајем издржљивости 1.300 Мпа који је имао још већи дозвољени притисак у цеви (до 750 Мпа).

Компанија „Rheinmetall” је израдила и верзију топа L55 са челиком издржљивости до 1.300 Мпа која је била предвиђена за инсталацију на куполи тенка Challenger 2, а која је успешно тестирана у Великој Британији током 2005. године.

Планира се уградња противтрзајне кочнице K900 на новом тенку, иако то није неопходно приликом гађања са тренутно постојећом муницијом DM63/63A (брзина са подкалибарним пенетратором је 1,720 m/s). Ову брзину постижу топови L55/L55A1, али се очекује да ће тенк Leopard 2A7V можда испаљивати и пенетраторе веће брзине у неком наредном периоду. Противтрзајна кочница K900 уведена је у употребу током 2001. године да би омогућила смањење трзаја топовских система L55 и L44 са претходним пенетратором DM53 KE (брзине 1,750 m/s и притиска гаса од 575 МПа). Очекује се да ће ова гасна кочница моћи да контролише трзај који ће производити нови дужи кинетички пенетратор 120 мм KE2020 који је још у фази развоја.

Иако се не очекује да ће нови пенетратор ући у оперативну употребу пре 2022. године, очекује се да ће пенетратор искористити све предности повећане сигурносне маргине притиска у цеви топа L55A1 с обзиром на нови састав пропулзивног експлозива и новог система паљења за који се очекује да ће повећати перформансе кинетичког пенетратора DM63 за неких 20 процената. Очекује се да ће нови пенетратор имати језгро од волфрама, али без кобалта, што би уважило све постојеће примедбе у вези са серијом DM53 и DM63.

У међувремену, кочница K900 одабрана је за уградњу у 128 тенкова Leopard 2A4 са топовима типа L44 који су планирани за модернизацију (у пољској војсци) у периоду од 2018. до 2020. године. Оваква модернизација планирана је ради смањења ризика од пожара у случају оштећења возила у борби. Пољска војска одлучила је да замени све хидрауличне системе у куполи, укључујући и електрохидраулични систем за контролу и

стабилизацију електричним моторима, а унапређена кочница K900 пуни се мешавином воде и гликола уместо уљем као претходна кочница K600.

Веће је боље?

Иако немачка војска тренутно развија само оружје у калибру 120 мм, компанија „Rheinmetall” започела је развој новог модерног топа 130 мм у сопственој режији. Пројекат је започет 2015. године са претпоставком да ће ускоро бити потребан моћнији топ од постојећег 120 мм са глатком цеви. Претпоставља се да ће нови топ бити развијан за будуће француско-немачко возило за ватрену подршку, под радним називом основни копнени борбени систем (MGCS Main Ground Combat System) које ће у потпуности заменити тенкове типа Leopard 2 у периоду након 2035. године.

Прво тестирање муниције у калибру 130 мм заказано је за крај 2016. године и тада се очекује оцена перформанси између топова 120 мм и 130 мм против мета које би представљале нове и будуће тенкове. Димензије новог топа 130 мм тренутно нису ограничене габаритима постојеће куполе тенка Leopard 2, али то би се могло променити уколико немачка војска то затражи. Тренутна верзија топа 130 мм је само 200 кг тежа од топа L55 120 мм са глатком цеви. Топ је дужине 51 калибар, маса му је 1.400 кг (дужина цеви 6,630 мм), израђен је од челика велике снаге али без спецификација, док му је укупна дужина 7.160 мм. Ове димензије одговарају топу 120 мм XM 360 америчке војске који се налази на борбеном систему XM1202 Mounted Combat System који се развија за будуће оклопне системе (Future Combat Systems).

Топ XM 360 био је предвиђен за уградњу у тенк M1A2 Abrams под називом XM360E1, а који је опремљен комором која издржава већи притисак, а има мањи повратни трзај. Поређења ради, запремина коморе немачког топа 130 мм је 15 л, што је за 5 л више од запремине комора топова L55A1 и XM360E1, а дозвољени притисак је 880 Мра.


Граната топа 130 мм биће из једног дела (дужине 1,3м) и масе 30 кг, што ће проузроковати потребу уградње аутоматског пуњача у оперативном тенку. Ипак, очекује се да ће компанија „Rheinmetall” моћи да произведе гранату из два дела, уколико то буде тражено услед конфигурације будуће куполе и оптималног складиштења муниције. Дводелна граната развијена је и за пројекат будућег топа (Future Tank Main Armament) који би био у калибру 140 мм, а развијале су га Француска, Немачка, Велика Британија и САД крајем осамдесетих година у јеку хладног рата. Након распада СССР-а овај пројекат је напуштен.

Године 1999. немачки инжењери јавно су објавили податке о оствареној енергији од 23 MJ за кинетички пројектил 140 мм. Употребом данашњих технологија биће могуће остварити исту количину енергије, али у калибру 130 мм.

Прича о новом тенку и новом топу нагло је добила на важности након што је Русија први пут приказала свој нови тенк Т-14. Западни аналитичари не сумњају у (скоро) револуционарне могућности новог руског тенка којег би садашњи западни топови 120 мм тешко пробијали, али постављају

питање – да ли Русија има довољно средстава да купи веће количине тих тенкова. У прилог им иду и нове одлуке руског министарства одбране које је одлучило да модернизује велики број тенкова Т-72 у нови стандард Т-72В3. По доступним подацима, до краја 2016. године више од 600 тенкова Т-72 биће унапређено у тај стандард.

У сваком случају, војни коментатори очекују да ће нови топ 130 мм бити потпуно ефикасан против руског тенка Т-14, а наводно чак и његових наследника.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

*F-35 можда никада неће бити спреман за борбу*³

Извештаји са тестова оповргавају оптимистичне наводе америчког ратног ваздухопловства

Програм ловца-бомбардера F-35 је најскупљи програм набавке у историји Пентагона и од старта га прате огромна кашњења, прекорачења трошкова и низ извештаја о лошим перформансама.

Недавно је Америчко ратно ваздухопловство објавило да је њихова варијанта ловца „спремна за борбу”, што је изазвало америчке медије да објаве вест да је програм коначно кренуо у правом смеру. Међутим, накнадно издати меморандум званичника Пентагона, директора за оперативне тестове и евалуацију, надлежног за тестирање летелице Мајкла Гилмора (Michael Gilmore), заснован на подацима тестова примерка из ратног ваздухопловства, показао је да се ради о преурањеном слављу.

Меморандум DOT&E од 16 страна наводи да је програм летелице F-35 стао на таквом месту да се може рећи да „постоји могућност неиспуњавања пуних капацитета програма Block 3F”, односно бачених 400 милијарди долара америчког Стејт департмента. Меморандум у детаље објашњава како програм већ неколико година пробија све рокове и не испуњава ни основе захтева постављене пред ловац F-35.

Како сада ствари стоје, F-35 би морао бежати од борбе и тражити помоћ од других авиона, јер „му треба подршка у лоцирању циљева, ангажовању формација непријатељских ловаца са обзиром на невероватне недостатке у перформансама и ограниченог спремишта наоружања”.

Меморандум DOT&E, у неколико наврата, оцењује да је F-35А у суштини лошији авион од тренутно постојећег. Такође, наведено је да је константан прилив позитивних оцена, у ствари, фалсификован.

³ War is boring 10 September 2016



F-16 izbacuje toplotne mamce u blizini F-35 prilikom manevara u Holandiji

Ограничене борбене способности

Америчко ратно ваздухопловство обавестило је Конгрес да се изјава о „Иницијалној оперативној способности” односи на тренутну верзију F-35A (Block 3i) која може летети у три основне врсте мисија – блиској ваздушној подршци, забрани летова и ограниченим нападима на непријатељску противваздухопловну одбрану.

Америчке оружане снаге примају испоручене моделе F-35 sukcesивно, тако што свака испорука обухвата модернизоване моделе, као што тренутно најновија верзија F-35 носи додатну ознаку Block 3i, што јој омогућава извршавање три основне мисије – блиску ваздушну подршку, забрану ваздушног простора и нападе на непријатељску ваздушну одбрану у ограниченом обиму. Претходна верзија носила је додатну ознаку Block 2B, која је, у односу на нове верзије, имала застарели компјутер који је избачен из употребе. Све следеће модернизације имају за циљ инкорпорирање свих борбених способности.

У тренутној конфигурацији F-35, намењен америчком ратном ваздухопловству, може носити само две ракете ваздух-ваздух дугог домета (али без ракета ваздух-ваздух кратког домета са топлотним навођењем) и две бомбе за нападе на циљеве на земљи. Овакав, врло сиромашан бојеви комплет резултат је постојања озбиљних софтверских проблема, а не неких потенцијалних (иако још неисprobаних) способности авиона за смештај веће количине наоружања. Овај борбени комплет налази се у

унутрашњости авиона, а могуће је подвесити додатне количине оружја на спољним подвесним носачима, али ће у том случају бити знатно нарушене „стелт” особине авиона, али и његов домет.

Програмери тренутно раде на развоју следеће верзије софтвера Block 3F (са великим проблемима) која би могла омогућити ловцу F-35 употребу веће количине разнородног наоружања као што је првобитно и било предвиђено, али авиони са овом верзијом софтвера још су врло далеко од оперативног тестирања, а још даље од увођења у ескадриле америчког ратног ваздухопловства (а других ваздухопловстава земаља широм света које су финансијски учествовале у развоју ловца). Тренутно, према меморандуму DOT&E, F-35 је оспособљен за учешће у оружаном сукобу, али само са поменутиим бојевим теретом, што га не чини претерано корисним.

Још један од проблема са којим се суочава F-35 је недостатак употребљивог топа. Нови, актуелни софтвер ловца F-35, под називом Block 3i, једноставно није урачунао опцију топа на авиону, јер је тај софтверски део био присутан у претходном софтверском пакету Block 3F, а који још није довршен. Поред тога, појавиле су се сумње да ли је најновија верзија врло компликоване пилотске кациге којом је једино могуће циљати топом довољно прецизна за погађање ваздушних или копнених мета.

Поменути меморандум DOT&E такође помиње постојање проблема са топом на верзији F-35A предвиђеној за америчко ратно ваздухопловство. Само је ова верзија летелице опремљена топом који се налази у унутрашњем спремишту. Верзије за амерички марински корпус и за америчку морнарицу опремљене су топом постављеним у подвесном делу на доњем делу авиона.



F-35A избацује бомбу JDAM током тестирања 2012. године

Ради одржавања невидљивих особина авиона, топ је постављен иза малих врата која се отварају тек приликом гађања топа, а тек је недавно примећено да у тренутку отварања топовских врата долази до малог скретања авиона са своје путање, што би такође могло довести до промашаја. Меморандум DOT&E наглашава да ће пилоти имати великих тешкоћа да погоде циљ топом, тим пре што је укупан капацитет топовских граната у ловцу F-35 само 181 граната у односу на 511 у ловцу F-16 или чак 1.100 за ловац тенкова A-10.

Повреде пилота

Пилотска кацига, чија је вредност неколико стотина хиљада долара, тешка је чак 2,5 кг и приликом полетања морнаричке верзије F-35, односно приликом катапултирања авиона са носача, долази до наглог покрета главе пилота назад, односно напред. У 70 посто катапултирања авиона пилоти су пријавили умерене до знатне болове у глави и врату.

Приликом лансирања долази и до губитка поравнања пилотске кациге. Пилоти су пријавили потешкоће у читању критичних информација које се приказују на екрану кациге. Они се жале да је то врло опасно, јер се дешава у најкритичнијој фази лета, приликом самог лансирања са носача. су Покушали су да умање осцилације тако што су краће и чвршће везивали сигурносне појасеве, али су онда имали потешкоће да дохвате одређене прекидаче на контролној табли, као и ручку за катапултирање пилотског седишта.

Блиска подршка ловца F-35 може угрозити трупе на земљи

Како се наставља дебата о будућности мисија блиске подршке, једна ствар постаје сигурна: F-35 још увек није у могућности да подржава трупе на земљи. Поменути DOT&E меморандум наглашава да је ловац F-35A у конфигурацији Block 3i знатно лимитиран у блиској ваздушној подршци у односу на постојеће могућности авиона као што су F-15E, F-16, F-18 и A-10. Као што је претходно наведено, авион може носити само две бомбе које су превише велике да би се могле користити близу пријатељских снага, а чак и када би F-35A могао употребити обе бомбе, морао би се одмах вратити у базу ради поновног пуњења. У конкретном случају база би се налазила далеко од бојишта, јер је авиону потребна бетонска полетно-слетна писта у дужини од најмање 2.438 метара са врло озбиљном логистичком подршком, што знатно умањује брзину одговора за блиском ваздушном подршком.

Топови спадају у најефикасније оружје у ситуацијама блиске ваздушне подршке, много ефикасније него ракете (које F-35A тренутно уопште не може користити). То је нарочито важно када је потребно ангажовати циљеве који су врло близу пријатељским снагама.

Ласерски вођена бомба GBU-12, мања од једине две бомбе које носи F-35A, има пуњење од 267 кг експлозива. Ако је бомба избачена са висине од 250 метара велика је вероватноћа да ће експлозија онеспособити и пријатељске снаге с обзиром на то да се борбе воде обично на раздаљинама мањим од 100 метара.

Са друге стране, прецизна топовска ватра била би много ефикаснија, јер би граната топа 25 мм могла погодити циљ који се налази у радијусу од 100 метара без опасности по пријатељске снаге. То би могло бити довољно ако се не вратимо на проблем отварања топовских врата и евентуалног скретања авиона са путање..

Потрошња горива представља други фактор који би умногоме могао утицати на ефикасност F-35А на модерном бојишту. Летелица троши много горива и умногоме је зависна од ваздушних танкера. Исти меморандум наводи да: „F-35 има велику потрошњу горива и треба му више времена за ваздушна пуњења што скраћује време за време којег летелица може пружати ваздушну подршку“.

Тренутно авиони типа F-35 имају једно полетање-слетање на пет дана. Другим речима, ескадрила од 12 ловаца F-35 на мисијама у земљама као што су Авганистан или Сирија, што су типичне мисије авиона F-16 или A-10, могле би пружити блиску ваздушну подршку у облику од само једног F-35 по земљи у једном дану.

Обједињавање података ствара дуплу слику

Авион F-35, као и сви ловци, има радаре, видео-камере, инфрацрвене трагаче и пасивне електронске рисивере помоћу којих лоцира циљеве и претње у ваздушном простору или на копну. Једна од основних одлика овог ловца јесте да је његов компјутер у стању да обједини све информације прикупљене од својих и туђих сензора и да на основу тога генерише јединствену софтверску слику о сваком циљу и свакој претњи. Ова слика затим се одмах дели са свим авионима у формацији. Идеја је да сваки авион добије прецизну слику о околини у којој се налази формација авиона и то брзином која елиминише потребу за разменом гласовних података. Тако је бар замишљено.

У стварности сви ловци F-35 имају проблем са управљањем и обједињавањем сопствених података, као и њиховим прослеђивањем ка другим авионима у формацији. Тест-пилоти су пријавили да њихови ловци F-35 стварају вишеструке лажне податке када су им укључени сви сензори. На пример, када радар и инфрацрвени сензори ловца детектују непријатељски авион оба сензора приказују исти циљ као два циља на пилотској кациги. Иста ствар се дешава када два или више сензора детектују исту копнену мету.

Тест-пилоти решавали су проблем тако што су искључивали додатне сензоре; на пример, ако је радар укључен искључивали би инфрацрвене сензоре и обратно. То, наравно, није добро решење уколико би се спроводило у борбеним ситуацијама. Меморандум DOT&E поменуо је и ову констатацију и закључио да то представља кршење основних принципа обједињавања података из вишеструких сензора у једну јасну слику постојеће ситуације у којој је потребно идентификовати и ангажовати непријатеља. Овај проблем не јавља се само у случају обједињавања података добијених из различитих сензора у самом ловцу већ и приликом размене података између авиона у формацији путем дата линка.



Логистичко особље анализира податке са F-35

Иначе, то је била једна од основних предности ловаца нове пете генерације. Прво је F-22 могао примати и размењивати податке са другим платформама, што се у пракси показало као релативно тешко оствариво, а затим је та опција најављивана као једна од највећих предности новог F-35 (што би у теорији и било сјајно, јер би летелица била у могућности да дејствује без укључивања својих активних сензорских система, што значи да би у потпуности били испоштовани принципи „невидљивости“), али за сада једини резултат представља само додатно оптерећење пилота.

Проблеми са логистичким софтвером

Друга велика и скупа компонента програма F-35 јесте аутономни логистички информациони систем, комплексни компјутерски систем (Autonomic Logistics Information System – ALIS) који је конципиран тако да максимално аутоматизује борбене операције, дијагностику и уопште одржавање летелице. Међутим, ALIS је постао велика ноћна мора. Нова верзија система ALIS, под ознаком ALIS 2.0.2, требало је да буде испоручена америчком ратном ваздухопловству приликом објављивања иницијалне оперативне готовости, али се то није десило, тако да је у употреби још увек стара верзија програма која још увек није у стању да прихвати и обради податке од компјутерског система који управља моторима Pratt and Whitney.

Компјутерски систем ALIS замишљен је тако да комбинује податке са компјутера у авиону са подацима из других компјутера и софтвера на копну ради формирања светске мреже која би била у могућности да изврши уплодовање и даунлодовање података за сваки лет ловца F-35, врши дијагностиковање одржавања, додељује задатке одржавања посадама механичара, прати све инсталације хардвера и софтвера, прати све модификације на авиону и налаже све превентивне радње одржавања.

Овај комплексни компјутерски систем има 24 милиона линија компјутерског кода (поређења ради Windows 7 оперативни систем садржи око 40 милиона линија компјутерског кода), што подразумева врло сложене и обимне хардверске поставке. Најновија хардверска верзија компјутерског система ALIS је много мања од првобитних огромних и тешко покретних хардверских јединица са истом наменом, али је и даље потребна инсталација компјутерског система тамо где ће се налазити авиони F-35. Овај услов подразумева да је, приликом употребе, потребно 24 часа да се пребаце подаци са сваког авиона на нови компјутерски систем ALIS. Дакле, у случају пребацивања ловца F-35 у нову базу губи се цео дан у пребацивању података у нови ALIS, а током 24 часа могуће је пребацивати податке са само једног авиона у исто време. У случају пребацивања ескадриле од 12 ловаца F-35 у нову базу, која би, на пример, била ближа борбеној линији, било би потребно скоро две недеље пребацивања података за све авионе како би уопште могао започети процес сервисирања авиона.

С обзиром на то да компјутерски систем ALIS врши пребацивање тајних података са мисија, компјутери морају бити смештени у безбедне просторе – просторије за специјалан приступ програму, које су смештене у модификоване бродске контејнере. Ови контејнери су не само велики него њима управљају и посебне екипе обучених цивилних оператора које је, такође, потребно пребацивати у близину потенцијалног бојишта. Ради се о екипама из компаније Lockheed Martin, али и екипама из компаније Pratt and Whitney који су задужени за одржавање мотора. С обзиром на ове околности, потребно је базирати све ове ресурсе на безбедној (и удаљенијој) локацији у односу на бојиште, што доводи до споријег времена одзива и великог ослањања на транспортну авијацију.

Питање будућег развоја

Програм развоја ловца F-35, верзија Block 3F, представља циљ, односно авион са оперативним способностима, а очекује се да ће тестирање ове коначне верзије почети крајем 2018. године, што се тренутно сматра недостижним.


Да би ствари биле још компликованије, људство запослено на развоју програма почиње да се осипа. Особље за одржавање, инжењери и аналитичари почињу добијати отказе због проблема са финансирањем, док неки превентивно дају отказ и покушавају да нађу друге послове због неизвесности реализације програма.

Званичници који се налазе на челу програма развоја JSF у влади, као и у компанији Lockheed Martin покушавају да натерају амерички конгрес да дозволи куповину 465 ловаца F-35, што се сада, доласком новог америчког председника Доналда Трампа, доводи у питање с обзиром на његово негативно мишљење о авиону. Америчка државна ревизорска кућа већ је изнела процену да ће бити потребно око 1,7 милијарди долара за модернизовање само оних авиона који су већ израђени ради исправке утврђених недостатака. Ови трошкови наставиће да расту како се буде повећавао број произведених ловаца

У употреби широм света данас се налази 175 ловаца F-35. Пентагон ће добити 80 нових ловаца F-35 током 2017. године, а очекује се још 100 ловаца током 2018. године. Тада ће укупно бити 355 ловаца који ће у једном тренутку морати да се врате у базу на модернизацију (углавном софтверску), а тек ће се видети да ли постоје и које су следеће грешке. Након тога следи оперативно тестирање и евалуација која не може бити завршена пре краја 2021. године, што значи да највећи број од 355 ловаца неће бити борбено способан, можда чак и до 2024. године.

Нова америчка администрација председника Доналда Трампа још није одлучила шта ће се десити са овим програмом, једним од најскупљих икада када је у питању набавка авиона за америчке оружане снаге. Први коментари новог америчког председника свакако нису позитивни.

Драган М. Вучковић (*Dragan M. Vučković*),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,

ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0003-1620-5601>

Успешно реализован приказ „Челик 2017”

У оквиру комплекса Центра за испитивање наоружања и војне опреме „Никинци”¹, 9. маја успешно је реализован приказ „Челик 2017”, у оквиру којег су приказани системи различитих намена из развоја, односно они којима јединице Војске Србије већ располажу, као и део оперативних способности јединица Војске Србије и Министарства унутрашњих послова. Свечаност и приказ организовани су поводом обележавања Дана Војске Србије, Дана победе и Дана Европе. У оквиру динамичког дела гледаоцима је приказана употреба 26 система националне наменске индустрије, док је у реализацији активности учествовало око 550 припадника Војске Србије и Министарства унутрашњих послова. Приказом је командовао бригадни генерал Илија Тодоров, који је истакао да је у питању изузетно сложена активност, чија успешна реализација зависи од многобројних фактора, пре свега темељних припрема и обучености кадра. Највећи обим активности реализован је на тзв. пласману „С”, у присуству највиших државних руководилаца и гостију из земље и иностранства.

Активности су реализоване у оквиру сценарија приказа, према којем је на зону одбране бригаде Копнене војске отпочео напад ојачане механизоване бригаде. Ради извођења операције организован је оперативни центар командног места бригаде Копнене војске, а у оквиру приказа обучени војници демонстрирали су изузетну координацију оперативних активности, посебно примање и обраду информација, издавање, преношење и разумевање наређења.



*Распоредивање стрелача на ватреној линији.
Фото: Милош Јевтић*

¹ Центар је основан решењем тадашњег заменика савезног секретара за Народну одбрану од 3. 5.1951. године под називом „Централни полигон Генералне дирекције индустрије муниције”.

Динамички део приказа отпочео је распоређивањем оклопних вишенаменских возила точкаша 8×8 „лазар 3” у верзији оклопни транспортер из којег су се на ватрену линију распоредили припадници Специјалне антитерористичке јединице (САЈ) Министарства унутрашњих послова, наоружани системима „Colt M-4 A-4”, као и компактнијим верзијама „Commando”, сви у калибру 5,56 mm, и опремљени „red dot” нишанима „Aimpoint CompM3”, односно припадници 72. извиђачко-диверзантског батаљона Специјалне бригаде Војске Србије, опремљени системима „Heckler&Koch 416 D14.5RS” 5,56 mm, са монтираним рефлексним нишанима „Aimpoint CompM4”. Истовремено, из пристиглог вишенаменског борбено-оклопног возила 4×4 „милош” на ватрену линију пристигли су стрелци опремљени модернизованим модуларним пушкама „грндел” у калибру 6,5 mm, произвођача „Застава оружје” који су се придружили специјалистима снајперизма на средини ватрене линије. Тројица специјалиста су овом приликом носили маскарна одела „ghillie” произвођача „Миле Драгић”, а за потребе гађања снајперски пар употребио је антимаеријалну пушку за прецизно гађање „застава М-12 Црно копље”, са системом мануелног репетирања (енг. bolt action) и у моћном калибру 12,7 mm, у конфигурацији са оптичким нишаном произвођача „Застава оружје”, као и „репетирку” „М-07” коју је такође произвела „Застава оружје” у калибру 7,62×54 mm R, са монтираним оптичким нишаном „Swarovski X5 5-25×56 P”. Вођа снајперског пара обавештавао је стрелце о тренутним параметрима употребом ручног дневно-ноћног ласерског даљиномера. Гледаоци су, такође, имали прилику да виде дејство аутоматске пушке 6,5 mm „грндел” у ситуацији када стрелац делује иза заклона употребом видео-нишана, односно у садејству са извиђачем опремљеним ручним термовизијским двогледом средњег домета.

Стрелци су гађали стационарне мете у оквиру метне ситуације која је садржала 40 мета са леве стране на растојањима 100 и 150 метара, односно 20 мета са десне стране на дистанцама 100, 200, 300 и 500 метара. Погоци мета на удаљености од 1.200 метара реализовани су употребом система „застава М-12 Црно копље”, док су употребом „застава М-07” успешно гађане мете на 1.000 метара. Модуларним пушкама у калибру 6,5 mm „грндел” у „снајперској” верзији успешно су гађане мете на 800 метара, што је још једном потврдило квалитет пушчаних система и оптичких нишана, али и балистичких карактеристика овог калибра. Након потврде свих погодака стрелаца реализовано је гађање употребом даљински управљаних борбених станица са распоређених возила. Мете на удаљености од 500 метара гађане су кратким рафалима изузетно прецизно.



*Приказ употребе даљински контролисаног БЗВ „Мали Милош”.
Фото: Милош Јевтић*

Након тога приказана је употреба даљински контролисаног беспосадног земаљског возила „мали милош”, које је развио Војнотехнички институт, а производи „Прва петолетка – Наменска”. Систем је примарно намењен за уништавање и онеспособљавање појединачних и групних циљева на даљинама до 800 метара, а у основној верзији опремљен је митраљезом ПКТ 7,62 mm, као и бацачем граната РБГ 40 mm/6 М-11. Осматрачко-нишански систем састоји се од широкоугаоне и ускоугаоне дневне камере, термовизијске камере, као и ласерског даљиномера.

Затим је наступило модернизовано борбено оклопно возило „М-11”, намењено команданту пешадијског батаљона са даљински управљаном борбеном станицом. Гађање је, уз изузетну прецизност погодака, реализовано употребом митраљеза 7,62 mm, као и бацача граната 40 mm. Модернизовано возило карактерише унапређена балистичка и противминска заштита, што је постигнуто и увођењем модуларног оклопа који на предњој страни обезбеђује заштиту од пројектила 14,5 mm², на бочној страни заштиту од пројектила 12,7 mm, док на задњој и горњој страни штити од пројектила 7,62 mm³. Возило је опремљено и системом независног напајања, системом за климатизацију, визуелизацију и вожњу у дневним, ноћним и другим условима.

На пласман „С” затим је изашло возило „лазар 3”, које производи „Југоимпорт СДПР”, опремљено топом 30 mm, примарно намењено за

² Заштита IV нивоа према СТАНАГ 4569.

³ Заштита III нивоа према СТАНАГ 4569.

уништавање незаклоњене и заклоњене живе силе, лакооклопљених техничких средстава, као и лакоутврђених објеката на даљинама до 3.000 метара, затим бацачем граната 40 mm и митраљезом 7,62 mm. Гађање мета на даљини од 1.500 метара реализовано је кратким рафалима и уз високу прецизност погодака.



*Приказ употребе система „ПАСАРС 16“.
Фото: Милош Јевтић*

Наредна активност реализована је употребом самоходног артиљеријско-ракетног система ПВО „ПАСАРС 16“, који је опремљен противавионским топом 40 mm ефективног домета до 4 km, као и системом за управљање ватром у дневним и ноћним условима и ласерским даљиномером. Систем који се, поред осталог, одликује и одличним ванпутним перформансама, развио је Војнотехнички институт (ВТИ), а у оквиру приказа посада је реализовала гађање мете на даљини од 1.500 метара јединачном и рафалном паљбом од 5 метака, уз изузетну прецизност погодака. Модернизацијом система унапређене су и карактеристике основног и допунског оклопа који на предњој страни возила обезбеђује заштиту од пројектила 12,7 mm, односно 7,62 на осталим странама, као и капацитети радара „жирафа“ који омогућава праћење, навођење и гађање циљева у ваздушном простору.



Излазак тенкова на Пласман „С”. Фото: Милош Јевтић

Изузетно атрактиван био је и приказ употребе тенкова „М-84”, „М-84 А”, као и модернизоване верзије „М-84 АС-1”, односно борбеног возила пешадије (БВП) „М-80 АБ-1”. Тенковске посаде реализовале су гађање противавионским митраљезима, док је модернизовани „АС-1” гађао преко даљински управљане борбене станице. Затим су тенкови гађали главним наоружањем мете на даљини од 1.500 метара, односно мете у тунелу на даљини од 500 метара. Модернизована верзија „АС-1” одликује се и знатно унапређеним системом заштите који чине експлозивно-реактивни оклоп и решеткасти оклоп за заштиту од пројектила испалених из ручних ракетних бацача (РРБ). Тенк је опремљен и оптоелектронским заштитним системом, затим детектором радарског озрачења, GPS-ом, као и термовизијском камером у нишанској справи.

Сигнал „Челик 1” означио је почетак нове активности чији је сценарио садржао тактичке супозиције према којима је у рејону села Грабовци примећено кретање три непријатељева оклопна транспортера. Овом приликом ангажовани су хеликоптери „НН 42/45 Gamma” који су успешно гађали „транспортере” на даљини од 1.500 метара противоклопним вођеним ракетама типа „9М 14М”. Поменути хеликоптери примарно су намењени за уништавање непријатељеве оклопљене борбене технике и утврђених објеката, односно пружање ваздухопловне ватрене подршке у „помоћној” намени.

Сигнал „Челик 2” означио је почетак активности у оквиру које су се могла видети дејства авиона Ратног ваздухопловства и противваздухопловне одбране Војске Србије.

Јављањем сигнала „Челик 3” приказано је дејство ракетног система АЛАС, намењеног за гађање покретних и непокретних циљева на земљи и води. Основна предност система јесте способност гађања циљева ван визуелног контакта по координатама добијеним од артиљеријских осматрача, односно других извиђачких система. Лансер се, такође, одликује и изузетном аутоматизацијом функција. Према сценарију, у рејону села Трбушац примећена је колона моторних возила којима се превозила

муниција и УБС⁴. У оквиру приказа реализовано је гађање ове покретне мете на даљини од око 12 km.

Сигналом „Челик 4” приказана је употреба модернизованог самоходног противоклопног лансера ракета М83/16 и дејство на, у оквиру сценарија, три оклопна возила точкаша на правцу Грабовци–Витојевци. Поменути систем намењен је за гађање оклопљених и заштићених циљева. Главно наоружање подразумева 6 ракета из фамилије „маљутка”, међу којима посебно треба истаћи противоклопну ракету великог домета и велике убојите моћи „маљутка 2Т5”. Споредно наоружање чини митраљез „застава М-86” у калибру 7,62 mm.

У оквиру наредног сценарија примећене су четне колоне при развођењу пешадијског батаљона ради увођења у борбу. Јављањем сигнала „Челик 5” приказана је употреба система за навођење артиљерије УПАРС, који је, у оквиру сценарија, уочио циљ, одредио координате, затим прорачунао и проследио координате и друге елементе гађања на конзолу комуникационо-информационог система самоходне хаубице НОРА Б-52, калибра 155 mm. У оквиру приказа испалени су пројектили са барутним пуњењем – зона 8.



*Самоходна хаубица НОРА Б-52, калибра 155 mm.
Фото: Милош Јевтић*

Последњи сигнал „Челик 6” јављен је након успешно реализованих приказа дела оперативних способности мешовитих снага, састављених од припадника јединица Војне полиције, противтерористичког тима Батаљона војне полиције специјалне намене – „Кобре”, припадника 63. падобранског батаљона Специјалне бригаде, као и антитерористичких група Специјалне антитерористичке јединице МУП-а и Батаљона за противтерористичка

⁴ Убојита борбена средства.

дејства – „Соколови” Специјалне бригаде Војске Србије. Према сценарију у рејону села Прово уочен је ватрени положај батерије СВЛР⁵, са проценом да је у питању ватрени положај бригадне артиљеријске групе. Систем „УПАРС” извршио је претходну припрему и прорачунао елементе за гађање, те их проследио на ватрени положај јединица ракетне артиљерије, сачињен од модернизованог вишецевног ракетног система „огањ”, који је гађање реализовао ракетама М-91 122/128 mm, као и ракетног самоходног вишецевног модуларног система „Морава” који је гађао ракетама „пламен Д”. Систем „Огањ” и систем „Морава” намењени су за општу ватрену подршку јединица бригадног нивоа.

Приказ оперативних способности мешовитих снага

Приказ оперативних способности мешовитих снага испратио је, у улози спикера, пуковник Горан Десанчић. Тактичке супозиције сценарија предвиђале су повлачење непријатеља ради организовања одбране. Оперативним радом утврђено је да се непријатељ повлачи у мањим групама, те да на линији повлачења плански распоређује диверзантско-терористичке групе ради успоравања напредовања мешовитих специјалних снага и омогућавања припремања одбране главнине сопствених снага. Користећи модерне извиђачке системе, поред осталог и беспилотне летелице кратког долета „врабац”, мање извиђачке јединице уочиле су да мања група напредује у отетом путничком возилу. Јединице Војне полиције су, у оквиру сценарија, биле ангажоване на борбеној контроли територије у зони операције. Примарно наоружање војних полицајаца овом приликом чинили су системи М-21 у калибру 5,56 mm, произвођача „Застава оружје”. Вод војне полиције успоставио је контролни пункт на правцу комуникације ка селу Никинци. Приликом заустављања путничког возила ради обављања контроле због прегледа лица и возила пронађене су аутоматске пушке на задњем седишту возила. У складу са војнополицијским овлашћењима, лица путничког возила стављена су под контролу ради привођења органама судске власти у зони операције.

Припадници Баталјона војне полиције специјалне намене – „Кобре” извели су приказ напада на отето путничко возило ради хапшења или неутрализације непријатеља. За потребе приказа елитни војници били су опремљени различитим системима пешадијског наоружања, попут источнонемачке АК 47, у калибру 7,62 mm, аутомата НК MP5 А3, у калибру 9 mm са телескопским кундаком, а у конфигурацији са холографским нишаном „ЕОТех XPS2-0” и журишним рукохватом, као и полуаутоматским пиштољима „Glock 17 Gen 4” у истом калибру, одложеним у холстере „BLACKHAWK! Serpa Tactical Level 2”. У оквиру приказа ваздухопловно обезбеђење рејона вршио је хеликоптер „газела”.

⁵ Самоходни вишецевни лансер ракета.

Друга уочена диверзантско-терористичка група заузела је неколико објеката, а оперативним радом је утврђено да су терористи наоружани аутоматским дугоцевним оружјем. Ради извршавања шире блокаде рејона ангажовани су падобранци 63. падобранског батаљона који су извели десант употребом специјалних падобрана типа „крило МЦ-04”. За потребе приказа падобранци су носили униформе у дигиталној руралној маскарној шари „М-10”, која је усвојена као стандардна у Војсци Србије, а развио ју је произвођач „Јумко АД” у сарадњи са стручњацима ВТИ. Основно наоружање падобранаца чинили су системи „НК G-36 KV” у калибру 5,56 mm, односно аутомати „НК UMP” у калибру 9 mm, прилагођени потребама блиске борбе.

По доскоку падобрански тим је имао задатак да изврши ширу блокаду рејона, омогући увођење главних снага у борбу, односно онемогући извлачење терориста. Напад на запоседнуте објекте изведен је координирано из три правца и употребом четири борбено-оклопна возила М-11.



*Припадници БПТ изводе брзо спуштање из хеликоптера техником „fast rope”.
Фото: Милош Јевтић*

Дејство из треће димензије извели су припадници САЈ-а и Батаљона за противтерористичка дејства – „Соколови” брзим спуштањем помоћу конопца (енг. fast rope) са висине од око 20 метара. По спуштању специјалци су у напредовању ка објектима искористили БОВ као заклон. Ваздухопловну ватрену подршку све време је обезбеђивао хеликоптер „газела”. Један од терориста покушао је бекство, те је ради хватања и

стављања под контролу употребљен и службени пас нападач, расе немачки овчар, из тзв. радне линије. Напредовање мешовитих снага за упад маскирано је и употребом димних средстава. Том приликом припадници САЈ-а носили су црне тактичке комбинезоне „GK Pro”.




Извођење динамичког упада у објекте које је запосела диверзантско-терористичка група. Фото: Милош Јевтић

Основно наоружање припадника САЈ чинили су системи „Colt M-4 A-4”, као и компактнији модели „Commando”, прилагођени потребама блиске борбе, док су „Соколови” овом приликом одабрали поуздане системе „HK G-36 Commando”, у калибру 5,56 mm, који су иначе и основни системи у употреби у елитном батаљону у категорији аутоматских пушака, односно борбену сачмарицу „Benelli M-4”, која је одличан избор када је неопходно одрадiti и „чишћење просторија” при упаду. За потребе блиске борбе системи „G-36 C” били су прилагођени монтирањем рефлексних нишана „Aimpoint CompM4” и јуришних рукохвата. Елитни „Соколови” носили су црне дводелне тактичке униформе произвођача „Миле Драгић”, у кроју „Dragon Tactical”, као и дводелне униформе у маскирној шари „M-10”, произвођача „Јумко АД”. Ради додатне балистичке заштите АТГ при извођењу динамичког упада употребљени су балистички штитови „Intruder”. При извођењу упада један војник је симулирао рањавање, те је командир тима, по иницијалном збрињавању, затражио санитарску евакуацију ваздушним путем. Ради тога употребљен је хеликоптер НТ 49, који се може употребити за транспорт људства (до 26 људи са опремом) и/или опреме, као и за потребе ваздухопловне ватрене подршке.

Приказом мешовитих специјалних снага командовали су пуковник Драган Барашанин из САЈ-а и потпуковник Драган Кужет из Специјалне бригаде.

Након успешно реализованог динамичког приказа у оквиру комплекса Центра био је организован и тактичко-технички збор система који су били претходно приказани, односно изложени искључиво у оквиру ТТ збора. Присутни су могли детаљније да се упознају и са карактеристикама модернизованих пушчаних система произвођача „Застава оружје”, затим различитим уређајима компаније „Телеоптик жироскопи”, системима „Прве петолетке – Наменска”, односно „Југоимпорт СДПР” и другима.

Милош М. Јевтић (Miloš M. Jevtić),
уредник сајта *specijalne-jedinice.com*,
e-mail: *info@specijalne-jedinice.com*,
ORCID iD:  <http://orcid.org/0000-0002-1305-7618>

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА
ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЈА 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 / Vojnотехнички гласник / Military Technical Courier (втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – штампано издање, е-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, те остала теоријска и практична достигнућа која доприносе усавршавању свих припадника српске, регионалне и међународне академске заједнице, а посебно 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 2014. годину:

за област технолошки развој:

– **на листи часописа за материјале и хемијске технологије:**

категирија водећи научни часопис националног значаја (**M51**),

– **на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:**

категирија научни часопис националног значаја (**M52**),

– **на листи часописа за машинство:**

категирија научни часопис националног значаја (**M52**),

за област основна истраживања:

– **на листи часописа за математику, рачунарске науке и механику:**

категирија научни часопис националног значаја (**M52**).

Усвојене листе домаћих часописа за 2014. годину могу се видети на сајту Војнотехничког гласника, страница Категоризација часописа (Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије још увек није објавило званичну категоризацију научних часописа за 2015. и 2016. годину).

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 М51) и 1,5 бод (категирија М52).

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 (Clarivate Analytics) 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 и политика самоархивирања**.

Радови се предају путем онлајн система за електронско уређивање ASEESTANT, који је развио Центар за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН).

Приступ и регистрација за сервис врше се на сајту www.vtg.mod.gov.rs, преко странице ASEESTANT 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 – ASEESTANT.

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 испишује 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 испишују у оригиналном облику (са српским дијакритичким знаковима), независно од језика на којем је написан рад.

Назив установе аутора (афилијација)

Наводи се пун (званични) назив и седиште установе у којој је аутор запослен, а евентуално и назив установе у којој је аутор обавио истраживање. У сложеним организацијама наводи се укупна хијерархија (нпр. Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра природно-математичких наука). Бар једна организација у хијерархији мора бити правно лице. Ако аутора има више, а неки потичу из исте установе, мора се, посебним ознакама или на други начин, назначити из које од наведених установа потиче сваки од наведених аутора. Афилијација се испишује непосредно након имена аутора. Функција и звање аутора се не наводе.

Контакт подаци

Адреса или е-адреса свих аутора даје се на првој страници чланка.

Категорија (тип) чланка

Категоризација чланака обавеза је уредништва и од посебне је важности. Категорију чланка могу предлагати рецензенти и чланови уредништва, односно уредници рубрика, али одговорност за категоризацију сноси искључиво главни уредник.

Чланци у часописима се разврставају у следеће категорије:

Научни чланци:

1. оригиналан научни рад (рад у којем се износе претходно необјављивани резултати сопствених истраживања научним методом);
2. прегледни рад (рад који садржи оригиналан, детаљан и критички приказ истраживачког проблема или подручја у којем је аутор остварио одређени допринос, видљив на основу аутоцитата);
3. кратко или претходно саопштење (оригинални научни рад пуног формата, али мањег обима или прелиминарног карактера);
4. научна критика, односно полемика (расправа на одређену научну тему, заснована искључиво на научној аргументацији) и осврти.

Изузетно, у неким областима, научни рад у часопису може имати облик монографске студије, као и критичког издања научне грађе (историјско-архивске, лексикографске, библиографске, прегледа података и сл.) – дотад непознате или недовољно приступачне за научна истраживања.

Радови класификовани као научни морају имати бар две позитивне рецензије.

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 уредништава 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 поднааслова, 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.

За слике и графиконе не сме се користити снимак са екрана рачунара програма за прикупљање података. У самом тексту чланка препоручује се употреба слика и графикона непосредно из програма за анализу података (као што су Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot и други).

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 поменутиm 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 (само за ауторе из Републике Србије и по посебном захтеву уредника)


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.

Сви радови подлежу стручној рецензији.

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.: војни 23-720 (011/3201-720),
011/3241-311, 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), втг.мо.упр.срб, 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, который публикует научные и профессиональные статьи, а также техническую информацию о современных системах вооружения и современных военных технологиях. Журнал следит за единой межвойсковой технической поддержкой вооруженных сил, основанной на принципах системной логистики, за прикладными и инновационными научными исследованиями, в том числе, в области производства военного оборудования и средств вооружения, и за прочими теоретическими и практическими достижениями, которые способствуют профессиональному совершенствованию представителей сербского, регионального и международного академического сообщества, и особенно служащих 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 2014 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 2014 год можно посмотреть на странице сайта Военно-технического вестника Категоризация вестника (Министерством просвещения, науки и технологического развития Республики Сербия пока не производилось официальное ранжирование научных журналов за 2015 и 2016 год.).

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 (Clarivate Analytics).

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 и политика самоархивирования**, 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 A4 с пробелом Single).

Статья должна быть написана на образце написания статьи, который можно скачать на странице сайта «Правила и образец составления статьи».

Заголовок

Заголовок должен отражать тему статьи. Интересы журнала и автора состоят в использовании слов, удобных для индексации и поиска. Если такие слова не содержатся в заголовке, то желательно добавить и подзаголовок. Заголовок должен быть переведен на английский язык. Эти заголовки пишутся перед сюжетами на соответствующем языке.

Текущий заголовок

Текущий заголовок пишется в титуле каждой страницы статьи с целью упрощения идентификации, в первой очереди копий статьей в электронном виде. Содержит в себе фамилию и инициал имени автора (в случае если авторов несколько, остальные обозначаются с «et al.» или «и др.»), заголовки работы и журнала (год, объем, тетрадь, начальная и заключительная страница). Заголовки журнала и статьи могут приводиться в сокращенном виде.

ФИО автора

Приводятся полная фамилия и полное имя (всех) авторов. Очень желательно, чтобы были приведены и средние буквы авторов. Фамилия и имя отечественных авторов всегда пишутся в оригинальном виде (с сербскими диакритическими знаками), независимо от языка, на котором работа написана.

Наименование учреждения автора (аффилиация)

Приводится полное (официальное) наименование и местонахождение учреждения, в котором работает автор, а также наименование учреждения, в котором автор провел исследование. В случае сложных организаций приводится общая иерархия (напр. Университет обороны в г. Белграде, Военная академия, Кафедра военных электронных систем). По крайней мере, одна из этих организаций в иерархии должна иметь статус юридического лица. В случае если авторов несколько, и если некоторые работают в одном учреждении, нужно отдельными обозначениями или каким-нибудь другим способом указать в каком из приведенных учреждений работает каждый из приведенных авторов. Аффилиация пишется непосредственно после ФИО автора. Должность и квалификация по образованию не указываются.

Контактные данные

Почтовый адрес и/или электронный адрес авторов указываются на первой странице статьи.

Категория (тип) статьи

Категоризация статьей 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 (заголовков, ФИО авторов и др.) и ключевыми словами, за которыми следует текст статьи. Если работа написана на сербском (русском, немецком или французском) языке, желательно, чтобы кроме сюжета на сербском (русском, немецком или французском) был предоставлен и сюжет в расширенном виде на английском языке – в качестве т.н. резюме (summary). Такой резюме должен находиться в конце статьи, после раздела Литература. Важно, чтобы резюме было в структурированном виде, и его длина может составлять до 1/10 длины статьи (оно более обширно, чем сюжет из начала статьи). Началом данного резюме может быть переведенный сюжет (из начала статьи), а затем должны следовать переведенные главные заголовки, подзаголовки и основы заключения статьи (литература не переводится). В структурированном резюме нужно перевести часть текста под заголовком и заголовком, принимая во внимание, чтобы она была пропорциональна их размеру и в то же время отражала суть.

Ключевые слова

Ключевыми словами являются термины или фразы, адекватно представляющие содержание статьи, необходимое для индексирования и поиска. Их надо присуждать, опираясь при этом на какой-то международный источник (регистр, словарь, тезаурус), наиболее приемлемый внутри данной научной области. Число ключевых слов не может превышать 10, а в интересах редакции и авторов, чтобы их частота была как можно больше. Ключевые слова даются на языке, на котором написана статья (сюжет), и на английском языке. В статье они пишутся непосредственно после сюжета, т.е. после резюме.

Программа ASSESTANT предоставляет возможность использования сервиса KWASS: автоматическое фиксирование ключевых слов из источников/словарей по выбору, т.е., которые автор/редактор воспринимает или нет.

Дата получения статьи

Дата, когда редакция получила статью, дата, когда редакция окончательно приняла статью для опубликования, а также даты, когда за истекший период были предоставлены эвентуальные исправления рукописи, приводятся в хронологическом порядке, на постоянном месте, как правило, в конце статьи.

Выражение благодарности

Наименование и номер проекта, т.е. название программы, в которой статья возникла, как и наименование учреждения, которое финансировало проект или программу, приводятся в отдельном примечании на постоянном месте, как правило, внизу первой страницы статьи.

Предыдущие версии работы

В случае если статья в предыдущей версии была изложена в устном обращении (под одинаковым или похожим названием), сведение об этом должно быть указано в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи. Работа, которая уже опубликована в некотором из журналов, не может быть опубликована в Военно-техническом вестнике (перепечатана), ни под похожим названием, ни измененном виде.

Табличное и графическое представление

Желательно, чтобы названия всех представлений (по возможности и текстуальное содержание) были представлены на двух языках (на языке работы и на английском). Таблицы пишутся таким же способом как и текст и обозначаются порядковыми номерами с верхней стороны. Фотографии и рисунки должны быть понятны, наглядны и удобные для репродукции. Рисунки надо делать в программах Word или corel. Фотографии и рисунки надо поставить на желаемое место в тексте.

Для создания изображений и графиков использование функции снимка с экрана (скриншота) не допускается. В самом тексте статьи рекомендуется применение изображений и графиков, обработанных такими программами, как: Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot и пр.

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.

Все работы подлежат спец. рецензированию.

Список рецензентов Военно-технического вестника можно посмотреть на странице сайта Список рецензентов. Процесс рецензирования описан на странице сайта Правила рецензирования.

Почтовый адрес редакции:
«Вojнотехнички гласник»,
11000 Београд, ул. Браће Југовића 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 3241 311,
+381 64 8080 118

CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Act on scientific journal editing of the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, No 110-00-17/2009-01 of 9th July 2009. This Act aims at improving the quality of national journals and raising the level of their compliance with the international system of scientific information exchange. It is based on international standards ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 and ISO 5122 and their national equivalents.

The Military Technical Courier / Vojnotehnički glasnik (www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html, ВТГ.мо.унр.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 on modern weapon systems and military technologies. The journal covers inter-service technical support to the Army on the principle of logistic system support; fundamental, applied and development research; production and use of weapons and military equipment as well as other theoretical and practical achievements leading to professional development of all members of Serbian, regional and international academic communities, members of the Ministry of Defence and the Army of Serbia in particular.

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 2014

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 2014 can be viewed on the website of the Military Technical Courier, page Journal categorization (The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia has not yet published the official evaluation of scientific journals for 2015 and 2016.).

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. Clarivate Analytics) 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 and Self-archiving policy** 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.

For figures and graphs, proper data plot is recommended i.e. using a data analysis program such as Excel, Matlab, Origin, SigmaPlot, etc. It is not recommended to use a screen capture of a data acquisition program as a figure or a graph.

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.

All articles are peer reviewed.

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 3241 311,
+381 64 8080 118

Ликовно-графички уредник
мр *Небојша* Кујунџић
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Техничко уређење
Марија Марић
e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

Лектор
Добрила Милетић, професор
e-mail: dobрила.miletic@mod.gov.rs

Превод на енглески
Јасна Вишњић, професор
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, <http://orcid.org/0000-0003-1728-4743>

Превод на руски
Карина Аваџан, професор
e-mail: karinka2576@mail.ru
Оливера Хајдуковић, професор
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

Превод на немачки
Гордана Богдановић, професор
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Превод на француски
Драган Вучковић,
e-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:
Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN 2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динара,
Тираж: 150 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
Мария Марич
e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

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. - God. 1, br. 1 (1953) –
Beograd (Braće Jugovića 19) : Ministarstvo
odbrane Republike Srbije, 1953- (Beograd :
Vojna štamparija. - 24 cm

Размещено на сайте:
<http://www.vtg.mod.gov.rs>
Ежеквартально - Другое издание:
Военно-технический вестник (Online) = ISSN2217-4753
ISSN 0042-8469 = Военно-технический вестник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динаров

Тираж: 150 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
Marija Marić
e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

Proofreader
Dobriła Miletić BA
e-mail: dobrila.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: draganvuckovic@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:
Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN 2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Price: 350.00 RSD
Printed in 150 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