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

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

НАУЧНИ ЧАСОПИС МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Вол. 66, бр. 1
2018

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

1 2018

втг.мо.упр.срб

www.vtg.mod.gov.rs

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

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ

Том 66 № 1
2018

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
1 2018

втг.мо.упр.срб
www.vtg.mod.gov.rs

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

MILITARY TECHNICAL Courier

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

Vol. 66, Issue 1
2018

MILITARY TECHNICAL COURIER
2018
1

ВТГ.МО.УПР.СРБ
www.vtg.mod.gov.rs

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

ВОЈНОТЕХНИЧКИ ГЛАСНИК

НАУЧНИ ЧАСОПИС
МИНИСТАРСТВА ОДБРАНЕ
РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

ВОЛУМЕН 66 • БРОЈ 1 • ЈАНУАР-МАРТ 2018.

VOJNOTEHNIČKI glasnik

NAUČNI ČASOPIS
MINISTARSTVA ODBRANE
REPUBLIKE SRBIJE

VOLUMEN 66 • BROJ 1 • JANUAR-MART 2018.

втг.мо.упр.срб
www.vtg.mod.gov.rs
COBISS.SR-ID 4423938

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

ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
МИНИСТЕРСТВА
ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ
СЕРБИЯ

ТОМ 66•НОМЕР ВЫПУСКА 1•ЯНВАРЬ-МАРТ 2018.

MILITARY TECHNICAL Courier

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

VOLUME 66•ISSUE 1•JANUARY-MARCH 2018

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

Издавач:
МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
УНИВЕРЗИТЕТ ОДБРАНЕ У БЕОГРАДУ

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

Институт за научне информације
Директор
Проф. др Силва Добрић

ГЛАВНИ И ОДГОВОРНИ УРЕДНИК ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА
мр Небојша Гаћеша, потпуковник
e-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 одрамбене 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,
– мр Сергеј А. Аргунов, Хидрографско друштво, Санкт-Петербург, Руска Федерација, http://orcid.org/0000-0002-5264-6634,
– проф. др Исмат Бег, Економски факултет у Лахореу, Лахоре, Пакистан, http://orcid.org/0000-0002-4191-1498,
– проф. др Стеван М. Бербер, Универзитет у Окланду, Одсек за електротехничко и рачунарско инжењерство, Окланд, Нови Зеланд, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088,
– проф. др Сања Вранеш, Институт „Михајло Пупин“, Београд, http://orcid.org/0000-0002-7054-6928,
– проф. др Леонид И. Гречихин, Белоруска државна ваздухопловна академија, Минск, Република Белорусија, http://orcid.org/0000-0002-5358-9037,
– проф. др Александр В. Дорохов, Национални економски универзитет у Харкову, Харков, Украјина, 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 Жегарац, 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 Вукица М. Јовановић, Old Dominion University Норфолк, САД, 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, Универзитет у Кранфилду, Кранфилд, Велика Британија, 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, Биласпур (Chhattisgarh), Индија, 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 Николај И. Сидњаев, Московски државни технички универзитет „Н. Е. Бауман“, Москва, Руска Федерација, https://orcid.org/0000-0002-5722-4553,
– проф. др Јонел Старецу, Трансилванијски универзитет у Брашову, Румунија, 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, Ахен, СР Немачка, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378,
– проф. др Мирослав Д. Трајановић, Универзитет у Нишу, Машински факултет, http://orcid.org/0000-0002-3325-0933,
– доц. др Вадим Л. Хаиков, Краснодар, Руска Федерација, http://orcid.org/0000-0003-1433-3562,
– проф. др Владимир Г. Чернов, Државни универзитет у Владимиру, Владимир, Руска Федерација, http://orcid.org/0000-0003-1830-2261,
– потпуковник мр 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
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

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

Рукописи се не враћају

Часопис излази тромесечно

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

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

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

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

Издательство:
МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕРБИЯ
УНИВЕРСИТЕТ ОБОРОНЫ В Г. БЕЛГРАД

РЕКТОР
Генерал-майор профессор д-р Младен Вуруна, http://orcid.org/0000-0002-3558-4312

Институт научной информации
Директор
Профессор д-р Силва Добрич

ГЛАВНЫЙ И ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»
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
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
– Генерал-майор профессор д-р Боян Зрнич, начальник Управления оборонительных технологий при Департаменте материальных ресурсов Министерства обороны Республики Сербия, председатель Редакционной коллегии, http://orcid.org/0000-0002-0961-993X,
– Генерал-майор профессор д-р Младен Вуруна, ректор Университета обороны в г. Белград, заместитель председателя Редакционной коллегии, 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 Сергей А. Аргунов, Гидрографическое общество, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, http://orcid.org/0000-0002-5264-6634,
– Профессор д-р Исмат Бег, Экономический факультет в г. Лахор, шт. Пенджаб, Пакистан, http://orcid.org/0000-0002-4191-1498,
– Д-р Стеван М. Бербер, Оклендский университет, Департамент электроники и компьютерной инженерии, г. Окленд, Новая Зеландия, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088,
– Профессор д-р Саня Вранеш, Институт «Михайло Пупин», г. Белград, http://orcid.org/0000-0002-7054-6928,
– Профессор д-р Леонид И. Гречихин, Белорусская государственная академия авиации, г. Минск, Республика Беларусь, http://orcid.org/0000-0002-5358-9037,
– Профессор д-р Александр В. Дорохов, Харьковский национальный экономический университет, г. 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. Жегарац, Сербская академия изобретателей и ученых, г. 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. Йованович, Университет Олд Доминион, г. Норфолк, шт. Виргиния, США, 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. Бор, http://orcid.org/0000-0003-1893-7187,
– Д-р Славолюб С. Лекич, Белградский университет, Сельскохозяйственный факультет, http://orcid.org/0000-0002-4834-3550,
– Д-р Василий М. Манович, Центр горения, сбора и хранения углерода, Университет Кранфилд, г. Кранфилд, Великобритания, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717,
– Подполковник д-р Яромир Марес, Университет обороны в г. Брно, Чешская Республика, http://orcid.org/0000-0002-1337-3821
– Профессор д-р Градимир В. Милованович, член Сербской академии наук, г. Белград, http://orcid.org/0000-0002-3255-8127,
– Д-р Пенумартхи Парватеесам Муртхи, Университет Гуру Гхасидас Вишвавидялая, департамент фундаментальной и прикладной математики, г. Биласпур, шт. Чхаттисгарх, Индия, 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, г. 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 Николай И. Сидняев, Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация, https://orcid.org/0000-0002-5722-4553,
– Профессор д-р Ионел Старецу, Трансильванский университет в г. Брашов, Румыния, http://orcid.org/0000-0001-5947-7557,
– Научный советник д-р Сречко С. Стопич, Рейнско-Вестфальский технический университет г. Ахен, факультет георесурсов и технологии материалов, департамент металлургических технологий и обработки металлов, г. Ахен, ФРГ, 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,
– Кандидат технических наук, доцент Вадим Л. Хайков, г. Краснодар, Российская Федерация, http://orcid.org/0000-0003-1433-3562,
– Профессор д-р Владимир Г. Чернов, Владимирский государственный университет, г. Владимир, Российская Федерация, http://orcid.org/0000-0003-1830-2261,
– Подполковник кандидат наук Небойша Гачеша, редактор журнала «Военно-технический вестник», секретарь Редакционной коллегии, 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; № расчётного счёта: 840-312849-56
Присланные в редакцию журнала статьи не возвращаются.
Журнал выпускается ежеквартально
Первый номер журнала «Военно-технический вестник» 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.
Типография: Војна штампарија – Београд, Ресавска 40б, e-mail: vojna.stamparija@mod.gov.rs

Publisher:
MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
UNIVERSITY OF DEFENCE IN BELGRADE

Rector
Major General Mladen Vuruna, PhD, Professor, http://orcid.org/0000-0002-3558-4312

Institute for scientific information
Director
Professor Silva Dobrić, PhD

EDITOR IN CHIEF OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER
Lt Col Nebojša Gaćeša 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 Bojan 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
– Sergei A. Argunov, 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 G. Chernov, DSc, Vladimir State University, Department of Management and Informatics in Technical and Economic Systems, Vladimir, Russian Federation, 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, Belarusian State Academy of Aviation, Minsk, Republic of Belarus, http://orcid.org/0000-0002-5358-9037
– Vukica M. Jovanović, PhD, Trine University, Allen School of Eggineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
– Associate professor Vadim L. Khaikov, PhD, Krasnodar, Russian Federation, http://orcid.org/0000-0003-1433-3562,
– Assistant Professor Sanja Lj. 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
– Vasiliie 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 Penumarthy 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 Nikolay I. Sidnyaev, PhD, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation, https://orcid.org/0000-0002-5722-4553
– 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 "Mihajlo 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 Gaćeša, 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

С А Д Р Ж А Ј

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ

Сузана М. Алексић, Љиљана Р. Пауновић, Стојан Н. Раденовић, Франческа Ветро
Неке критичке напомене о раду „Белешка о метризабилности твп-конусних метричких простора” 1-8

Вадим Л. Хајков
Процена почетне брзине пројектила као решење проблема граничне вредности за две тачке 9-27

Михаило Р. Мрдак
Механичка својства и микроструктуре биоинертних слојева хром-оксидних превлака депонованих APS-процесом 28-40

Олгица Ж. Лазаревић, Боро М. Лазаревић
Одређивање динамичких карактеристика хидрауличких багера 41-62

ПРЕГЛЕДНИ ЧЛАНЦИ

Драгољуб М. Спасић
Нумеричко моделовање удара пројектила о металне структуре 63-105

Синиша М. Дробњак, Бранко С. Божић
Оцењивање положајне тачности дигиталне топографске карте у размери 1:25 000 (ДТК25) на основу стандарда СТАНАГ 2215 106-121

СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ

Драге Т. Петрески, Андреј П. Илиев, Елена М. Трајановска, Лазар Б. Ђуров, Александар С. Петровски
Побољшање техничких карактеристика хеликоптера Ми-8/17 у наоружању Војске БЈР Македоније 122-142

Милорад С. Маркагић
Компромитујућа електромагнетна зрачења – изазови, претње и заштита 143-153

Александар Ж. Дреновац, Братислав Ж. Дреновац
Анализа исплативости пројекта 154-169

САВРЕМЕНО НАОРУЖАЊЕ И ВОЈНА ОПРЕМА 170-206
Милош М. Јевтић, Драган М. Вучковић

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА 207-223

СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА 224-248

ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ 249-260

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Сузана М. Алексич, Лиляна Р. Паунович, Стоян Н. Раденович, Франческа Ветро
Некоторые критические замечания о работе «Заметки о метризуемости твп-конических пространств» 1-8

Вадим Л. Хайков
Оценка начальной скорости снаряда как решение двухточечной граничной задачи 9-27

Михаило Р. Мрдак
Механические характеристики и микроструктура биоинертных слоев хромоксидных покрытий, нанесенных воздушно-плазменным напылением 28-40

Олгица Ж. Лазаревич, Боро М. Лазаревич
Определение динамических параметров гидравлических экскаваторов 41-62

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

Драголюб М. Спасич
Численное моделирование удара снаряда по металлической структуре 63-105

Синиша М. Дробняк, Бранко С. Божич
Оценка позиционной точности на цифровой топографической карте масштаба 1:25 000 (ТК25), разработанной в соответствии со стандартом «STANAG 2215» 106-121

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Драге Т. Петрески, Андрей П. Илиев, Елена М. Траяновска, Лазар Б. Джуров, Александар С. Петровски
Повышение технических характеристик вертолета Ми-8/17 в процессе вооружения Армии БЮР Македония 122-142

Милорад С. Маркагич
Компрометирующее электромагнитное излучение – вызовы, угрозы и защита 143-153

Александар Ж. Дреновац, Братислав Ж. Дреновац
Анализ окупаемости инвестиционного проекта 154-169

СОВРЕМЕННОЕ ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 170-206
Милош М. Йевтич, Драган М. Вучкович

ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ 207-223

СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА» 224-248

КОДЕКС ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭТИКИ ЖУРНАЛА «ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК» 249-260

C O N T E N T S

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

Suzana M. Aleksić, Ljiljana R. Paunović, Stojan N. Radenović, Francesca Vetro
Some critical remarks on the paper “A note on the metrizability of tvs-cone metric spaces” 1-8

Vadim L. Khaikov
Estimate of projectile initial velocity as a solution of a two-point boundary value problem 9-27

Mihailo R. Mrdak
Mechanical properties and microstructures of bio-inert layers of chrome oxide coatings eposited by the APS process 28-40

Olgica Ž. Lazarević, Boro M. Lazarević
Determining the dynamic characteristics of hydraulic excavators 41-62

REVIEW PAPERS

Dragoljub M. Spasić
Numerical modeling of the impact of projectiles on metal structures 63-105

Siniša M. Drobnjak, Branko S. Božić
Evaluation of positional accuracy of digital topographic maps at scale 1:25 000 (DTM25) on the basis of STANAG 2215 standard 106-121

PROFESSIONAL PAPERS

Drage T. Petreski, Andrej P. Iliev, Elena M. Trajanovska, Lazar B. Gjurov, Aleksandar S. Petrovski
Improved technical characteristics of the Mi-8/17 in the Army of FYR Macedonia 122-142

Milorad S. Markagić
Compromising electromagnetic radiation - challenges, threats and protection 148-153

Aleksandar Ž. Drenovac, Bratislav Ž. Drenovac
Project profitability analysis 154-169

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT 170-206

Miloš M. Jevtić, Dragan M. Vučković

CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 207-223

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER 224-248

PUBLICATION ETHICS STATEMENT 249-260

ОРИГИНАЛНИ НАУЧНИ ЧЛАНЦИ
ОРИГИНАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPERS

SOME CRITICAL REMARKS ON THE PAPER "A NOTE ON THE METRIZABILITY OF TVS-CONE METRIC SPACES"

Suzana M. Aleksić[a], *Ljiljana* R. Paunović[b], *Stojan* N. Radenović[c], *Francesca* Vetro[d]

[a] University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Mathematics and Informatics, Kragujevac, Republic of Serbia,
e-mail: suzanasimic@kg.ac.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-2176-5091,

[b] 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.

[c] University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: radens@beotel.net,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-8254-6688

[d] University of Palermo, Department of Energy, Information Engineering and Mathematical Models (DEIM), Palermo, Italy,
e-mail: francesca.vetro@unipa.it,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-7448-5299

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15128

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

Abstract:

This short and concise note provides a detailed exposition of the approach and results established by (Lin et al, 2015, pp.271-279). We show that the obtained results are not particularly surprising and new. Namely, using an old result due to K. Deimling it is indicated that tvs-cone metric spaces over

ACKNOWLEDGMENT: The first author is grateful for the financial support from the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Grant number #174024). The second author is grateful for the financial support from the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Grant number #174002).

solid cones are actually cone metric spaces over normal solid cones. Hence, there are only cone metric spaces over normal solid cones or over normal non-solid cones. One question still unanswered is whether an ordered topological vector space with a non-normal non-solid cone exists.

Key words: tvs-cone metric space, metrizable, solid, normal, non-normal.

Introduction, preliminaries and results

We will denote by E a topological vector space with the zero vector θ. A subset C of E is called a cone in E if and only if:

(a) C is nonempty and closed in E,

(b) $x, y \in C$ and $a, b \in R^+$ imply $ax + by \in C$,

(c) $x, -x \in C$ implies $x = \theta$.

For more details we refer the reader to (Ansari et al, 2016), (Deimling, 1985), (Filipović et al, 2011), (Janković et al, 2011), (Köthe, 1969), (Shaefer, 1971) and (Wong & Ng, 1973).

For a given cone C, a partial ordering $\leq$ with respect to C is introduced in the following way: $x \leq y$ if and only if $y - x \in C$. We write $x < y$ to indicate that $x \leq y$, but $x \neq y$. If $y - x \in \operatorname{int} C$, we write $x << y$. It is clear that < and << are not relations of partial order.

The pair (E, C) is called an ordered topological vector space. Throughout the paper, C stands for a solid cone, i.e. $\operatorname{int} C \neq \phi$. In most papers it turns out that this assumption is essential (Amini-Harandi & Fakhar, 2010), (Cakalli et al, 2012), (Du, 2010), (Proinov, 2013), (Khani & Pourmahdian, 2011), (Lin et al, 2015), (Simić, 2011), (Vandergraft, 1967) and (Zabrejko, 1997).

The following result from (Wong & Ng, 1973) is important in the framework of ordered topological vector spaces.

Proposition 1.1. Let (E, C) be an ordered topological vector space. Then e is an interior point of C, i.e., $e \in \operatorname{int} C$, if and only if

$$[-e, e] = \{x \in E : -e \leq x \leq e\} = (e - C) \cap (C - e)$$

is the neighborhood of θ.

Under the assumption $E \neq \{\theta\}$, we have the following corollary.

Corollary 1.2. Let (E, C) be an ordered topological vector space with $\operatorname{int} C \neq \phi$. Then

(a) $\theta \notin \operatorname{int} C$,

(b) $\lambda \operatorname{int} C = \operatorname{int} C$ if $\lambda > 0$ and $C + \operatorname{int} C = \operatorname{int} C$,

(c) (E, C) is Hausdorff ordered topological vector space.

Let us note that the property (c) is an immediate consequence of Theorem 2.1 (2) from (Jachymski & Klima, 2016).

For each $c \in \operatorname{int} C$ there exists a norm $\|\cdot\|_c$ on the vector space E where $\|\cdot\|_c$ is the Minkowski functional on $E = E_c = \underset{n \in N}{\cup} n[-c, c]$, i.e.,

$$\|x\|_c = \inf \{\lambda > 0 : x \in \lambda[-c, c]\}.$$

It is obvious that all norms $\|\cdot\|_c$, $c \in \operatorname{int} C$, are equivalent. Further, we get that $(E, \|\cdot\|_c, C)$ is an ordered normed space with the normal-solid cone C. For more details see (Deimling, 1985, pp.230, Proposition 19.9). Therefore, $\operatorname{int} C$ under the topology on E is a subset of $\operatorname{int} C$ under the norm topology, i.e., $(\operatorname{int} C)_E \subseteq (\operatorname{int} C)_{\|\cdot\|_c}$. However, the converse is also valid. Hence, $(\operatorname{int} C)_E = (\operatorname{int} C)_{\|\cdot\|_c}$.

From what has already been proved, it is clear that the notion of tvs-cone metric space in the sense of Du, see (Du, 2010), is the same as that of (Lin et al, 2015, Definition 2.3).

According to (Deimling, 1985) and (Kadelburg et al, 2016), we are thus led to the following strengthening conclusions.

Proposition 1.3. Each tvs-cone metric space over a solid cone in the sense of the both definitions (Du, 2010) and (Lin et al, 2015) is in fact a cone metric space over a normal solid cone. Therefore, the well known results, (Amini-Harandi & Fakhar, 2010), (Du, 2010), (Kadelburg et al, 2011), (Khani & Pourmahdian, 2011) give a positive answer to Question 1.1 that arises in (Lin et al, 2015).

Proposition 1.4. The claims from (Lin, 2015) are the immediate consequences of the corresponding results in the framework of cone metric spaces over normal solid cones, see (Huang & Zhang, 2007), (Janković et al, 2011), (Kadelburg et al, 2011), (Simić, 2011).

Proposition 1.5. If C is a solid cone in some ordered topological vector space E, then it is a normal solid cone under a suitable defined norm. For all details see (Deimling, 1985, Proposition 19.9).

Remark 1.6. It is worth pointing out that in (Du, 2010), (Fierro, 2016), (Kadelburg et al, 2016), (Lin et al, 2015) and (Simić, 2011) the assumption:

(E,C) is Hausdorff, is superfluous. Applying Corollary 1.2 (c) we conclude that the condition $\operatorname{int} C \neq \phi$ implies that the ordered topological vector space (E,C) is Hausdorff.

In the theory of abstract metric spaces, quite a few proofs are based on c-sequences introduced in (Alnafei et al, 2011). Namely, for a sequence $\{x_n\}$ in the solid cone C of a real ordered topological vector space E, we say that it is a c-sequence if for every interior point c of the cone C there exists $n_0 \in \mathbb{N}$ such that $x_n << c$ whenever $n \geq n_0$. If C is normal in E, then $\{x_n\}$ is a c-sequence if and only if $x_n \to \theta$ in E. However, if the cone C is a non-normal solid cone, then the previous is not true, i.e., a c-sequence does not always converge to θ as $n \to \infty$. We refer the readers to (Radenović et al, 2017), (Xu & Radenović, 2014), (Xu et al, 2016), (Đorđević et al, 2011) and (Kadelburg et al, 2011) for more details on c-sequences.

Theorem 1.7. Let $(E,\|\cdot\|)$ be an ordered (real) Banach space with the underlying solid cone C and $\{x_n\}$ be a sequence in C. Then $\{x_n\}$ is a c-sequence if and only if $\|x_n\|_e \to \theta$ as $n \to \infty$ where

$$\|x\|_e = \inf\{\lambda > 0 : x \in \lambda[-e,e], e \in \operatorname{int} C\},$$

i.e., $\|\cdot\|_e$ is the Minkowski functional.

Proof. First, $\|\cdot\|_e$ is a norm in E. If C is a normal solid cone, then this norm is equivalent to the given one, and $x_n \overset{\|\cdot\|}{\to} \theta$ if and only if $x_n \overset{\|\cdot\|_e}{\to} \theta$.

If C is not normal, then C is a normal and solid cone under the norm $\|\cdot\|_e$ for each $e \in \operatorname{int} C$. Since $\|\cdot\|$ and $\|\cdot\|_e$ give the same interior points, then by the first case $\{x_n\}$ is a c-sequence if and only if $\|x_n\|_e \to \theta$. Consequently, in each normal cone, the conditions $x_n \to \theta$ and $\{x_n\}$ is a c-sequence are equivalent.

Conclusion

Note that we have actually proved that there exist cone metric spaces over normal solid cones or over normal non-solid cones. Therefore, the

results obtained in (Lin et al, 2015) are not new but rather the consequences of known facts (Huang & Zhang, 2007), (Janković et al, 2011), (Kadelburg et al, 2011) and (Simić, 2011). We can conclude that the existence of ordered topological vector spaces with a non-normal non-solid cone is still an open question.

References

Alnafei, S.H., Radenović, S., & Shahzad, N., 2011. Fixed point theorems for mappings with convex diminishing diameters on cone metric spaces. *Appl. Math. Lett.,* 24 (2), pp.2162-2166. Available at:https://doi.org/10.1016/j.aml.2011.06.019.

Amini-Harandi, A., & Fakhar, M., 2010. Fixed point theory in cone metric spaces obtained via the scalarization method. *Comput. Math. Appl.,* 59 (11), pp.3529-3534. Available at: https://doi.org/10.1016/j.camwa.2010.03.046.

Ansari, A.H., Chandok, S., Hussain, N., & Paunović, L., 2016. Fixed point of weak contractions in regular cone. *Journal of Advanced Mathematical Studies,* 9 (1), pp.72-82.

Deimling, K., 1985. *Nonlinear Functional Analysis*.Springer-Verlag.

Du, W.S., 2010. A note on cone metric fixed point theory and its equivalence. *Nonlinear Anal.,* 72 (5), pp.2259-2261. Available at: https://doi.org/10.1016/j.na.2009.10.026.

Đorđević, M., Đorić, D., Kadelburg, Z., Radenović, S., & Spasić, D., 2011. Fixed point results under C-distance in TVS- cone metric spaces. *Fixed Point Theory and Applications,* 2011:29. Available at: https://doi.org/10.1186/1687-1812-2011-29.

Filipović, M., Paunović, Lj., Radenović, S., & Rajović, M., 2011. Remarks on ˝Cone Metric Spaces and Fixed Point Theorems of T-Kannan Contractive Mappings˝. *Mathematical and Computer Modelling,* 54 (5-6). Available at: https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.04.018.

Huang, L.G., & Zhang, X., 2007. Cone metric spaces and fixed point theorems of contractive mappings. *J. Math. Anal. Appl.,* 332 (2), pp.1468-1476. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2005.03.087.

Jachymski, J., & Klima, J., 2016. Cantor's intersection theorem for K-metric spaces with a solid cone and a contraction principle. *J. Fixed Point Theory Appl.,* 18 (3), pp.445-463. Available at: https://doi.org/10.1007/s11784-016-0312-1.

Janković, S., Kadelburg, Z., & Radenović, S., 2011. On cone metric spaces: A survey. *Nonlinear Anal.,* 74 (7), pp.2591-2601. Available at: https://doi.org/10.1016/j.na.2010.12.014.

Kadelburg, Z., Paunović, L., Radenović, S., & Rad, G.S., 2016. Non-normal cone metric and cone b-metric spaces and fixed point results. *Scientific publications of the state University of Novi Pazar, Ser. A: Appl. Math. Inform. And Mech.,* 8 (2), pp.177-186.
Available at: https://doi.org/10.5937/SPSUNP1602177K.

Kadelburg, Z., Radenović, S., & Rakočević, V., 2011. A note on the equivalence of some metric and cone metric fixed point results. *Appl. Math. Lett.,* 24 (3), pp.370-374. Available at: https://doi.org/10.1016/j.aml.2010.10.030.

Khani, M., & Pourmahdian, M., 2011. On the metrizability of cone metric space. *Topology Appl.,* 158 (2), pp.190-193. Available at: https://doi.org/10.1016/j.topol.2010.10.016.

Köthe, G., 1969. *Topological Vector Spaces I*.New York: Springer-Verlag, Inc..

Lin, S., Li, K., & Ge, Y., 2015. On the metrizability of tvs-cone metric spaces, Publication de l'Institut Mathématique. *Nouvelle série, tome,* 98 (112), pp.271-279. Available at: https://doi.org/10.2298/PIM1512271L.

Radenović, S., Vetro, F., & Xu, S., 2017. Some new results on perov type mappings. *J. Adv. Math. Stud.,* 10(3), pp.396-409.

Shaefer, H.H., 1971. *Topological Vector Spaces, 3rd ed*. New York: Springer.

Simić, S., 2011. A note on Stone's, Baire's, Ky Fan's and Dugundji's theorem in tvs-cone metric spaces. *Appl. Math. Lett.,* 24 (6), pp.999-1002. Available at: https://doi.org/10.1016/j.aml.2011.01.014.

Vandergraft, J.S., 1967. Newton's method for convex operators in partially ordered spaces. *SIAM J. Num. Anal.,* 4 (3), pp.406-432. Available at: https://doi.org/10.1137/0704037.

Wong, Y.C., & Ng, K.F., 1973. *Partially Ordered Topological Vector Spaces*.Oxford: Claredon Press.

Xu, S., & Radenović, S., 2014. Fixed point theorems of generalized Lipschitz mappings on cone metric spaces over Banach algebras without assumption of normality. *Fixed Point Theory Appl.,* 2014:102. Available at: https://doi.org/10.1186/1687-1812-2014-102.

Xu, S., Dolićanin, Ć., & Radenović, S., 2016. Some remarks on results of Perov type. *J. Adv. Math. Stud.,* 9 (3), pp.361-369.

Zabrejko, P.P., 1997. K-metric and K-normed linear spaces, survey. *Collect. Math.,* 48, pp.825-859.

НЕКОТОРЫЕ КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О РАБОТЕ «ЗАМЕТКИ О МЕТРИЗУЕМОСТИ ТВП-КОНИЧЕСКИХ ПРОСТРАНСТВ»

Сузана М. Алексич[а], *Лиляна* Р. Паунович[б], *Стоян* Н. Раденович[в], *Франческа* Ветро[г]

[а] Университет в г. Крагуевац, Естественно-математический факультет, Институт математики и информатики, г. Крагуевац, Республика Сербия,

[б] Университет в Пришстине–Косовской Митровице, Педагогический факультет в Призрене–Лепосавиче, г. Лепосавич, Республика Сербия,

[в] Белградский университет, Машиностроительный факультет, г. Белград, Республика Сербия,

[г] Университет в г. Палермо, Департамент энергетики, информационного инжиниринга и математичического моделирования, г. Палермо, Итальянская Республика

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

Резюме:

В представленных, в данной статье, заметках приведен подробный обзор методов и полученных результатов исследования группы авторов, во главе с Шой Линь (Lin et al, 2015, pp.271-279). Мы в свою очередь доказываем, что их результаты не являются инновационными. В частности, при применении известных результатов К. Деймлинга установлено, что ТВП-коничеческие метрические пространства с конусами с непустой внутренностью фактически являются метрическими пространствами с нормальной конической и непустой внутренностью. Следовательно, существуют только конические метрические пространства с нормальными конусами, внутренность которых непуста или конусами, которые нормальны, но с пустой внутренностью. До сих пор не установлено упорядоченное топологическое векторное простанство с конусом, который не является нормальным, а внутренность которого не пуста.

Ключевые слова: твп-коническое метрическое пространство, метризуемость, конус с непустой внутренностью, нормальный, ненормальный.

НЕКЕ КРИТИЧКЕ НАПОМЕНЕ О РАДУ „БЕЛЕШКА О МЕТРИЗАБИЛНОСТИ ТВП-КОНУСНИХ МЕТРИЧКИХ ПРОСТОРА”

Сузана М. Алексић[а], *Љиљана* Р. Пауновић[б], *Стојан* Н. Раденовић[в], *Франческа* Ветро[г]

[а] Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, Институт за математику и информатику, Крагујевац, Република Србија,

[б] Универзитет у Приштини – Косовској Митровици, Учитељски факултет у Призрену – Лепосавићу, Лепосавић, Република Србија
[в] Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд, Република Србија
[г] Универзитет у Палерму, Одсек за енергетику, информационо инжењерство и математичке моделе, Палермо, Италија

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

Сажетак:

Ова кратка и прегледна белешка даје детаљан извештај о приступу и резултатима до којих су дошли Шоу Лин и група аутора (Lin et al, 2015, pp.271-279). У чланку је показано да њихови резултати нису нарочито изненађујући и нови. У ствари, коришћењем једног познатог К. Демлинговог резултата назначено је да су твп-конусни метрички простори са конусима који имају непразну унутрашњост заправо конусни метрички простори са нормалним конусима и непразним унутрашњостима. Стога, постоје само конусни метрички простори са нормалним конусима чија унутрашњост није празна или са конусима који су нормални, али са празним унутрашњостима. Још увек се не зна да ли постоји уређен тополошки векторски простор са конусом који није нормалан и чија унутрашњост није празна.

Кључне речи: твп-конусни метрички простор, метризабилан, конус са непразном унутрашњошћу, нормалан, није нормалан.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 26.09.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 10.10.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 12.10.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

ESTIMATE OF PROJECTILE INITIAL VELOCITY AS A SOLUTION OF A TWO-POINT BOUNDARY VALUE PROBLEM

Vadim L. Khaikov
independent researcher, Krasnodar, Russian Federation,
e-mail: wadimhaikow@inbox.ru,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1433-3562

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-15097

FIELD: Mechanics - Ballistics
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The estimating of a projectile initial velocity is formulated as a two-point boundary value problem. To solve it, the data of a Doppler Radar or the results of solving the Cauchy problem can be used. The projectile initial velocity v_0 estimation process is based on the numerical solution of a system of ordinary differential equations and the bisection method. The iterative calculating process is interrupted when a predetermined accuracy of a projectile initial velocity and a predetermined value of the width of velocity's search interval is reached. In the article, the block diagram of the algorithm for the projectile initial velocity process is developed. The Mathcad program code for mathematical modeling and a computer simulation of the projectile initial velocity estimation process for a 57mm armor-piercing projectile of ZIS-2 anti-tank gun 1943 model is given.

Key words: applied external ballistics of barreled weapon, projectile initial velocity estimation process, mathematical modeling, computer simulation, Mathcad software.

Abbreviations

ADR – Artillery Doppler Radar
BC – ballistic coefficient
BVP – boundary value problem
IC – initial condition
IPV – instantaneous projectile velocity
ODE – ordinary differential equation
PIV – projectile initial velocity
TOF – time of flight.

Introduction

A large number of practical problems of external ballistics of barreled artillery systems require information about a projectile initial velocity (PIV), briefly denoted as v_0. This type of assessment is based on experimental data containing information about a projectile velocity[1] at trajectory points with known time or at trajectory points with known horizontal ranges. Typically, methods and devices that implement v_0 estimates use empirical mathematical dependencies based on assumptions about the nature of a projectile deceleration process (Alon, 1989), (Zaytsev et al, 2004) or general information about a law of frontal air resistance (Semenov, 2013).

The aim of this paper is to substantiate the PIV estimating process for tubed artillery based on the numerical solution of a two-point BVP. The PIV[2] estimating is based on:

- multiple repeated solution of the system of ordinary differential equations (ODEs) of the longitudinal movement of an artillery projectile using a method of numerical integration;
- comparison of the received result with the right boundary condition.

Unlike previously known solutions, the technique assumes the use of the actual law of air drag, ballistic coefficient (BC), atmospheric parameters and actual angle of departure. If necessary, this data can be corrected before the start of computational or physical experiments.

An instantaneous projectile velocity (IPV) as a function of time

It is known that the longitudinal motion of an artillery projectile (stabilized by rotation) in the Earth's atmosphere can be described by the system of ODEs with an independent argument time (*t*) (Burlov et al, 2006, p.249). Systems of ODEs (1) are obtained by assuming the absence of the influence of lifting and lateral forces. There is no wind effect.

[1] The article considers only the longitudinal motion of the artillery projectile. Projectile movements such as rotational, nutational and precessional movements are not taken into account.

[2] Under PIV or v_0 is meant a fictitious velocity for TOF t=0. Muzzle velocity is the actual velocity of the projectile that left a gun barrel. Information about PIV is used to calculate tabular (graphical) firing tables or for developing firing control equipment.

$$\begin{aligned}
\frac{dx}{dt} &= v\cos(\theta) \\
\frac{dy}{dt} &= v\sin(\theta) \\
\frac{d\theta}{dt} &= -\frac{g}{v}\cos(\theta) \\
\frac{dv}{dt} &= -(J + g\cdot\sin(\theta))
\end{aligned} \tag{1}$$

here

x – the abscissa of the trajectory, m;
y – the ordinate of the trajectory, m;
θ – angle of velocity vector relative to the horizon plane, degree or radian;
v – IPV, m/s;
t – TOF, s;
g – acceleration of gravity, m/s^2;
J – acceleration of the air resistance force, m/s^2:

$$J = CH(y)F(v), \tag{2}$$

where

C – BC is estimated by the expression of Siacci (Germershausen, 1982, p.159), m^2/kg;
H(y) – a function characterizing the dependence of air density vs altitude;
F(v) – a function characterizing the dependence of the air resistance vs an IPV.

The ballistic coefficient is calculated as

$$C = 1000\cdot i\cdot\frac{d^2}{q}$$

where

i – value of the coefficient taking into account the shape of the projectile (dimensionless); from a formal point of view, this is a fitting coefficient;
d – caliber of projectile (main diameter), m;
q – projectile weight, kg.

On the basis of the foregoing, the Cauchy problem, namely the problem with initial conditions (IC), is formulated. The totality of its elements is shown on Figure 1.

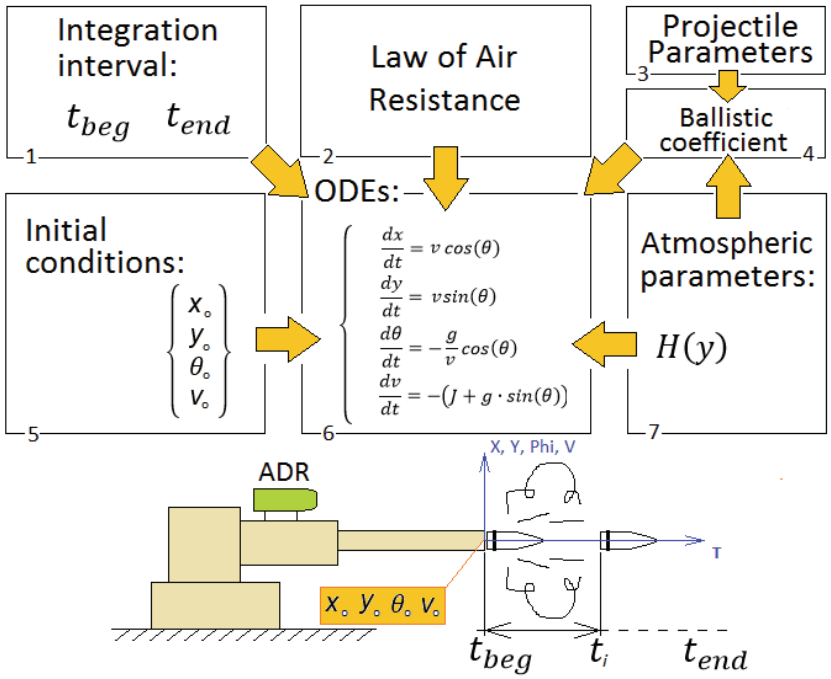

Figure 1 – The main task of external ballistics as the Cauchy problem
Рис. 1 – Основная задача внешней баллистики в виде задачи Коши
Слика 1 – Основни задатак спољње балистике у облику Кошијевог проблема

The acronym ADR means an Artillery Doppler Radar, which is intended for a projectile velocity measurement.

Since the system of ODEs (Figure 1, box 6) does not have "stiff" properties, it is therefore recommended to implement a numerical solution by dint of the fourth-order Runge-Kutta method or Bulirsch-Stoer method. As a result of the solution, there are five trajectory parameters: TOF (t), horizontal range (x), height of trajectory (y), angle of velocity vector (see (1)) (θ), IPV (v).

From a mathematical point of view, the difference between PIV and IPV is as follows: PIV is a constant; IVP is the interval from the PIV value to the so-called collision velocity (that is the velocity of the projectile, which has an impact on a target).

As an example, we can estimate the external ballistics of a 57mm 53-BR-271SP Armor-Piercing Tracer Solid projectile with a weight of 3.14 kg,

fired from an anti-tank gun ZIS-2 M1943, whose gun barrel had a length of 73 caliber (Burlov et al, 2006, p.425). This artillery cannon was widely used in the World War II on the Soviet-German front. The serial production of the ZIS-2 was carried out in the period from 1941 to 1949.

The left graphical window (Figure 2) shows the dynamics of the deceleration process as a change of the IPV value vs TOF[3].

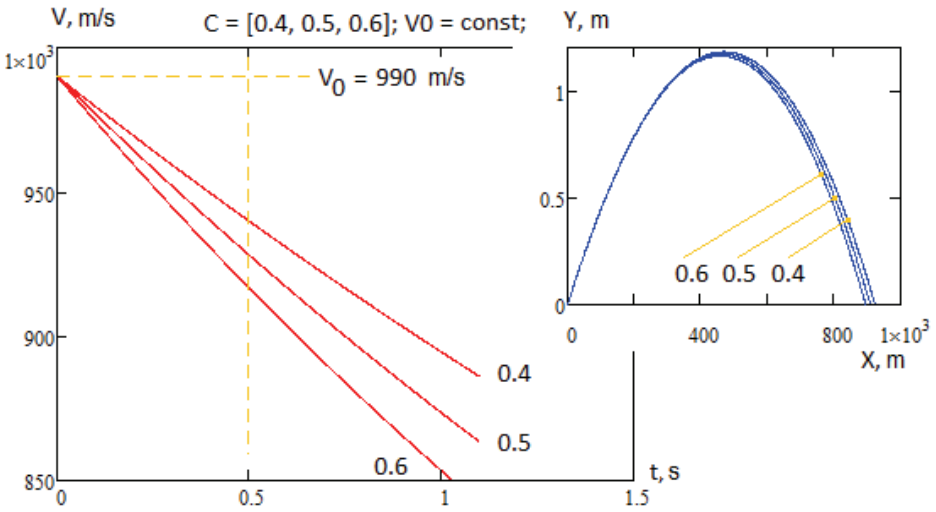

Figure 2 – IPV vs TOF graphs and trajectories of a gun projectile
Рис. 2 – Графики изменения скорости и траектории снаряда
Слика 2 – Графици тренутне брзине пројектила (ТБП) и времена лета и путање артиљеријског пројектила

The angle of departure is assumed equal to 19 angular min. ≈ $4.945 \cdot 10^{-3}$ radians, which corresponds to the flat trajectory of a projectile flight. The PIV is 990 m/s. The three curves (Figure 2) have different BCs C=0.4, 0.5, 0.6 m^2/kg. For the computer simulation of the projectile flight path, Siacci air drag law was used. The effect of the atmosphere influence was imitated by Eberling formula:

$$H(y) = 10^{-\frac{46}{1000000}(y)}.$$

The time interval for integration is taken as 0-1.1 s.

[3] This kind of IPV vs TOF dependence is characteristic for the flat trajectory weapon (for example, tank or anti-tank artillery). The summit of flight path for a distance ≈900 m is a little more than 1 m.

The values of the variables *t*, *x*, *y*, *θ*, v were determined every 1.1 milliseconds of the projectile's flight, which corresponds to 1000 points inside the time interval. For each curve, the value of BC was constant for the whole domain of functions *V=f(t)*.

The curves of Figure 2 are monotonically decreasing functions of TOF. In (Semenov, 2013) they are called "trajectories" of velocities. In the time interval (0-1.1 s), the graphs in form are close to linear functions. The dashed line *t* = 0.5 s (time after leaving the gun muzzle), crossing the velocity-time curves, forms three points of intersection. Their position is determined by the time interval *t* and the value of the BC. The higher the ballistic coefficient, the more significant the reduction of IPV in the chosen time interval by the constant angle of departure. Thus, an advanced knowledge of the BC value and time delay will allow to restore v_0.

In the Cartesian coordinates Y-X in (the right graphic window of Figure 2), the shape of the trajectories is shown. Numerals 0.6, 0.5, 0.4 indicate a discrete decreasing of the BC value.

The growth of the BC causes a decrease in the horizontal range and a decrease in the value of the summit of a projectile flight path. The displacement of these parameters causes significant transformations of the descending branch of the trajectory in comparison with the ascending branch.

In order to simplify the calculations and reduce the computation time, Siacci air drag law was used in the form of the *F*-type curve (Germershausen, 1982, p.160)

$$F_{si}(v) = 0.2002v - 48.05\sqrt{(0.1648v - 47.95)^2 + 9.6} + \frac{0.0442v(v-300)}{371 + \left(\frac{v}{200}\right)^2} \quad (3)$$

with the velocity range 0-1200 m/s replaced by a quadratic dependence, which has the form:

$$F_{si_{ap}}(v) = B_{si}v^2 , \quad (4)$$

where the value of the coefficient B_{si} is 0.0002696 (dimensionless).

The maximum degree of the power by variable *v* by Siacci air drag law corresponds to 10, but formula (4) allows its reduction to a power of 2. The result of this approximation is shown in Figure 3.

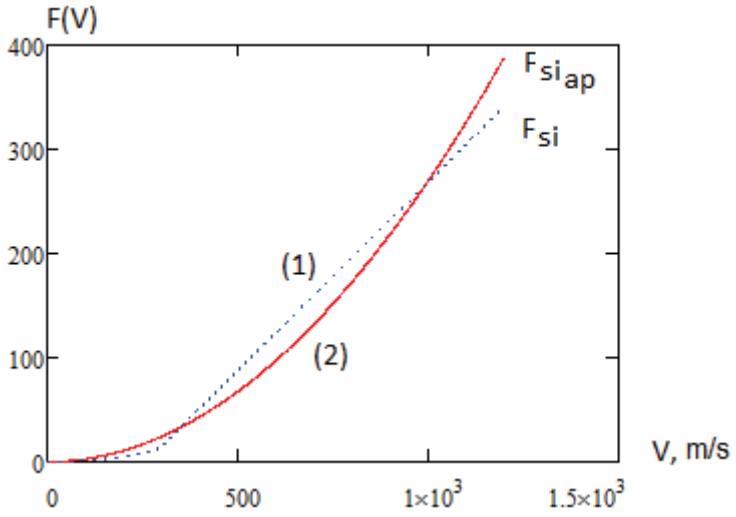

Figure 3 – Approximation of Siacci air drag law using the curve (4)
Рис. 3 – Аппроксимация закона Сиаччи кривой (4)
Слика 3 – Апроксимација Siacci-јевог закона отпора ваздуха помоћу криве (4)

It should be noted that the comparison of the trajectories in the Y-X coordinates calculated according to Siacci air drag law and using formula (3) (only the law of the frontal air resistance was changed, the remaining parameters retained the previous values) leads to a decrease of a horizontal range about 10% regarding the result for Siacci. However, the replacement of (3) by (4) does not affect an accuracy of the solution of the BVP, since the conditions on the boundary are also calculated using (4). The gain from replacement consists of mathematical expressions for compactness and saving of calculation time, which is important for repeatedly recurring calculations at the testing stage and for checking the algorithm correctness. Time measurement for the numerical solution for the system of ODEs (1) using the fourth-order Runge-Kutta method fulfilled on the PC Lenovo Ideapad Z510 and Mathcad 15 software gave the following results: 17 ms for Siacci air drag law contra 14 ms for the quadratic law. The gain in calculating time was 3 ms, that is 17%.

If the BC is constant and PIV is a variable value, then the family of curves will have the form shown in Figure 4.

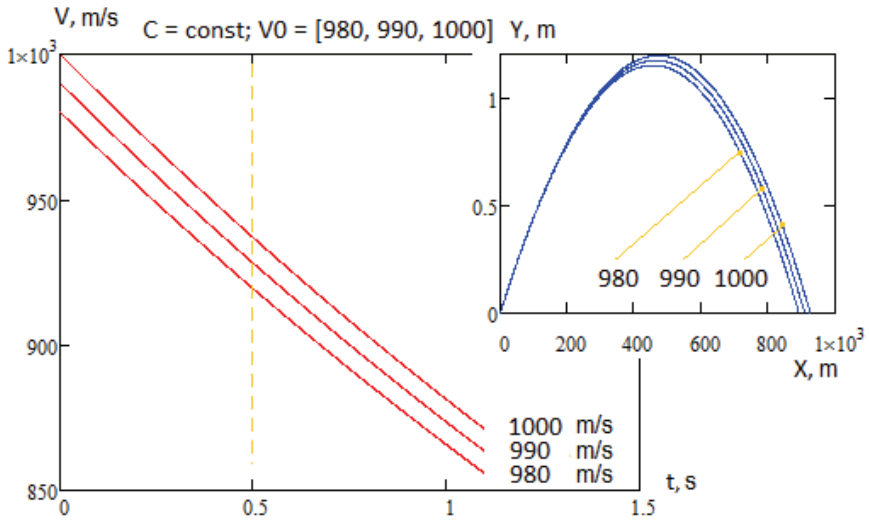

Figure 4 – Velocity vs. time graphs and trajectories of a projectile
Рис. 4 – Графики изменения скорости и траектории снаряда
Слика 4 – Графички прикази брзине и путање пројектила

The invariable ballistic coefficient (C = 0.5 m^2/kg) and a discrete increasing of PIV (v_0 = 980; 990; 1000 m/s) lead to the velocity change in the velocity-time coordinates in the form of three monotonically decreasing curves (the left graphic window of Figure 4). As before, the three curves characterize the trajectories of a projectile flight by the angle of departure of 19 angular minutes. Just like before, the presented graphs are close to linear dependences. However, the difference between Figure 4 and Figure 2 is the parallelism of the graphs of functions relative to each other, which predetermines the absence of intersection points. That is why the approximation of the functions (Figure 4) by the polynomial of the first degree will give the same tangents of the line slope (the condition of parallelism).

The right graphic window of Figure 4 shows the changes in the trajectories of the projectile in the Cartesian Y-X coordinates. The PIV increases discretely (v_0= 980, 990, 1000 m/s) but the value of BC and the angle of the projectile departure remain constant.

If a velocity value at a given time is determined through the ADR measurement or by means of the Cauchy problem solution and if the angle of a projectile departure and the coordinates of the departure point are known, then in this case one can formulate a two-point BVP.

The two-point boundary value problem

The essence of the two-point BVP is that, in contrast to the Cauchy problem, the boundary conditions are not strictly defined on the left (as ICs), but also on the right boundary. For example, the value of velocity condition ($IPV_{t=k}$) restricts the result on the right boundary. Thus, the search for a solution to the systems of ODEs (1) that satisfies the boundary conditions for the time interval *t*=k (see Table 1) is organized as a procedure consisting of the following items:

1. Solution of the Cauchy problem described in the previous section;
2. Comparison of the result with a given condition on the right boundary;
3. Making a decision about changing the ICs in the ODEs with the subsequent return to point 1 or interrupting the calculations.

Table 1 – Boundary conditions on the right and left boundaries

Таблица 1 – Краевые условия на правой и левой границах

Табела 1 – Гранични услови на десној и левој граници

№/№	Left border: t=0 s.	Right border: t=0.5 s.
1	x(0)=0	-
2	y(0)=0	-
3	phi(0)=k	-
4	sought value (PIV)	v(0.5)=a2

The value of the projectile velocity at the right boundary of the interval is determined by a theoretical calculation or a physical experiment. In the first case, the Cauchy problem (1) is solved according to the beforehand known ICs. The estimation of v_0 by an experimental determination is carried out by using a ballistic chronograph or ADR.

The result of solving the boundary problem is obtaining the velocity of the projectile on the left border of the interval, herewith the fourth element of the matrix of ICs, v_0 (see Figure 1, box 5) is determined.

It should be noted that sometimes the boundary problem is called "bringing the projectile velocity to the muzzle". This idiomatic expression is valid only from a mathematical point of view. In view of the fact that the physics of the projectile motion process in a gun barrel and in the air by the shot is very complex, the muzzle velocity (v_m) and PIV (v_0) are not equal to each other due to the presence of the aftereffect. "PIV is a fictitious velocity that a projectile would have at the point of departure, so that in the absence of a period of aftereffect, its velocity outside the aftereffect line

segment would be equal to the actual velocity. Such a velocity is 1-2% greater than the projectile muzzle velocity" (Burlov et al, 2006, p.115).

Thus, the fictitious value of v_0 exists as a phenomenon of a simplified mathematical description of a shot as a physical process, but plays an independent role in the preparation of tabular or graphical firing tables. Consequently, it is necessary to know it when the two-point boundary problem needs to be solved on the basis of experimental data.

If the condition on the right boundary is regulated by the IPV at the point t = 0.5 s, then the solution will be found in the iteration at which

$$v_c(t_{0.5}, v_0) - v_{0.5} = 0 . \quad (5)$$

In this expression, the decrement $v_c(t_{0.5}, v_0)$ correspond the IPV at a point with a time t=0.5 s by PIV= v_0. The velocity v_0 is the solution of the Cauchy problem. This is reminiscent of the subscript "c". The subtrahend is the user-defined right boundary condition. Expression (5) is a nonlinear equation of the argument v_0. In fact, the right-hand side of (5) is an admissible error of the difference denoted as ε_f. Under these conditions, (5) is transformed to the form

$$v_c(t_{0.5}, v_0) - v_{0.5} = \varepsilon_f . \quad (6)$$

Since solution (6) is carried out in the interval of PIV $v_{01} - v_{02}$, it is rational to impose an additional condition on its limiting width (after which further reduction of the interval is not rational). This restriction makes the iteration interrupt mechanism more flexible.

Nonlinear equation (6) is solved numerically by the method of bisection (division of a line segment in half). The algorithm of action is shown in Figure 5.

Box "1" is intended for entering the necessary constants. The block diagram assumes that the right boundary condition for velocity is determined from outside, for example, using the ADR or another method. Box "2" sets the limits of the search interval for initial speeds. It is assumed here that condition (5) has different signs on the left and right selected boundaries, and the left-hand side of function (6) is continuous. The task of box "3" is to divide the line segment of the search in half.

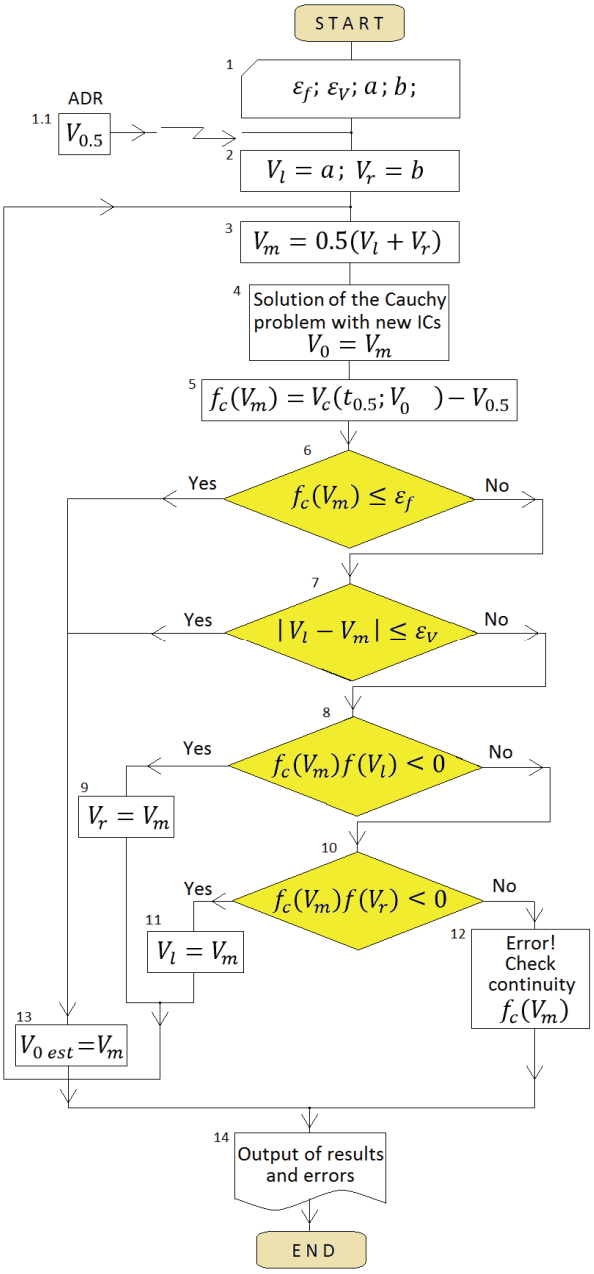

Figure 5 – Block diagram of the algorithm for solving the BVP
Рис. 5 – Блок-схема алгоритма решения граничной задачи
Слика 5 – Шема алгоритма за решавање проблема граничне вредности

The solution of the Cauchy problem is carried out in box "4". A comparison of the calculated value and the data of the ADR is performed in box "5". Boxes "6" and "7" serve to interrupt the iterative process of estimating the value of the PIV. The calculations are terminated upon reaching the predetermined accuracy ε_f of determining the initial speed and the pre-set value of the width of the search interval ε_v. In boxes "8-11", the process of controlling the change in the boundaries of the interval of the search for the PIV when it is divided in half is carried out. The number is 0.5 s present in the description of blocks "1.1" and "5" shows that the solution is sought for the right boundary condition of 0.5 s (the velocity is fixed at 0.5 s from the start of the flight).

The computer simulation of a BVP solution will be illustrated due to the Mathcad engineering math software and the *sbval* function (Solodov & Ochkov, 2004, p.101). Such commented program code is presented below.

At the first stage, it is necessary to determine the angle of departure θ_0 (zero in subscript is the symbolical index) in radians (u=19 angular minutes), the ballistic coefficient and the acceleration of gravity as a constant

$$u := 19 \qquad \theta_0 := \frac{\pi}{180} \cdot \frac{u}{60} \qquad C := 0.5 \qquad g := 9.81.$$

Next, we will enter the starting value to find the required PIV (m/s), the starting and ending values of the time interval (s)

$$z := 983 \qquad t1 := 0 \qquad t2 := 0.1.$$

The starting value *z* is entered to the program-code as a matrix that contains one element z_0.

The matrix-column D is the right-hand parts of the system of ODEs (1). It includes variables with the following notation:

- the abscissa of the trajectory $x - y_0$;
- ordinate of the trajectory $y - y_1$;
- angle of inclination of the tangent $\theta - y_2$,
- IPV $v - y_3$.

All four $y_0..y_3$ elements described variables from the virtual matrix Y

$$D(t, y) := \begin{bmatrix} y_3 \cdot \cos(y_2) \\ y_3 \cdot \sin(y_2) \\ \frac{-g}{y_3} \cdot \cos(y_2) \\ -\left(C \cdot \left(10^{0.000046(y_1)}\right) \cdot \left(0.00002694 y_3^2\right) + g \sin(y_2)\right) \end{bmatrix}.$$

The fourth element of the matrix D stores information about the BC, about the function H(y) and about the law of an air drag. When using an air drag law other than quadratic, it is necessary to modify this element of the D-matrix.

The matrix-column L contains the ICs in the form of their known numerical values and unknown variables. In our case, these are θ_0 and z_0

$$L(t1, z) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \theta_0 \\ z_0 \end{pmatrix}.$$

The parameter of the left side of expression t1 corresponds to the conditions on the left boundary of the interval. Here z_0 is specified as an element of the matrix z.

The matrix-column *score* stores the difference between the initial condition given at time-point t2 and the value of the sought solution at that point. The dimension of the matrix *L* is equal to the dimension of the matrix *z*. The parameter t2 denotes an employment of conditions from the right boundary

$$score(t2, y) := y_3 - 976.045. \qquad (7)$$

The value of the velocity is 976.945 m/s and it is the speed of the projectile at the right boundary of the time interval 0-0.1 s. and corresponds to the solution of the Cauchy problem with the following parameters and ICs:

the parameters: C=0.5 m^2/kg; law of air resistance - formula (3); change in air density - Eberling's formula; time interval of integration 0-1.1 s. with 1000 calculation points;

ICs: x_0 = 0; y_0 = 0; θ_0 = 19 min.; v_0 = 990 m/s.

Calling the solver function *sbval* for solution of the two-point BVP is performed by the command:

$$S:= sbval(z, t1, t2, D, L, score).$$

The matrix-column of the solutions S has the same dimensions with the score and z matrices. As a result, we obtain

$$S = 989.987\ m/s.$$

The error in the numerical solution of the BVP was 0.0013% (the actual value of the PIV was 990 m/s).

If instead of the instantaneous velocity v in the ODEs, the velocity projections on the OX, OY axis are used, then the system of ODEs (1) is transformed into expression (8)[4] (Chujko, 1976, p.38, 42)

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v\cos(\theta) \\ \frac{dy}{dt} &= v\sin(\theta) \\ \frac{d\theta}{dt} &= -\frac{g}{v}\cos(\theta) \\ \frac{du}{dt} &= -J\cos(\theta) \\ \frac{d\omega}{dt} &= -(J\sin(\theta)+g) \end{aligned}\right\}, \tag{8}$$

where u is the projection of IPV on the abscissa axis, m/s;
ω is the projection of IPV on the ordinate axis, m/s.

Formulating the instantaneous velocity v through its projections on the axis OX, OY, we modify the first three equations (8) and obtain (9):

[4] the first – third equations of (8) describe the kinematic relationships, the fourth and fifth – aeroballistic

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{dx}{dt} = u \\
&\frac{dy}{dt} = \omega \\
&\frac{d\theta}{dt} = -\frac{g}{v}\cos^2(\theta) \\
&\frac{du}{dt} = -J\cos(\theta) \\
&\frac{d\omega}{dt} = -(J\sin(\theta) + g)
\end{aligned}\right\}. \qquad (9)$$

Similar actions can be performed with respect to the quadratic law of air resistance (4):

$$F_{sia}(v) = B_{si}\left(\frac{u}{\cos(\theta)}\right)^2. \qquad (10)$$

As in the previous example, we find the values of the parameters u, ω in 0.1 s after a 57mm projectile has left the gun barrel. The following result is a solution of the Cauchy problem for the system of ODEs (9): u = 976.938 m/s; ω = 3.856 m/s. Since the horizontal and vertical projections of the velocity v in the Cartesian coordinate system are related to the velocity by the relation

$$v = \sqrt{u^2 + \omega^2},$$

then by substituting the values we have

$$v = \sqrt{976.938^2 + 3.856^2} = 976.946 \ m/s.$$

The obtained value of the IPV agrees with the value which was found in the previous example (the condition of expression (7)). The value of the relative error is 0.0001%.

Solving the BVP for the system of ODEs (9) at u = 976.938 m/s; ω=3.856 m/s (right boundary conditions) we obtain the velocity projections on the OX, OY axis at time t = 0 (unknown IC) equal to u_0 = 989.975 m/s; ω_0 = 4.903 m/s, from which it follows that the PIV v_0 is equal to:

$$v_0 = \sqrt{u_0^2 + \omega_0^2} = \sqrt{989.975^2 + 4.903^2} = 989.987 \ m/s.$$

The errors in the numerical solution of the BVP for the system of ODEs (1) and the system of ODEs (9) are the same and equal to 0.0013%, so the uniqueness of the solution of the two-point boundary problem takes place.

From the point of view of practice, it is of interest to determine the dependence of the error in estimating the PIV δ_{PIV} as a function of error in determining the boundary condition δ_{PIV-RB}. The results of such an assessment are shown in Figure 6.

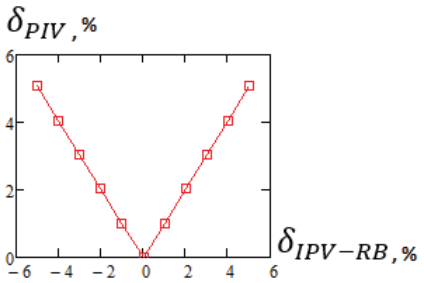

Figure 6 – Change in the PIV error of a projectile (δ_{PIV}) as a function of the assessment of the IPV on the right boundary δ_{IPV-RB}

Рис. 6 – Изменение погрешности определения начальной скорости снаряда (δ_{PIV}) с учётом погрешности задания скорости на правой границе δ_{IPV-RB}

Слика 6 – Промена грешке ТБП пројектила (δ_{PIV}) у функцији процене ТБП-а на десној граници δ_{IPV-RB}

As an upshot, the graph of the dependence (Figure 6) on the error in determining the PIV (δ_{PIV}) is obtained taking into account the error of the IPV specification on the right boundary (δ_{IPV-RB}), which can be approximated by the formula

$$\delta_{PIV} = \left| tg\left(45^0\right)\delta_{IPV-RB} \right| = \left| \delta_{IPV-RB} \right|.$$

Such a dependence is symmetric about the axis OY passing through the origin. In the case of a velocity error at the right boundary, δ_{IPV-RB} = 2%, the corresponding error in estimating the PIV is also equal to δ_{PIV} = 2%.

Conclusion

The paper proposes to estimate the projectile initial velocity v_0 of the artillery projectile on the basis of the system of ODEs (1) and (8, 9) taking into account the known law of air resistance, ballistic coefficient, atmospheric parameters and angle of departure. In the process of implementing this approach, the problem of estimating the PIV in the form of a two-point boundary problem is formulated. An algorithm for estimating the PIV is based on the numerical solution of the system of ODEs of the main problem of external ballistics and the method of bisection (division of a line segment in half-and-half).

The paper gives the Mathcad code of mathematical modeling of the problem of determining the initial velocity of an armor-piercing projectile of a 57-mm ZIS-2 anti-tank gun of the 1943 model, which can be modified for the benefit of the user.

The form of the dependence of the error in estimating the PIV on the error in determining the boundary conditions is established. There is a direct proportionality between δ_{PIV} and δ_{IPV-RB}. This allows us to specify the requirements for the ADR for the IPV estimating by working in the artillery firing control system.

References

Alon, Y. 1989. Doppler radar method and apparatus for measuring a projectile's muzzle velocity. US4837718.

Burlov, V.V. et al., 2006. *Ballistika stvol'nyh sistem*. Moskva: Mashinostroenie (in Russian).

Chujko, V.S., 1976. *Vneshnjaja ballistika.* Moskva: Voenno-vozdushnaja inzhenernaja akademija (in Russian).

Germershausen, R., 1982. *Handbook on weaponry*. Düsseldorf: Rheinmetall GmbH.

Semenov, V.L., 2013. RLS izmerenija nachal'noj skorosti snarjada ustanovlennaja na stvole orudija. RU2501033 C1 (in Russian).

Solodov, A.P. & Ochkov, V.F., 2004. Differential Models: An Introduction with MathCAD. Springer.

Zaytsev, N.A., Iljuha, A.A. & Pyraev, V.V., 2004. Sposob izmerenija nachal'noj skorosti snarjada i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija. RU2250476 C2 (in Russian).

ОЦЕНКА НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ СНАРЯДА КАК РЕШЕНИЕ ДВУХТОЧЕЧНОЙ ГРАНИЧНОЙ ЗАДАЧИ

Вадим Л. Хайков
независимый исследователь, Краснодар, Российская Федерация

ОБЛАСТЬ: механика - баллистика
ВИД СТАТЬИ: оригинальная научная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Задача оценки начальной скорости снаряда сформулирована в виде двухточечной граничной задачи. Для её решения могут быть использованы данные доплеровского измерителя скорости или результаты решения задачи Коши. Приведен алгоритм оценки $v_{0,}$ базирующийся на совокупности численного решения системы дифференциальных уравнений (СДУ) полёта снаряда и метода бисекции. Итерационный процесс оценки начальной скорости прерывается при достижении заранее назначенной величины погрешности и заблаговременно установленного значения ширины интервала поиска. В статье представлена блок-схема алгоритма начального процесса скорости снаряда. Приведен пример математического моделирования задачи определения начальной скорости 57-мм бронебойного снаряда противотанковой пушки ЗИС-2 обр. 1943 г. с использованием программной среды Mathcad.

Ключевые слова: прикладная внешняя баллистика ствольных систем, начальная скорость снаряда, математическое и компьютерное моделирование, среда Mathcad.

ПРОЦЕНА ПОЧЕТНЕ БРЗИНЕ ПРОЈЕКТИЛА КАО РЕШЕЊЕ ПРОБЛЕМА ГРАНИЧНЕ ВРЕДНОСТИ ЗА ДВЕ ТАЧКЕ

Вадим Л. Хајков
независни истраживач, Краснодар, Руска Федерација

ОБЛАСТ: механика – балистика
ВРСТА ЧЛАНКА: оригинални научни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:
Процена почетне брзине пројектила формулисана је у облику проблема граничне вредности у две тачке. За његово решавање могу да се користе подаци доплер радара или резултати решеног

Кошијевог проблема. Процес процене почетне брзине пројектила v_0 заснива се на нумеричком решавању система обичних диференцијалних једначина и методи бисекције. Итеративни рачунски процес се прекида када се постигну унапред дата тачност почетне брзине пројектила, као и унапред одређена вредност ширине интервала претраживања брзине. У чланку је представљен блок-дијаграм алгоритма процеса почетне брзине пројектила. Приказан је код математичког моделирања у Маткеду, као и компјутерска симулација процеса процене почетне брзине 57-милиметарског панцирног пројектила противоклопног топа ЗИС-2 из 1943. године.

Кључне речи: примењена спољна балистика артиљеријског оруђа, процес процене почетне брзине пројектила, математичко моделирање, компјутерска симулација, Mathcad софтвер.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 20.09.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 05.10.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 07.10.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURES OF BIO-INERT LAYERS OF CHROME OXIDE COATINGS DEPOSITED BY THE APS PROCESS

Mihailo R. Mrdak
Research and Development Center IMTEL Communications a.d.,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: drmrdakmihailo@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-3983-1605

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-14009

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

Summary:

Plasma spray Cr_2O_3 ceramic layers are used as a separate coating or as a supplement to bio-reactive organic composite ceramics $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$-Al_2O_3-ZrO_2-Cr_2O_3 and other bio-inert ceramics in composites of the types Al_2O_3–ZrO_2–SrO–Cr_2O_3–Y_2O_3, ZrO_2-TiO_2-Cr_2O_3 and TiO_2-Cr_2O_3 to increase the mechanical properties and resistance components of artificial joints on sliding abrasion and corrosion. This paper analyzes the influence of the plasma gun distance from the substrate on the mechanical properties and the microstructure of Cr_2O_3 layers deposited with the current of 40kW. The aim was to deposit layers with optimal characteristics that will enable the effective implementation of Cr_2O_3 layers on substrates of steel implants exposed to dry friction without lubrication and to corrosion of living tissues. The mechanical properties were tested by examining microhardness layers using the $HV_{0.3}$ method and the strength was tested by tensile testing. The surface of powder particles was examined by SEM. The microstructures of layers were analyzed with the use of an optical microscope (OM) and a scanning electron microscope (SEM). The test results confirmed a possibility of effective application of bio-inert layers of Cr_2O_3 with other ceramics intended for the production of functional implants.

Keywords: substrates, microstructures, corrosion,ceramics.

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

Introduction

The APS - atmospheric plasma spray process is one of the technologies used for the deposition of bio-reactive and bio-inert coatings on the surface of implants (Bag & Biswas, 2016, pp.117–128). For the majority of plasma spray coatings, argon (Ar) can be used as a carrier gas. However, for the melting of metal oxide powders in high temperature plasma, oxygen is often used as a carrier gas in order to minimize the decomposition of oxide powder (Morks & Akimoto, 2008, p.1). The degree of powder melting depends on the size and the particle size distribution, the spray system used for powder deposition and the coating deposition parameters (Wang & Shaw, 2007, pp.34), (Trifa et al, 2005, pp.54-69). In the previously published papers, it was found that the coating microstructure depends on the spraying conditions (Mrdak, 2017a, pp.30-44), (Mrdak, 2017b, pp.378-391). Layers of plasma sprayed oxides are widely used for improving resistance to wear, abrasion and corrosion. This includes a wide range of deposited materials of metal oxides. One such material is Cr_2O_3 oxide, which is characterized by high resistance to sliding wear and corrosion. Cr_2O_3 oxide produces chemically most inert thermal spray layers resistant to abrasion of all oxides produced in the Sulzer Metco company. Coatings are very dense and have a low coefficient of friction without the addition of lubricants. Because of that, they have found application in the process of implants production (Material Product Data Sheet, 2012). An important feature of Cr_2O_3 oxide is non-toxicity and biocompatibility. Due to strong bonds of valence electrons of chromium and oxygen atoms, Cr_2O_3 oxide is stable and bio-inert. The ceramic coating or Cr_2O_3 oxide film deposited on the surface of the implant passivates the alloy substrate surface (Co-Cr, Co-Cr-Mo, Ti-6Al-4V i Ti-6Al-7Nb) and prevents the migration of toxic metal ions from the substrate into the surrounding tissue (Ogwu et al, 2016). Cr_2O_3 oxide has a high resistance to corrosion in contact with living tissues and goood tribological behavior during friction and abrasive wear (Pang et al, 2007, pp.3531-3537), (Szafarska & Iwaszko, 2012, pp.215-221). Depending on the applied thermal spray coating process, coatings have a variety of microstructures and properties. The homogeneity of the coating structure significantly affects its tribological behavior. However, plasma spray of the Cr_2O_3 oxide coating has the highest abrasion resistance in dry conditions and in lubrication conditions compared with Al_2O_3 and TiO_2 coatings (Cetinel et al, 2008, pp.259-265). During the process of powder melting in plasma, one part of Cr_2O_3 oxide is decomposed due to plasma high temperature. After the dual diagram Cr – O, Cr_2O_3 oxide occurs in several

crystalline phases such as Cr_3O_4(29,1wt.%O), Cr_2O_3 (32wt.%O), CrO_2(38,1wt.%O), Cr_5O_{12}(42,5wt.%O), Cr_6O_{15}(43,4wt.%O) and CrO_3(48wt.%O) (ASM Handbook, 1992). Black α-Cr_2O_3 oxide with a hexagonal lattice is used for deposition; the lattice basal planes are conveniently distributed in the coating thus giving good sliding properties. With the typical spraying parameters, Cr_2O_3 coating is somewhat under-stoichiometric, and its microstructure consists of the initial oxide type α-Cr_2O_3, dark gray in color, and light gray Cr_3O_4, CrO and CrO_2 oxides (Khanna & Bhat, 2006).

This paper presents the results of the influence of the plasma gun distance from the substrate on the mechanical properties and the microstructure of Cr_2O_3 layers. Powder is deposited on the metal surface at a distance of 90 mm, 100 mm and 110 mm. The adhesion strength, microhardness and microstructural characteristics of Cr_2O_3 coating were analysed; these coatings have layers of the best features which enable efficient implementation on the substrates in the conditions of bet lubrication friction and corrosion present on implants.

Materials and experimental details

For depositing layers of Cr_2O_3, Sulzer Metco 106 NS powder was used; the powder particle surface is shown in SEM photomicrographs in Figure 1.

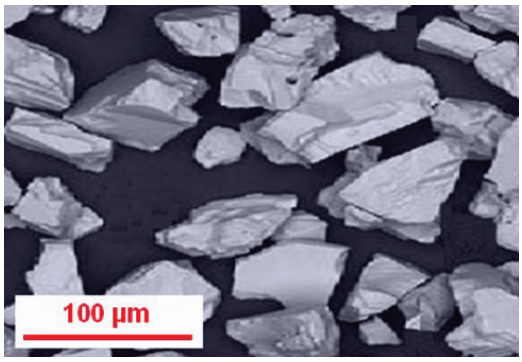

Figure 1 – (SEM) micrography of Cr_2O_3 powder particles
Рис. 1 – (SEM) микрография частиц порошка Cr_2O_3
Слика 1 – (SEM) микрографија честица праха Cr_2O_3

The applied powder was the α-Cr_2O_3 modification produced by sintering and grinding to a granulation of 11µm - 90µm (Material Product Data Sheet, 2012). Cr_2O_3 coating layers are deposited on substrates of Č.4171 (X15Cr13 EN10027) steel in the thermally untreated condition. To

assess the microhardness and microstructure of coatings, the substrates had dimensions of 70x20x1.5mm. To assess the adhesion / cohesion strength of the layers, the substrate samples had dimensions Ø25x50 mm. The mechanical properties of layers were assessed in accordance with standard ASTM C633-1, 2008. The paper presents the minimum and maximum microhardness values $HV_{0.3}$ as well as the mean values of tensile bond strength.

The analysis of the microstructure of Cr_2O_3 layers was performed by an optical microscope. The assessment of content, distribution and size of micro pores was performed on five photos - OM at 200x magnification. The paper presents the mean value of the content of pores.

Cr_2O_3 powder was deposited at atmospheric pressure with a plasma spray of the Plasmadyne system. The SG-100 plasma gun which was used for powder deposition consisted of a cathode type K 1083A-129, an anode type A 2083-145 and a gas injector type GI 1083A-113. The plasma gas was a mixture of gases Ar / He and the power supply was up to 40kW. The powder deposition parameters are shown in Table 1. The deposited coatings had a thickness of 0.18 mm - 0.20mm.

Table 1 – Plasma spray parameters
Таблица 1 – Параметры плазменного напыления
Табела 1 – Плазма спреј параметри

Deposition parameters	Values		
Plasma current, I (A)	800	800	800
Plasma Voltage, U (V)	40	40	40
Primary plasma gas flow rate, Ar (l/min)	47	47	47
Secondary plasma gas flow rate, He (l/min)	12	12	12
Carrier gas flow rate, Ar (l/min)	6	6	6
Powder feed rate, (g/min)	40	40	40
Stand-off distance, (mm)	90	100	110

Results and Discussion

Distances of the plasma gun from the substrate had an important influence on the mechanical properties and microstructure of the deposited layers. The measured values of micro hardness and tensile strength of

Cr_2O_3 coatings depending on the distance of the plasma gun from the substrates are shown in Figures 2 and 3. The layers deposited with a minimum spray distance of 90 mm have the largest range of microhardness of 230$HV_{0.3}$ and the lowest value of 1030$HV_{0.3}$ to 1260$HV_{0.3}$. The highest values of microhardness 1270$HV_{0.3}$ to 1395$HV_{0.3}$ occur in the layers deposited with the largest spray distance of 110 mm. The smallest microhardness range of 180HV0.3 was measured in these layers.

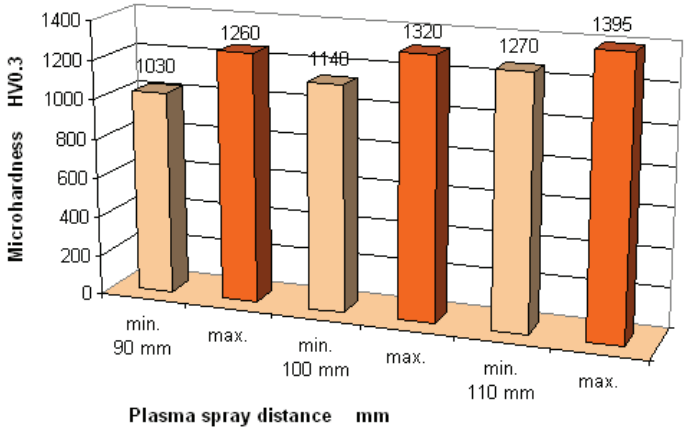

Figure 2 – Microhardness of Cr_2O_3 layers
Рис. 2 – Микротвердость покрытия Cr_2O_3
Слика 2 – Микротврдоћа Cr_2O_3 слојева

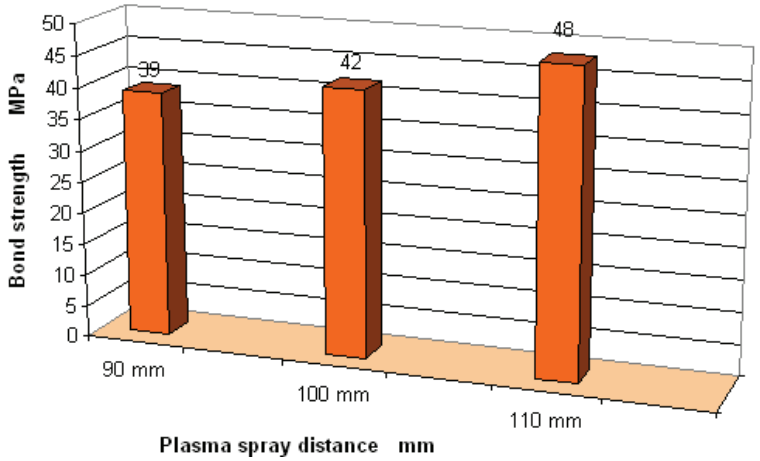

Figure 3 – Bond strength of Cr_2O_3 layers
Рис. 3 – Прочность связи слоев покрытия Cr_2O_3
Слика 3 – Чврстоћа споја Cr_2O_3 слојева

With the increase of the spray distance, powder particles melt better due to a longer stay in plasma. Better powder melting enabled the deposition of layers of higher density and higher adhesion / cohesion strength, which was confirmed by examining the deposited coatings.

The tensile strength of the bond of the Cr_2O_3 coating deposited with the smallest spray distance of 90 mm had the lowest value of the bond strength of 39 MPa. A smaller spray distance reduces the residence time of particles in plasma, therefore causing poorer melting of powder particles. The coating Cr_2O_3 deposited with the largest spray distance of 110 mm has the highest bond strength of 48 MPa. Due to a longer stay in plasma, powder particles have sufficient time to melt fully and bind tightly to the surface of the substrate and the particles from the previously deposited layers.

The metallographic analysis of Cr_2O_3 coatings showed a good bonding between the coating and the substrate; it also showed that there are no residual particles of corundum due to roughening at the interface. Micro and macro cracks are not observed along the interface; there is neither separation of the coating along the sample edges nor peeling off of the coatings from the substrates. There are neither micro/macro cracks nor unmelted powder particles in the deposited layers, which contributed to coatings having good adhesion / cohesion strength.

The microstructures of Cr_2O_3 coatings were in accordance with the mechanical characteristics of the coatings. The distance of the plasma gun from the substrate had a significant impact on the degree of melting and deformation of particles in collision with the substrate. Depending on the substrate distance, the layers of the deposited coatings had a different share, distribution and size of micro pores in the coating. Figure 4 shows the microstructure of Cr_2O_3 coatings deposited with a minimum distance of 90 mm from the substrate. The coating predictably had the highest proportion of micro pores, which resulted in the layers having minimum microhardness and adhesion strength. In the layers, there are coarse micro pores larger than 20 µm. The total share of micro pores was 9.3%. Because of smaller distances of the substrate and a shorter stay of powder particles in plasma, particles are half melted and, therefore, less deformed in collision with the substrate. As a result, the bonding surface between the deposited particles is reduced, the content of pores is increased as well as the presence of coarse pores which all leads to inferior mechanical properties of the coating.

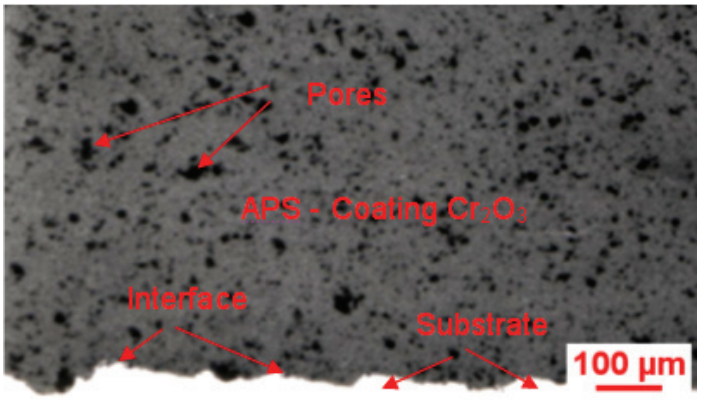

Figure 4 – Cr_2O_3 coating microstructure deposited from a distance of 90mm
Рис. 4 – Микроструктура покрытия Cr_2O_3, нанесенного с расстояния 90 мм
Слика 4 – Микроструктура Cr_2O_3 превлаке са одстојањем 90 mm

Figures 5 and 6 show the microstructure of the Cr_2O_3 coating deposited on the substrate from a distance of 110 mm which had the best microstructure and mechanical properties.

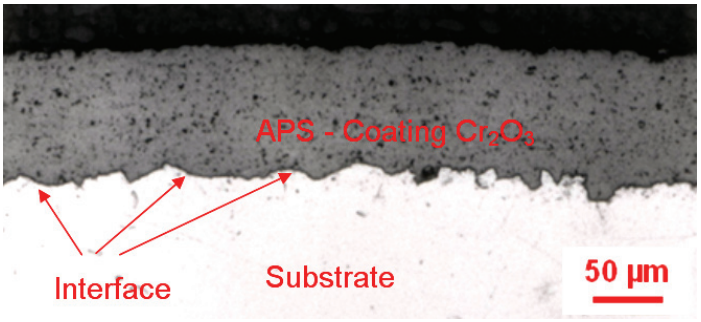

Figure 5 – Cr_2O_3 coating microstructure deposited from a distance of 110mm
Рис. 5 – Микроструктура покрытия Cr_2O_3, нанесенного с расстояния 110 мм
Слика 5 – Микроструктура Cr_2O_3 превлаке са одстојањем 110 mm

A large distance from the substrate enabled the best melting of Cr_2O_3 powder particles and a uniform deposition of molten droplets on the surface of the substrate and previously deposited layers. In a collision with the substrate, droplets of molten particles spilled in a regular pattern and formed thin lamelae with a larger contact surface and a lower content of micro pores. The analysis of the micrograph showed that the Cr_2O_3 coating contains micro pores with an average content of 3.5%. The formed micro pores are black and of irregular shape.

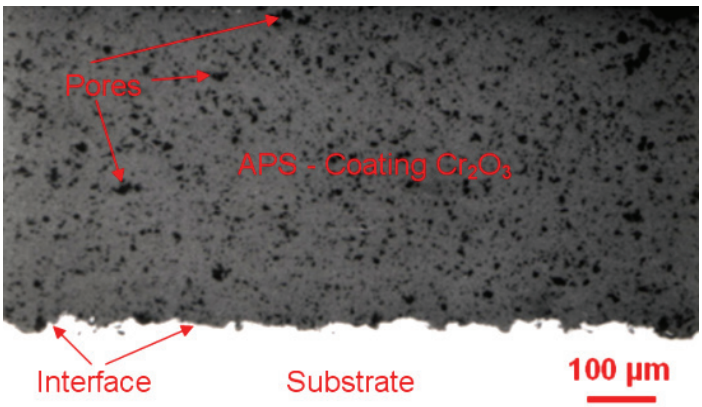

Figure 6 – Cr_2O_3 coating microstructure deposited from a distance of 110mm
Рис. 6 – Микроструктура покрытия Cr_2O_3, нанесенного с расстояния 110 мм
Слика 6 – Микроструктура Cr_2O_3 превлаке са одстојањем 110 mm

The SEM micrograph shows the Cr_2O_3 coating with the best mechanical and structural characteristics (Figure 7).

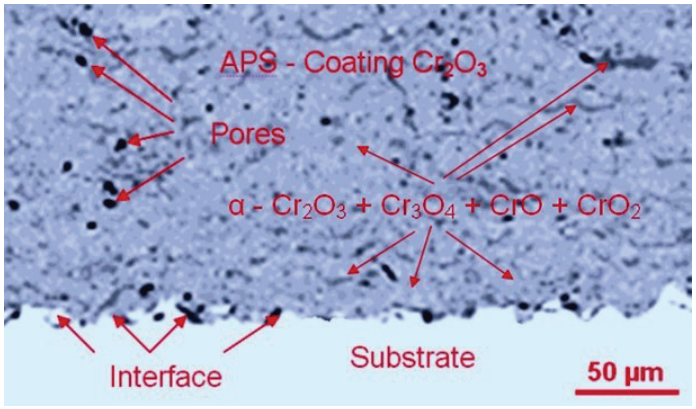

Figure 7 – (SEM) Cr_2O_3 coating microstructure deposited from a distance of 110 mm
Рис. 7 – (SEM) Микроструктура покрытия Cr_2O_3, нанесенного с расстояния 110 мм
Слика 7 – (SEM) Микроструктура Cr_2O_3 превлаке депоноване са одстојањем 110 mm

Oxide lamellae of the deposited Cr_2O_3 coatings are clearly seen in the microstructure. Due to a partial decomposition of the initial dark gray phase of α-Cr_2O_3 during plasma powder spraying, other types of oxides such as Cr_3O_4, CrO and CrO_2 (light gray) are present in the microstructure of the coating (Schutz et al, 1991, p.649–669). Micro pores (black) can also be seen in the microstructure of the coating. Figure 8 shows a SEM micrograph of the Cr_2O_3 coating surface deposited from a distance of 110 mm and which had the best mechanical properties and the microstructure.

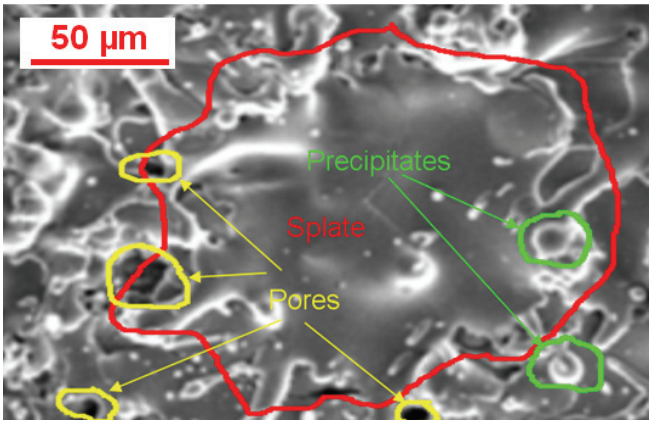

Figure 8 – (SEM) Surface morphology of the coatings deposited from a distance of 110 mm
Рис. 8 – (SEM) Морфология поверхности покрытия, нанесенного с расстояния 110 мм
Слика 8 – (SEM) Морфологија површине превлаке депоноване са одстојањем 110 mm

The coating surface shows complete melting and spreading of droplets of molten Cr_2O_3 particles on the previously deposited layer. The micrograph shows the surface of a molten and evenly distributed Cr_2O_3 droplet on the previously deposited layers (circled with a red line). The droplet of a molten powder particle formed a thin disk – splat of an approximately circular shape in a collision with the substrate surface. The deformed droplet, in a collision with the substrate, formed a regular shape, thus creating a good bond with the previously deposited layer. The evenly spilled particle has a lamellar structure in the cross section, as it can be seen in Figure 7.

In the microstructure, there are fine precipitates of approximately spherical size of 10 µm formed by breaking off the edges of molten particles in a collision with the substrate. The SEM micrograph shows micro pores (black) up to 10 µm circled in yellow.

Conclusion

The paper analyzes the mechanical properties and the microstructure of the deposited Cr_2O_3 layers depending on the distance of the substrate from the plasma gun, on the basis of which the following conclusions are derived.

The mechanical properties and the microstructure of Cr_2O_3 coating layers were in accordance with the conditions of the powder deposition. The microhardness values increase with increasing the substrate distance due to a longer stay of powder particles in plasma, which allows complete

powder melting. The layers deposited from the largest distance have the smallest range and highest microhardness values. These layers have proved to be the thickest. The mean content of micro pores in these layers was the lowest and amounted to 3.5%. Also, the maximum value of the adhesion strength of 48 MPa was found in the layers deposited from the largest distance of the substrate and with the lowest content of micro pores of 3.5%. The mechanical properties of Cr_2O_3 layers are in accordance with the microstructures.

In the microstructure of Cr_2O_3 layers, besides the initial oxide phase of α-Cr2O3 in dark gray, there are also present Cr_3O_4, CrO and CrO_2 oxides (light gray) due to partial decomposition of the initial oxide. Good mechanical and structural characteristics of Cr_2O_3 coating layers deposited on the substrate from a distance of 110mm allow its efficient application on steel implants with surfaces exposed to friction without lubrication as well as to corrosion.

References

-ASM Handbook, 1992, Volume 3, *Alloy Phase Diagrams*, ASM International, Metals Park.

-ASTM C633-1, 2008. Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings, Reapproved.

Bag, S. & Biswas, B.K., 2016. Review on bioactive ceramic coating. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 7(2), pp.117–128.

Cetinel, H., Celik, E. & Kusoglu, M.I., 2008. Tribological behavior of Cr_2O_3 coatings as bearing materials. *Journal of Materials processing technology*, 196(1-3), pp.259-265. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.05.048.

Khanna, A. & Bhat, D.G., 2006. Growth and characterization of chromium oxide thin films prepared by reactive ac magnetron sputtering. *Journal of Vacuum Science & Technology A:Vacuum, Surfaces, and Films*, 24, 1870. Available at: http://dx.doi.org/10.1116/1.2244536.

-Material Product Data Sheet, 2012. Metco 106NS Chromium Oxide Thermal Spray Powders, DSMTS-0072.1, Sulzer Metco.

Morks, M.F. & Akimoto, K., 2008. The Role of Nozzle Diameter on the Microstructure and Abrasionwear Resistance of Plasma Sprayed Al_2O_3/TiO_2 Composite Coatings. *Journal of Manufacturing Processes*, 10(1), pp.1-5. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2008.10.001.

Mrdak M.R., 2017a. Mechanical properties and the microstructure of the plasma-sprayed $ZrO_2Y_2O_3/ZrO_2Y_2O_3$CoNiCrAlY/CoNiCrAlY coating. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 65(1), pp.30-44. Available at: http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-10586.

Mrdak, M.R., 2017b. Structure and properties of Ni22Cr10Al1Y coatings deposited by the vacuum plasma spray process. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, 65(2), pp. 378-391. Available at: http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg65-11904.

Ogwu, A.A., Oje, A.M. & Kavanagh, J., 2016. Corrosion, ion release and Mott–Schottky probe of chromium oxide coatings in saline solution with potential for orthopaedic implant applications. *Materials Research Express*, 3(4). Available at: http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/*3*/*4*/045401.

Pang, X., Gao, K. & Volinsky, A.A., 2007. Microstructure and mechanical properties of chromium oxide coatings. *Journal Materials Research Society*, 22(12), pp.3531- 3537. Available at: http://dx.doi.org/10.1557/JMR.2007.0445.

Schutz, H., Gosmann, T., Stover, D., Buchkremer, H. & Jager, D., 1991. Manufacture and properties of plasma sprayed Cr_2O_3. *Materials and Manufacturing Processes*, 6(4), pp.649–669. Available at: http://dx.doi.org/10.1080/10426919108934795.

Szafarska, M. & Iwaszko, J., 2012. Laser remelting teratment of plasma-sprayed Cr_2O_3 oxide coatings. *Archives of metallurgy and materials*, 57(1), pp.215-221. Available at: http://dx.doi.org/10.2478/v10172-012-0013-8.

Trifa, F.I., Montavon, G. & Coddet, C., 2005. On the relationships between the geometric processing parameters of APS and the Al_2O_3–TiO_2 deposit shapes. *Surface and Coatings Technology*, 195(1), p.54-69. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.116.

Wang, M. & Shaw, L.L., 2007. Effects of Powder Manufacturing Methods on Microstructure and Wear Performance of Plasma Sprayed Alumina-Titania Coatings. *Surface and Coating Technology*, 202(1), pp.34-44. Available at: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.04.057.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И МИКРОСТРУКТУРА БИОИНЕРТНЫХ СЛОЕВ ХРОМОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

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:

Метод плазменного напыления керамических Cr2O3 покрытий применяется как самостоятельное покрытие, так и в качестве дополнения к биоактивной органической композиционной керамике Ca10(PO4)6(OH)2-Al2O3-ZrO2-Cr2O3 и к иным биоинертным

керамикам, создавая композиты типа Al2O3–ZrO2–SrO–Cr2O3–Y2O3, ZrO2-TiO2-Cr2O3 и TiO2-Cr2O3 с целью улучшения механических характеристик и повышения стойкости к износу и коррозии компонентов протеза сустава. В данной статье представлено каким образом расстояние между пистолетом для плазменного напыления и обрабатываемой поверхностью влияет на механические характеристики и микроструктуру Cr2O3 слоев покрытия, нанесенных при электоромощности 40 кВт. Цель нанесения различных слоев заключалась в определении лучших характеристик, которые обеспечат эффективное применение покрытия Cr2O3 для подложек металлических имплантатов, подверженных сухому трению без смазки, а также коррозии живых тканей. Анализ механических характеристик покрытия проведен на основании испытаний микротвердости методом HV0.3 и прочности соединений методом растяжения. Структура слоев испытана методом оптической микроскопии (ОМ), а поверхность испытана методом электронной микрографии (SEM). На основании полученных характеристик установлено, что эффективное применение биоинертных слоев Cr2O3 возможно и в сочетании с другими керамическими покрытиями, предназначенными для изготовления функциональных имплантатов.

Ключевые слова: основа, микроструктура, коррозия, керамика.

МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА И МИКРОСТРУКТУРЕ БИОИНЕРТНИХ СЛОЈЕВА ХРОМ-ОКСИДНИХ ПРЕВЛАКА ДЕПОНОВАНИХ APS-ПРОЦЕСОМ

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:

Плазма спреј керамички слојеви Cr_2O_3 користе се као засебна превлака или као додатак биореактивној органској композитној керамици $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$-Al_2O_3-ZrO_2-Cr_2O_3 и другим биоинертним керамикама, правећи компози типа Al_2O_3–ZrO_2–SrO–Cr_2O_3–Y_2O_3, ZrO_2-TiO_2-Cr_2O_3 и TiO_2-Cr_2O_3 за повећање механичких карактеристика и отпорности компоненти вештачког зглоба на хабање клизањем и корозију. У раду је анализиран утицај

Mrdak, M., Mechanical properties and microstructures of bio-inert layers of chrome oxide coatings deposited by the APS process, pp.28-40

одстојања плазма пиштоља од подлоге на механичке карактеристике и микроструктуру Cr_2O_3 слојева депонованих са снагом напајања од 40 kW. Циљ рада био је да се депонују слојеви оптималних карактеристика који ће омогућити ефикасну примену Cr_2O_3 слојева на подлогама челичних имплантата изложених сувом трењу без подмазивања и корозији живих ткива. Испитивање механичких карактеристика реализовано је испитивањем микротврдоће слојева методом $HV_{0.3}$ и чврстоће споја методом на затезање. Изглед површине честица праха испитан је методом СЕМ. Микроструктуре слојева анализиране су уз примену оптичког микроскопа (ОМ) и скенинг електронског микроскопа (СЕМ). Резултати испитивања потврдили су могућност ефикасне примене биоинертних слојева Cr_2O_3 са другим керамикама намењеним за израду функционалних имплантата.

Кључне речи: подлоге, микроструктура, корозија, керамика.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 13.05.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 22.06.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 24.06.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

DETERMINING THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC EXCAVATORS

Olgica Ž. Lazarević[a], *Boro* M. Lazarević[b]
[a] University of Defense in Belgrade, Military Academy,
Military Mechanical Engineering Department, Belgrade,
Republic of Serbia,
e-mail: olgica.l.novakovic@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-5381-6888
[b] China Communication Construction Company, Belgrade,
Republic of Serbia,
e-mail: boro.lazarevic92@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-1563-3623

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-14400

FIELD: Construction Engineering
ARTCLE TYPE: Original Scientific Article
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

This paper deals with the research into the dynamic characteristics of hydraulic excavators i.e. natural frequencies and movements. The way hydraulic excavators work is described by the mathematical model of six generalized coordinates based on the Lagrange equations of the second kind. The obtained mathematical model of the excavator system represents the system of six nonlinear, nonhomogeneous differential equations of the second kind. By simulating real parameter values, we managed to obtain the functions of movement and their natural frequency changes within the allowed degrees of freedom, making it possible to examine the nature and intensity of those movements and the impacts of these parameteres on excavator operators as well as on excavator construction optimisation.

Key words: hydraulic excavator, dynamic characteristics, mathematical model, natural frequencies, movement.

Introduction

Excavators are machines used for up to category four soil excavation and for transporting the excavated soil to a landfill or to some means of transport. They belong to the group of mobile machines. By the way they work, they can be continuous and cyclic machines. Soil excavation can be done both on land and under water. The research deals with the hydraulic wheel excavator BTH-600. Excavators are primarily used for excavating the soil with cyclic work.

The research based on both theory and experiments proved that hydraulic excavators, especially when in an open configuration position, behave as oscillation systems while transporting or unloading the soil. That is why the stability of the balance system position is analysed by the dynamic actuation of the system.

In the available reference books (Janošević, 1997), (Holclajtner et al, 2010, pp.5-25), (Lazarević et al, 2008), (Frimpong et al, 2008, pp.20-29), (Vähä & Skibniewski, 1993, pp.148-158), (Lazarević et al, 2014), the dynamic behaviour of excavators is analysed by maximum five degrees of freedom. However, from the construction itself, together with the way excavators work, it is quite natural for the model space movement to be expanded by one more degree of freedom, that is by revolving around the transverse main central axis of the undercarriage inertia, which has been done in this work.

Mechanical-dynamic model of excavators

A mechanical model of hydraulic excavators (Figure 1) consists of undercarriage (1), rotary link (platform) (2) and manipulators (3, 4, 5). The lower part of the excavator, the undercarriage, may be placed on caterpillars, pneumatics or on a floating object. The elements of the subsystem for transferring the power and the elements of the subsystem for transferring the signal are placed on the rotary link (the platform). The plane of digging and the plane of unloading are decided by rotating the rotary link (platform) in relation to the basic undercarriage. The basic and rotary links are connected with a joint in the shape of a radial axial bearing and they form the basis or the excavator machine (Lazarević, 2003).

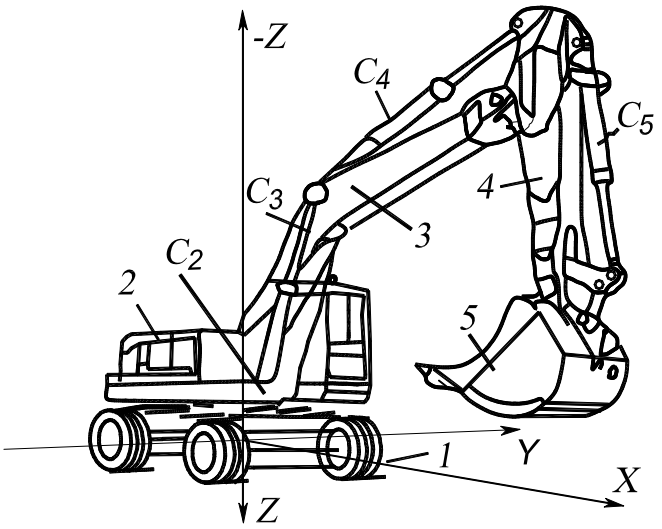

Figure 1 – Physical model of a hydraulic BTH-600 excavator: 1 - undercarriage (pneumatics), 2 - rotary link (platform), 3 - boom, 4 - arm (stick), 5 - bucket
Рис. 1 – Механическая модель гидравлического экскаватора BTH-600: – пневмоколесное ходовое устройство, 2 – поворотная платформа 3 – стрела, 4 – рукоять, 5 – ковш
Слика 1 – Механички модел хидрауличког багера BTH-600: 1 – ослоно-кретни члан (пнеуматици), 2 – обртни члан (платформа), 3 – стрела, 4 – рука (држач), 5 – кашика

When describing the movement of the observed system (Figure1 and Figure 2) the following assumptions were taken into account:

- Dynamic model of the excavator is a non-conservative system with stationary and ideal links,
- Small system oscillations around the stable balance position are observed,
- Excavator backing has the elastic and damping properties,
- Parts of the excavator kinematic chain are rigid bodies,
- Due to oil viscosity and stiffness, hydraulic actuators of the drive mechanisms are elastic and damping elements,
- Modulus of hydraulic oil stiffness is constant and independent from pressure and temperature.

Generalized coordinates of the mechanical system of the hydraulic excavator

The description of a dynamic excavator model (Figure 2) is defined by the generalized coordinates:

$$\{q\} = \{z_c \ \varphi \ \theta \ \alpha \ \beta \ \gamma\} \tag{1}$$

where:

z_c - is the vertical displacement of the mass centre of the undercarriage,

φ - is the angle of rotation around the longitudinal main central axis of inertia of the undercarriage,

θ - is the angle of rotation around the transversal main central axis of inertia of the undercarriage,

α - is the angle of manipulator boom rotation around the axis O_3y_3 of the joint to which the rotary link is attached;

β - is the angle of manipulator arm rotation around the axis O_4y_4 of the joint in the end of the boom, and

γ - is the angle of manipulator bucket rotation around the axis O_5y_5 of the joint in the end of the arm.

It is assumed that the generalized coordinates of small size are measured from the position of the stable balance of the system. The critical excavator positions are analysed when the manipulator plane forms the right angle with the undercarriage longitudinal plane (Figure 3).

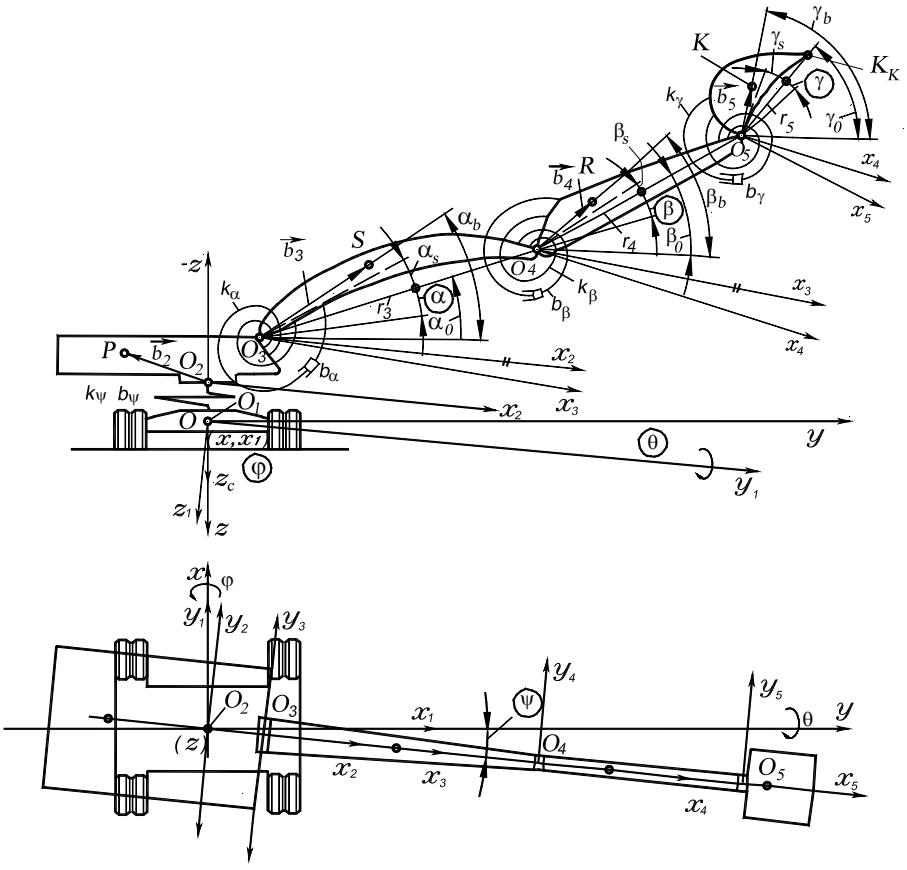

Figure 2 – Dynamic model of the hydraulic excavator. The platform and the kinematic chain have been rotated by $\psi = 90^0$

Рис. 2 – Динамическая модель гидравлического экскаватора. Платформа и кинематическая цепь экскаватора под углом поворота $\psi = 90^0$

Слика 2 – Динамички модел хидрауличког багера. Платформа и кинематички ланац багера заокренути су за угао $\psi = 90^0$

Coordinate systems

The position of the excavator is defined in relation to the absolute coordinate system $Oxyz$. The coordinate beginning O of the absolute system is in the undercarriage mass centre for the whole system (undercarriage, rotary link, boom, arm and bucket). The Ox axis is directed

towards the longitudinal axis, while the Oy axis is directed towards the main transversal central axis of inertia in the position of static balance of the whole system, and the Oz axis is directed vertically downwards. To determine the positions of the excavator kinematic chain parts, local coordinate systems have been set up (Figure 2).

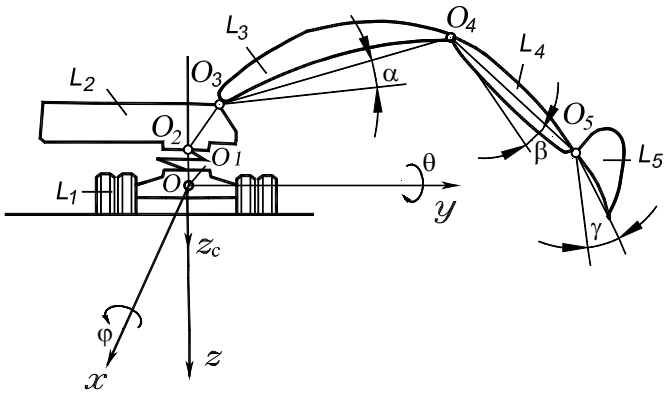

Figure 3 – Accepted generalized mechanical system coordinates
Рис. 3 – Принятые обобщенные координаты механической системы
Слика 3 – Усвојене генералисане координате механичког система

1. $O_1x_1y_1z_1$ - mobile coordinate system accepted for the undercarriage mass center O_1. The Ox_1 axis is parallel with the longitudinal axis, the Oy_1 axis is parallel with the transverse main central axis of the undercarriage inertia in the position of balance and the Oz_1 axis is directed vertically downwards.
2. $O_2x_2y_2z_2$ - mobile coordinate system connected with the center of the radial axial bearing O_2.
3. $O_3x_3y_3z_3$ - coordinate system connected with the joint center O_3 and redirected by the generalized coordinate α in relation to the coordinate system $O_2x_2y_2z_2$.
4. $O_4x_4y_4z_4$ coordinate system connected with the joint center O_4 and redirected by the generalized coordinate β in relation to the coordinate system $O_3x_3y_3z_3$.

5. $O_5x_5y_5z_5$ coordinate system connected with the joint center O_5 and redirected by the generalized coordinate γ in relation to the coordinate system $O_4x_4y_4z_4$.

Transformation matrices

To determine the speeds of the characteristic points with such complex mechanical systems, the method applied is the one based on setting up and transforming the adequate mobile coordinate systems.

To determine vectors of the characteristic points' position in relation to the absolute coordinate system, we determined the matrices of elementary rotations around the axes Ox, Oy and Oz and the transformation matrices of the immobile coordinate system $Oxyz$ into the mobile coordinate systems $O_ix_iy_iz_i$ where *i*=1-5 as well as the matrices of mobile coordinate system transitions from one into another.

For calculating kinetic energy, it is necessary to calculate the speed of the mass centres of some hydraulic excavator parts. To be able to do this, we need the system characteristic points vector positions (Figure 4). The absolute coordinate system, the undercarriage coordinate system and the undercarriage mass center are placed together in one point, i.e. $O = O_1$.

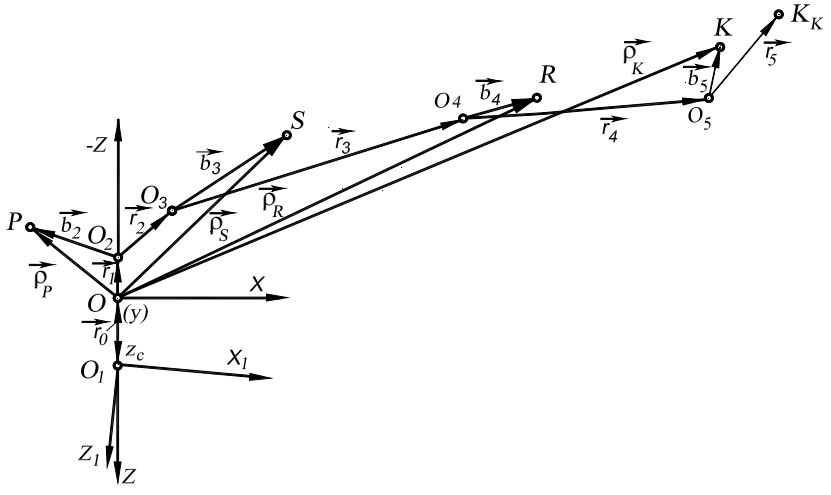

Figure 4 – Radius vectors of the characteristic system points
Рис. 4 – Радиус-векторы характеристических точек системы
Слика 4 – Радијус вектори карактеристичних тачака система

Mathematical excavator model

Mathematical excavator model is based on general mechanical theorems or on applying Lagrange equations of the second kind. These are the starting assumptions taken into account when creating the mathematical model:

1. The backing and the parts of the excavator kinematic chain are modelled with rigid bodies,
2. During its manipulating tasks, the excavator work is stable with no possibility for the movements in the zero joint to appear,
3. Excavator kinematic chain is observed as an open configuration chain with its last part – the bucket – being affected by the technological resistance of digging, and
4. During its manipulating tasks, the excavator kinematic chain is affected by the forces of gravity, inertia and some external forces – digging resistance.

The excavator model space is determined by the absolute coordinate system $Oxyz$. The excavator backing lies in the horizontal plane Oxy of the absolute coordinate system, while the vertical axis Oz is parallel with the kinematic pair seen as the undercarriage and the rotary part. Each excavator part is determined in its local coordinate system $O_i x_i y_i z_i$ (Figures 1 and 2). The coordinate beginning of the local coordinate system is parallel with the center of the joint connecting that particular part with the previous one, while some axis are directed in such a way that they are parallel with the joint axis, and as for manipulators (boom, arm and bucket), they are parallel with the kinematic longitude of the part. For the bucket, the local coordinate system axis $O_5 x_5$ goes through the joint center O_5 and through the center of the bucket cutting edge.

Differential movement equations are based on Lagrange equations of the second kind:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_r}\right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_r} + \frac{\partial E_p}{\partial q_r} = Q_r^N, q_r = z_c, \varphi, \theta, \alpha, \beta, \gamma, r = 1,2,3,4,5,6 \qquad (2)$$

where:

E_k - is system kinetic energy,

E_p - is system potential energy,

Q_r^N - is generalized forces.

Resolving the systems of differential equations

The presented mathematical model represents the system of six nonlinear, nonhomogeneous differential equations of the second kind that was resolved by using discrete numerical methods and packets in the MATLAB program. The Runge-Kutta Method applies perfectly well to these systems of differential equations so it is necessary to write the equation in the matrix form:

$$A \cdot \ddot{q} + C \cdot \dot{q} + B \cdot q = D \tag{3}$$

where the correspnding matrices A, B, C and D are the functions of the generalized coordinates and speeds. The matrix A is the mass (inertia) matrix,

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \tag{4}$$

The elements of the mass (inertia) matrix are symetric because the condition has been fulfilled:

$$a_{ij} = a_{ji} \tag{5}$$

The matrix B is a rigidity matrix.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & 0 & 0 & 0 \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & 0 & 0 & 0 \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{66} \end{bmatrix} \tag{6}$$

The matrix D is an actuation forces matrix.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{21} \\ d_{31} \\ d_{41} \\ d_{51} \\ d_{61} \end{bmatrix}. \tag{7}$$

The matrix C is a damping matrix and it is hard to form it because $\dot{z}_c, \dot{\varphi}, \dot{\theta}, \dot{\alpha}, \dot{\beta}$ and $\dot{\gamma}$ are close-coupled and they are also close-coupled with $z_c, \varphi, \theta, \alpha, \beta$ and γ making them almost impossible to split up. It is possible to make the systems of differential equations linear, and being taken as given, it would be possible to find out the matrix C**.** However, this does not have to be done, because resolving nonlinear equations is provided by MATLAB. Because of applying the MATLAB programme package it is necessary to write the equation in the matrix form:

$$A \cdot \ddot{q} = -\left(C \cdot \dot{q} + B \cdot q - D\right) \tag{8}$$

where it comes that:

$$A \cdot \ddot{q} = -S$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{z}_C \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \\ \ddot{\beta} \\ \ddot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ s_{31} \\ s_{41} \\ s_{51} \\ s_{61} \end{bmatrix} \tag{9}$$

From the previous it comes that:

$$\ddot{q} = -A^{-1} \cdot S$$

Or

$$\begin{bmatrix} \ddot{z}_C \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \\ \ddot{\beta} \\ \ddot{\gamma} \end{bmatrix} = A^{-1} \cdot \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ s_{31} \\ s_{41} \\ s_{51} \\ s_{61} \end{bmatrix} \tag{10}$$

where the matrix *S* is the column

$$-S = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ s_{31} \\ s_{41} \\ s_{51} \\ s_{61} \end{bmatrix}$$

It is possible to resolve accelerations and speeds prepared in this way with the MATLAB programme package with variable changes done beforehand as following:

$$\begin{aligned} &x_1 = z_C,\ x_2 = \dot{z}_C,\ x_3 = \varphi,\ x_4 = \dot{\varphi},\ x_5 = \theta,\ x_6 = \dot{\theta} \\ &x_7 = \alpha,\ x_8 = \dot{\alpha},\ x_9 = \beta,\ x_{10} = \dot{\beta},\ x_{11} = \gamma,\ x_{12} = \dot{\gamma} \end{aligned} \tag{11}$$

The form of the system of differential equations looks like this:

$$A\left(z_c, \varphi, \theta, \alpha, \beta, \gamma\right) \cdot \begin{bmatrix} \ddot{z}_C \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \\ \ddot{\beta} \\ \ddot{\gamma} \end{bmatrix} = S\left(z_c, \varphi, \theta, \alpha, \beta, \gamma, \dot{z}_c, \dot{\varphi}, \dot{\theta}, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{\gamma}\right) \tag{12}$$

and is transformed into the system of twelve differential equations of the first kind making it suitable for numerical resolving by applying the MATLAB programme package.

Determining the dynamic behaviour of hydraulic excavators

Resolving equation systems (3) used for describing the dynamic behaviour of the hydraulic excavator can be divided into:

- determinig natural frequencies and oscillation types
- determining the vectors of mobility $q_i\left(q_i = z_c, \varphi, \theta, \alpha, \beta, \gamma\right)$.

Determining natural values

Vibration issues are mostly connected with resonance, where one or more forms of vibration are activated by work power forces. Vibration forms lying among dynamic work forces' frequency levels are always a potential threat to cause problems. The modal analysis makes it possible to determine frequencies that may cause resonance to appear. The modal analysis is the process of determining all modal parametres sufficient for formulating a mathematical-dynamic model. The modal parametres are: modal frequencies, modal dampings and modal shapes. One of the very important mode properties is that any forced or free structure response may be brought together in one set of modes (Batinić, 2013), (Den Hartog, 1972).

Natural system values, i.e. natural frequencies and the corresponding vectors – modal forms – will be obtained through the free vibration system analysis while considering the homogeneous part of equation (3):

$$A \cdot \ddot{q} + B \cdot q = 0 \tag{13}$$

For the purpose of mathematical modelling of the free system vibrations, the aim of which is to determine their own values, it could be assumed that damping C within the system is negligible. According to the well-known procedure for determining the equation system own values (3), the dynamic matrix U is formed together with its characteristic determinant, i.e. a characteristic system equation:

$$\det\left(\lambda \cdot I - U\right) = 0$$

where:

- $U = A^{-1} \cdot B$ - the dynamic system matrix where A and B are the inertia matrix and the system rigidity matrix,
- unit matrix,

- $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$ - i.e. ω is the system natural frequency.

The observed hydraulic excavator is described by means of the system of nonlinear differential equations meaning that the system dynamic properties cannot be taken as constants. It applies in the same way to both rigidity and damping coefficients and their matrices coefficients. In such cases, it is not possible to make any separations based on their characteristic forms, by means of the vertical coordinates into a set of independent equations. A possibility of a step-by-step numerical integration is used for this kind of analysis – for certain time interval, the system is cosidered as linear with the characterisitcs it had at the beginning of that time interval. So, a nonlinear analysis is approximated by the series of variable gradual system analyses (Batinić, 2000).

The matrix U own values are zeros of the matrix U characteristic polynomial i.e. the roots of the characteristic equation (13). In order to obtain own values and their corresponding vectors, we considered the system parametres at a certain point of time, taken from the results of the numerical system analysis of differential equations at a certain point of time, for example at a point of time $t = 0.100\ s$, i.e. in iteration $n = 19999$ at a small initiative system motion. This is a necessity because the mass matrices and the system rigidities are subordinate to the generalized coordinates and their speeds, and as such they cannot be used for obtaining dynamic system matrices. The matrices of rational values were obtained by this procedure (Jovanović et al, 2004). The system state vector is shown in Table 1.

Table 1 – System State Vector
Таблица 1 – Вектор состояния системы
Табела 1 – Вектор стања система

z_c	$\dot{z}_c$	φ	$\dot{\varphi}$	θ	$\dot{\theta}$
-0.0022	0.0913	-0.0010	-0.9068	-0.0013	0.0105

α	$\dot{\alpha}$	β	$\dot{\beta}$	γ	$\dot{\gamma}$
0.0049	-0.1762	-0.0903	-3.2058	0.0398	8.7507

The inertia matrix A and the rigidity matrix B of the system at the determined point of time are:

$$A = 1.0e+0.04 \cdot \begin{bmatrix} 1.0633 & 0.9423 & -0.2444 & -1.5645 & -0.2090 & 0.0080 \\ 0.9423 & 6.6536 & -0.3062 & -5.8923 & -1.8336 & 0.8307 \\ -0.2444 & -0.3062 & 4.1787 & 0.4836 & 0.0661 & -0.0009 \\ -1.5645 & -5.8923 & 0.4836 & 9.1443 & 1.3128 & -0.3437 \\ -0.2090 & -1.8336 & 0.0661 & 1.3128 & 0.8656 & -0.3928 \\ 0.0080 & 0.8307 & -0.0009 & -0.3437 & -0.3928 & 0.4432 \end{bmatrix}$$

$$B = 1.0e+0.08 \cdot \begin{bmatrix} 0.600 & 0 & -0.6120 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.6869 & -0.9890 & 0 & 0 & 0 \\ -0.6120 & -0.9890 & 2.4970 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1169 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0056 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0038 \end{bmatrix}$$

Applying the function $[V, D] = eig(U)$ from the MATLAB programme package will make it possible to obtain the diagonal matrix D containing own values on the main diagonal. We also obtained the full matrix V whose columns are the corresponding matrix U vectors.

$$D = 1.0e+0.04 \cdot \begin{bmatrix} 1.4791 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8468 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2449 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0281 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0130 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0041 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} -0.1588 & -0.8613 & -0.6478 & -0.0059 & -0.0169 & 0.0071 \\ -0.5614 & 0.2806 & -0.3303 & -0.0034 & -0.0115 & 0.0088 \\ 0.1679 & 0.1327 & -0.4723 & -0.0027 & -0.0082 & 0.0051 \\ -0.2906 & -0.0266 & -0.2479 & 0.1243 & 0.2179 & -0.0655 \\ -0.7119 & 0.2957 & -0.4279 & -0.6816 & 0.1570 & -0.7386 \\ 0.2004 & -0.2715 & 0.0603 & -0.7210 & 0.9630 & 0.6708 \end{bmatrix}.$$

The range of natural frequencies was obtained by finding the square root of the diagonal matrix D solution and dividing it by 2π (Table 2).

Table 2 – Natural frequencies
Таблица 2 – Естественные частоты
Табела 2 – Сопствене фреквенције

Natural frequencies	ω_{Zc}	ω_{φ}	ω_{θ}	ω_{α}	ω_{β}	ω_{γ}
rad/s	121.6164	92.0227	49.4916	16.7553	11.4087	6.4191
Hz	19.3558	14.6459	7.8768	2.6667	1.8158	1.0216

The natural frequencies for the state vector of equal system activation with the time of $t = 0.025s$ and the iteration of 4999 were calculated as shown in Table 3.

Table 3 – Natural frequencies
Таблица 3 – Естественные частоты
Табела 3 – Сопствене фреквенције

Natural frequencies	ω_{Zc}	ω_{φ}	ω_{θ}	ω_{α}	ω_{β}	ω_{γ}
rad/s	0+131.90*i*	96.16	78.41	47.39	14.12	8.62
Hz	0+20.9918*i*	15.3041	12.4792	7.5420	2.2474	1.3718

Determining motion vectors on the generalized coordinates

Differential equations were resolved by applying the MATLAB packet programme, and the generalized coordinates of free oscillation models and their derivatives for the time $t = 0.1s$ were obtained as well. The simulation of the observed hydraulic excavator behaviour was done at the beginning of moving the soil away, after the excavation of the soil had been finished with the angles of $\alpha_0 = -35^0$, $\beta_0 = -80^0$ and $\gamma_0 = 160^0$ together with the angle $\psi = 90^0$ regarded as the most unfavourable for excavator operations. The initial movements were very near zero. The simulation results are shown in Figures 5 – 10.

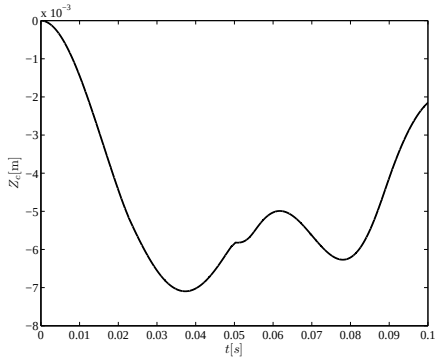

Figure 5 – Vertical motion of the undercarriage mass center - z_c

Рис. 5 – Вертикальное перемещение центра массы опорно-ходового устройства - z_c

Слика 5 – Вертикално померање средишта масе ослоно-кретног члана – z_c

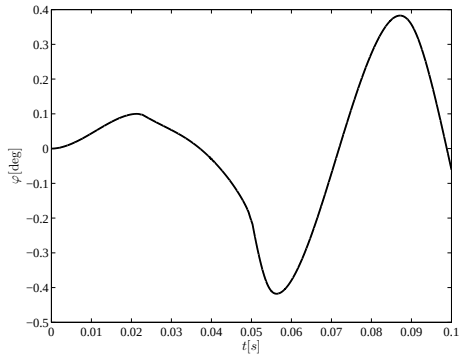

Figure 6 – Angle of the undercarriage rotation around the longitudinal main central axis of inertia $O_1x_1 - \varphi$

Рис. 6 – Угол поворота опорно-ходового устройства вокруг продольной главной центральной оси инерции $O_1x_1 - \varphi$

Слика 6 – Угао обртања ослоно-кретног члана око уздужне главне централне осе инерције $O_1x_1 - \varphi$

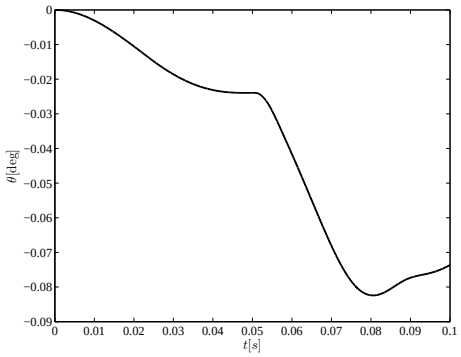

Figure 7 – Angle of the undercarriage rotation around the transversal main cental axis of inertia $O_1y_1 - \theta$

Рис. 7 – Угол поворота опорно-ходового устройства вокруг поперечной главной центральной оси инерции $O_1y_1 - \theta$

Слика 7 – Угао обртања ослоно-кретног члана око попречне главне централне осе инерције $O_1y_1 - \theta$

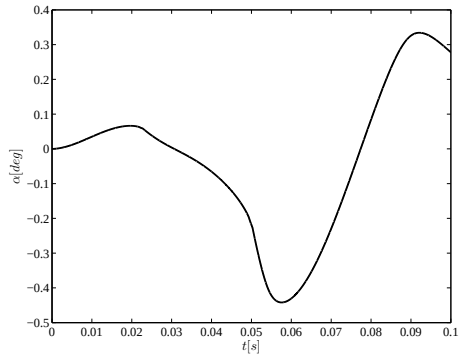

Figure 8 – Angle of the boom rotation of the manipulator around the axis $O_3y_3 - \alpha$

Рис. 8 – Угол поворота срелы манипулятора вокруг оси $O_3y_3 - \alpha$

Слика 8 – Угао обртања стреле манипулатора око осе $O_3y_3 - \alpha$

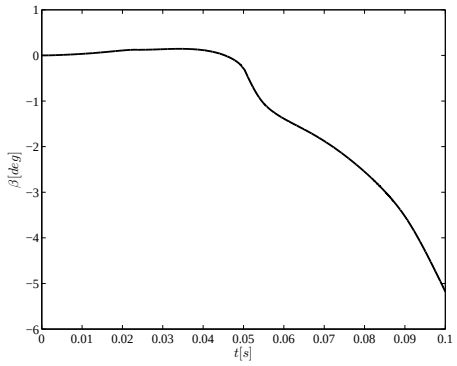

Figure 9 – Angle of the arm rotation of the manipulator around the axis O_4y_4 of the joint in the end of the boom - β

Рис. 9 – Угол вращения рукояти манипулятора вокруг оси O_4y_4 шарнира на конце стрелы - β

Слика 9 – Угао обртања руке манипулатора око осе O_4y_4 зглоба на крају стреле – β

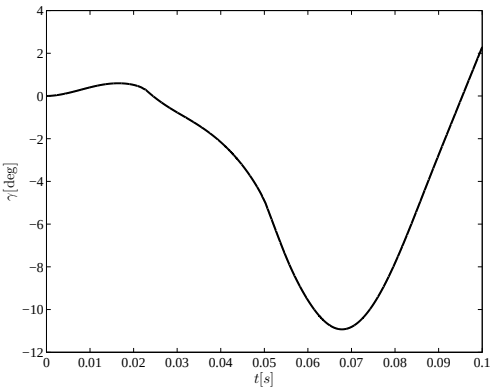

Figure 10 – Angle of the bucket rotation of the manipulator around the axis O_5y_5 of the joint in the end of the arm - γ

Рис. 10 – Угол вращения ковша манипулятора вокруг оси O_5y_5 шарнира на конце рукояти

Слика 10 – Угао обртања кашике манипулатора око осе O_5y_5 зглоба на крају руке – γ

Results analysis

The observed hydraulic excavator system was activated by a very small initial value of one of the generalized coordinates. This possibility is allowed by the simulation programme package. That way, the system is exposed to free oscillations. This state is described by homogeneous nonlinear differential equations.

The natural frequencies obtained by the mathematical model based on the generalized coordinate *z* have the values of $\omega_{Zc} = 19.3558Hz$ and $\omega_{Zc} = 0 + 20.9918i$. These frequencies on the *z* axis have the biggest impact on the excavator operator. When compared with some resonant frequencies [3-20*Hz*] it is possible to claim that, for some human organs, they partially overlap. This could cause problems to the operator in case of being in action over a longer period of time.

By analyzing the previously described numerical experiments, it is clear that some kinds of movement freedom, i.e. generalized coordinates, generate free oscillations of certain frequencies that do not allow the

system to easily calm down after the initiative activation time. It was even proved that, with only one activation, within the observed time interval, at one iterration only, the system has free oscillations of one degree of freedom, and that at the second iterration it has free socillations of another degree of freedom. All these facts clearly indicate that the system is dynamically unstable or at least on the very edge of the stability reference values. The described fenomenon of free oscillation is proved on the generalized coordinate z_c.

Figure 5 shows the nature of the vertical movement of the undercarriage mass center. It is clear that the oscillation amplitudes are within the tolerable limits and that they gradually go down with the system tending to calm down.

Figure 6 shows the nature of the rotation angle change φ around the undercarriage longitudinal axis. The oscillation amplitude is tolerable, but there is no evidence of its going up or down within the observed interval of simulation.

Figure 7 illustrates the rotation angle change θ around the transversal undercarriage axis O_1y_1. The oscillation amplitude is within tolerable limits, but like in the previous case, there is no evidence of the amplitude tending to go up or down within the observed interval of simulation.

The change of the rotation angle of the manipulator boom α around the axis $O_3y_3 - \alpha$ inside the joint connecting the manipulator and the undercarriage is described in Figure 8. The oscillating nature of this angle's change within the observed time interval is obvious, but with the amplitude tending to go down.

Figure 9 shows the change in the rotation angle of the manipulator arm β around the axis O_4y_4 of the joint in the end of the boom. The displayed change is not oscillatory, in the observed time, and it has a tendency to grow up to unacceptable values. This tendency is conditioned by free oscillation of the excavator in the generalized coordinates z.

Figure 10 shows the change in the bucket rotation angle of the manipulator γ around the axis O_5y_5 of the joint in the end of the arm. The displayed change has the oscillatory character with an increased amplitude value. In the observed simulation time, the tendency to a reduced or increased amplitude cannot be estimated.

The graphics of the generalized coordinates in Figures 9 and 10 do not show the system calm down within the observed time interval because the system is within the unstability area or on the very edge of the stability reference values, which was caused by free system oscillation on one of

the generalized coordinates. Because of this, immediately after the time of t=0.1 s the system gets into resonance with a significantly increased oscillation amplitude. In order to get the system calm down, i.e. to make the oscillation amplitudes on all generalized coordinates reach lower values, preferably zero, all real parts of the characteristic system equation square roots ought to be negative. This precondition for the observed excavator has not been met.

Conclusion

This paper deals with the analysis of the dynamic behaviour of hydraulic excavators. By applying the dynamic-mathematical model, we determined the level and nature of dynamic motions and natural frequencies. An excavator operator is a person who is seated in the rotating platform. System vibrations reach him via the excavator backing. This predominantly refers to the vibrations on the generalized coordinate z_c, which is a longitudinal direction, i.e. the direction of the operator's backbone and that is why exposure to these vibrations was addressed to with special attention. Besides these vibrations, the operator is exposed to the vibrations on the generalized coordinates φ and θ which additionally makes the situation more complicated and increases possible harmful impacts on the operator's health. The hydraulic excavator natural frequency values, derived from analytical calculations, prove the intensity so high that it might cause serious problems to the operator's health. By comparing the natural frequency intensity values on the generalized coordinates θ, φ and θ with the resonance frequencies for some human organs, the possibility of serious harmful effects is obvious.

Describing the hydraulic excavator dynamic behaviour by the system of nonlinear, nonhomogenous differential equations made it possible to improve the analytical-mathematical model by which a simulated situation is almost like a real life situation of an excavator in operation.

By applying the modal analysis, it was possible to determine certain system frequencies and their corresponding vectors which might cause resonance to appear and thus spoil the operator's working condition comfort.

The numerical analysis was carried out for the BTH-600 excavator structure. The obtained results indicate that the structure was not composed at its best and that a dynamic analysis should be used to improve the dynamic characteristics of the observed system.

References

Batinić, V. 2013. Planetary gear dynamic response to mesh parametric excitation. *Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier,* 61(1), pp.58-68 (in Serbian). Available at: http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg61-2006.

Batinić, V. 2000. *Unutrašnja dinamika opterećenja planetarnih prenosnika,* MSc thesis, University of Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering (in Serbian).

Den Hartog, J.P., 1972. *Vibracije u mašinstvu*. Beograd: Građevinska knjiga (in Serbian).

Frimpong, S., Hu, Y. & Inyang, H. 2008. Dynamic Modeling of Hydraulic Shovel Excavators for Geomaterials.*International Journal of Geomechanics,* 8(1), pp.20-29. Available at: http://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-3641(2008)8:1(20).

Holclajtner, M., Jeremić, O. & Milinović, M. 2010. Simulacija rafala višecevnog bacača raketa. *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,* 58(2), pp.5-25 (in Serbian). Available at: http://doi.org/10.5937/vojtehg1002005H.

Janošević, D. 1997. *Optimalna sinteza pogonskih mehanizama hidrauličkih bagera*, Ph.D. thesis, University of Niš: Faculty of Mechanical Engineering (in Serbian).

Jovanović, M., Janošević, D. & Milić, P. 2004. Modalna fem analiza kostura kretnog mehanizma hidrauličkog bagera. In: *Naučno-stručni skup Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema, IRMES*, Kragujevac (in Serbian).

Lazarević, D. 2003. *Inžinjerijske mašine 1*. Belgrade: Vojna akademija - Generalštab Vojske Srbije i Crne Gore - Uprava za školstvo i obuku (in Serbian).

Lazarević, O., Batinić, V. & Ranđelović, A. 2014. Određivanje brzina karakterističnih tačaka hidrauličkog bagera. In: *4. međunarodna konferencija za geometriju i grafiku moNGeometrija*, Vlasina (in Serbian).

Lazarević, O., Krsmanović, M. & Perić, S. 2008. Analysis of dynamic behavior generators of hydraulic excavator. In: Kongres MVM, Kragujevac.

Vähä, P.K. & Skibniewski, M.J. 1993. Dynamic Model of Excavator. *Journal of Aerospace Engineering,* 6(2), pp.148-158. Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0893-1321(1993)6:2(148).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Олгица Ж. Лазаревич[а], *Боро* М. Лазаревич[б]
[а] Университет обороны в г. Белград, Кафедра военно машиностроительного инжиниринга, г. Белград, Республика Сербия
[б] Китайская компания коммуникаций и строительства, г. Белград, Республика Сербия

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

Резюме:

В данной работе представлены исследования динамических параметров гидравлического экскаватора: естественные частоты и движение. Работа экскаватора описана путем математических моделей с шестью обобщенными координатами, полученными на основании уравнений Лагранжа второго рода. Разработанная математическая модель системы экскаватора представляет собой систему нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений второго рода. С помощью моделирования с реальными значениями параметров получены функции изменений движения и естественной частоты при допустимых степенях свободы, благодаря чему можно провести анализ характера и интенсивности движения, воздействия этих параметров на машиниста и оптимизировать конструкцию экскаватора (изменение массы, жесткости и демпфирования).

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, динамические характеристики, математическая модель, естественные частоты, движение.

ОДРЕЂИВАЊЕ ДИНАМИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ХИДРАУЛИЧКИХ БАГЕРА

Олгица Ж. Лазаревић[а], *Боро* М. Лазаревић[б]
[а] Универзитет одбране у Београду, Војна академија,
Катедра војномашинског инжењерства, Београд, Република Србија
[б] China Communication Construction Company, Београд, Република Србија

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

Сажетак:

У раду су приказана истраживања динамичких карактеристика хидрауличких багера: сопствене фреквенције и померања. Рад багера описан је математичким моделом са шест генералисаних координата који је добијен применом Лагранжевих једначина друге врсте. Добијени математички модел система багера представља систем од шест нелинеарних нехомогених диференцијалних једначина другог

реда. Симулацијом са реалним вредностима параметара добијене су функције промене померања и сопствене фреквенције по дозвољеним степенима слободе, што омогућава испитивање карактера и интензитета тих померања, утицаја параметара на руковаоца багера и оптимизацију конструкције багера (промене маса, крутости и пригушења).

Кључне речи: хидраулички багер, динамичке карактеристике, математички модел, сопствене фреквенције, померање.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 30.06.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 26.11.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 28.11.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

NUMERICAL MODELING OF THE IMPACT OF PROJECTILES ON METAL STRUCTURES

Dragoljub M. Spasić
Serbian Armed Forces, General Staff, Directorate for Logistics (J-4),
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: spasic.dragoljub@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-5570-955X

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-9604

FIELD: Mechanical Engineering
ARTICLE TYPE: Review Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

This paper describes the numerical modeling of impact damage caused by impacts of projectiles on metal structures and the experimental results of impacts of projectiles of different shapes on metal structures. The experiments were carried out by the impact of projectiles on metal barriers of steel and aluminum of different thicknesses with the change in the impact speed of projectiles. In order to make the effects of experimental impact simulations as close as possible to real ones, the missile impacts are varied to match the average and limit speeds of impacts of projectiles that break obstacles. The obtained experimental results coincided well with the real effects on metallic obstacles and similar conducted tests from foreign literature.

Key words: aircraft, aircraft structure, impact, impact damage, modeling, missile, bullet projectile, penetrator, projectile penetration, penetration, ballistic protection.

Introduction

The impact of a projectile onto an obstacle at high speeds can cause various forms of damage to the obstacle. Depending on the speed of the projectile and the resistance of the obstacle, the projectile usually breaks through the obstacle, creates a surplus and / or stays in the obstacle or destroys the obstacle completely. The process that arises during the

impact of the projectile and its possible breakthrough is hard to conceive without any comprehensive experimental testing. However, numerical calculations in a combination with theoretical and experimental results provide a wide range of analyzes of different types of impacts from the point of view of materials used, geometry and variations of all parameters of the impact (initial projectile velocity, angle of impact).

Numerical modeling requires knowledge of both numerical methods and the mechanics of a rigid and deformable body (material resistance, theory of elasticity and plasticity, propagation of the deformation wave, etc.).

The earliest numerical simulations of impact and penetration were related to high impact and these early formulations did not include strength effects, so metals were treated as viscous fluids, and the terms "hydrodynamic computer codes" were used to refer to these computer programs (Anderson, 1987, pp.33-59). Anderson et al. (1994, pp.201-223) gave a brief history of the evolution and development of hydrocodes in relation to impact problems in which models of damage and deep penetration are particularly indicated. The most used models for determining possible structural damage in hydrosimulations required the definition of a critical value of voltage, deformation, plastic work, and other current criteria.

Penetration of high speed projectiles

In order to describe various phenomena that occur during ballistic penetration, it is necessary to characterize the behavior of materials in the conditions of impact load that generates high deformation rates. Characterization includes not only stress-deformation reactions in large deformations, different deformation rates and temperatures, but also the accumulation of damage and the type of damage. Such complex material behavior includes fractures which are difficult to describe with analytical models. In numerical simulations, constituent models of any degree of complexity can be incorporated into the code. However, although many difficulties in obtaining constants for dynamic material behavior are present, engineering models are preferred for more sophisticated models. The first problem examined is the penetration of an aluminum plate with a projectile made of Arne tool steel and the second problem is the penetration of a steel target with a projectile made of Arne tool steel as well (Backman & Goldsmith, 1978, pp.1-99).

Low density, high specific strength, good energy absorption, good corrosion resistance, good thermal conductivity and poorer sensitivity to adiabatic shear and thermoplastic instability are the characteristics of aluminum alloys that make them suitable for this purpose. In addition, many aluminum alloys can easily be shaped into complex structures.

In this paper, the perforation of a Weldox 460E steel plate and an aluminum plate with a steel projectile will be considered. The most important characteristic that points to the protective capability and resistance of the impact board is the ballistic limit i.e. ballistic boundary velocity which represents the greatest speed of impact of the projectile in which the plate will not break. In order to determine the ballistic speed and the remaining speed in the past, analytical and empirical models were created; they could somehow predict the behavior of the materials exposed to impact. With the development of computer technology, a possibility of numerically solving this problem was created. The most commonly used methods for numerical stroke calculation are the Finite Element Method (FEM) and the Smooth Particle Method (SPH). Lately, a combination of these two methods, the SFM method, has become increasingly popular.. In this paper, we will show the analysis of the impact of a projectile with a sharp tip on a flat aluminum plate and compare the results obtained with the FEM and SFM methods with the experimental results.

Constitutional model

The impact is often caused by the plastic flow of materials with high deformation rates, local temperature rise and material cracking. The standard approach to solving the problem of impact involves two different constituent models: one that defines plasticity and the other that defines the criterion of damage (breakdown) of the material. In the literature for this type of analysis, Jonson-Kukow (JS) constitutive models are most often used, and for this reason they will be used in this paper as well. These two models are not linked and can be used separately.

Johnson & Cook created a constitutive model for metals exposed to large deformations, high deformation rates and high temperatures, primarily designed for impact calculations (Johnson & Cook, 1985, pp.31-48). In order to define the characteristics of the material, this model uses five different coefficients which must be determined by experimental testing. Johnson & Cook presented Fon Mises's flow stress with the relation:

$$\overline{\sigma} = \left[A + B\dot{\bar{\varepsilon}}_p^{n}\right]\left[1 + C\ln\dot{\bar{\varepsilon}}_p^{*}\right]\left[1 - T^{*m}\right] \tag{1.1}$$

where $\overline{\sigma}$ is the von Mises equivalent of voltage. The coefficients A, B, n, C and m are the material constants. The constant A is the flow stress, B and n are the results of hardening, and C is the deformation rate constant. $\dot{\bar{\varepsilon}}_p^{*} = \dot{\bar{\varepsilon}}_p / \dot{\varepsilon}_0$ is the dimensionless deformation speed, $\dot{\bar{\varepsilon}}_p$ is the the quivalent plastic deformation, $\dot{\varepsilon}_0$ is the reference deformation rate,

T^* is the corresponding homogeneous temperature defined as $T^* = (T - T_r)/(T_m - T_r)$, and T is the absolute temperature, while the exponents *r* and *m* indicate the room temperature and the melting temperature. Borvik et al (2003, pp.413-464), (2004, pp.367-384) made the modification of Johnson-Kook's model and his relation is in the form:

$$\bar{\sigma} = \left[A + B\bar{\varepsilon}_p^n\right]\left[1 + \dot{\bar{\varepsilon}}_p^*\right]^C \left[1 - T^{*m}\right] \tag{1.2}$$

In this model, we can see that when the deformation rates are approximate, i.e. uniform, then the deformation rate tends to zero, which has a great advantage in determining the model parameters and for the numerical implementation of this model.

By combining an elasto-high-plastic model with ductile damage, a quasi-Fon Mises voltage is given as

$$\bar{\sigma} = \left[1 - \beta D\right]\left[A + Br^n\right]\left[1 - \dot{r}^*\right]^C \left[1 - T^{*m}\right], \tag{1.3}$$

where *D* is variable damage, taking the values between 0 as conditional and 1, when a complete breakthrough occurs, $\dot{r} = (1 - \beta D)$ is the damage equivalent to the plastic deformation rate, and $\dot{r}^* = \dot{r}/\dot{\varepsilon}_0$ is the dimensional damage equivalent to the plastic deformation rate.

Lee & Yoo (2001, pp.819-829) have also taken into account the effect of temperature increase resulting from the adiabatic heating of materials, i.e. work that transforms into heat when it flows into heat:

$$\dot{T} = x\frac{\overline{\sigma\varepsilon}_p}{\rho C_p}, \tag{1.4}$$

where ρ is density, C_p is specific heat, and *x* (Taylor, 1948, pp.103-124) is the empirical coefficient which represents a ratio which transforms into heat in a plastic flow. For metal plates, it is usually assumed that this coefficient is 0.9.

The authors of this paper consider that satisfactory results can be obtained by the original Johnson-Kuk model, and for this reason only the standard unconfigured Johnson-Kuk's constitutive model of material strength will be used. As a criterion for material fracture, Johnson & Cook proposed a constituent model adapted to computer simulations, and it is represented by relations:

$$\sigma = \left[A + B(\varepsilon_p)^\alpha\right]\left[1 + C\ln\dot{\varepsilon}_{eff}\right]\left[1 - \left(\frac{(T - T_r)}{(T_m - T_r)}\right)^b\right] \tag{1.5}$$

$$D = \sum_{t=0}^{t_C} \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^f} \tag{1.6}$$

$$\varepsilon^f = \left[D_1 + D_2 \exp D_3 \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e} \right) \right] \left[1 + D_4 \ln \dot{\varepsilon}_{eff} \right] \left[1 - D_S T^* \right], \tag{1.7}$$

where ε^f is the equivalent deformation to fracture under the current temperature conditions, *(ε_0=1s-1)* and ε_p are equivalent and plastic stretching, $\dot{\varepsilon}_{eff} = \varepsilon_p / \varepsilon_0$ the effective stretching rate, T_m and T_r are the reference flow temperature and room temperature, tc is the time in the time of impact, σ_a and σ_e are average normal and equivalent voltage and *A*, *B*, *a*, *C* and b are the constants of the material.

In these relations, *D* represents five parameters of the element damage and a fracture is possible when *D=1*.

Modeling of materials

Johnson-Cook's constituent models of strength and breakage of materials were used for the numerical analysis in this paper. The material used in the analyses is a Weldox 460E steel plate and an aluminum alloy AA5083-H116 plate. This alloy belongs to the class AA5xxx, i.e. aluminum-magnesium alloys. It has good rolling properties and is therefore convenient for use; it also has good corrosion resistance. The AA5083-H116 alloy is the second-strongest commercial aluminum-megane-based alloy. A detailed analysis of the material characteristics and the definition of the coefficients for Johnson-Kuk's constitutive models were done by Clausen et al. (2004, pp.260-272).

The characteristics of the materials and the values of the coefficients used in the analyses are shown in Tables 1-3.

Table 1 – Characteristics of the materials for the Weldox460E steel plate
Таблица 1 – Характеристики материалов для стальной плиты Weldox460E
Табела 1 – Карактеристике материјала за челичну плочу Weldox460E

E [GPa]	ν	ρ [kg/m3]	A [MPa]	B [MPa]	$\dot{\varepsilon}$ [s-1]	n	C	m	Dc
200	0.33	7850	490	807	1	0.73	0.00114	0.94	0,30
Cp [J/kgK]	α	$\overline{\alpha}$ [K-1]	Tt [K]	Ta [K]	D1	D2	D3	D4	D5
910	0.9	1.1×10^{-5}	1800	293	0.0705	1.732	-0.54	-0.015	0

Table 2 – Characteristics and constants for the AA5083-H116
Таблица 2 – Характеристики и константы AA5083-H116
Табела 2 – Карактеристике и константе за AA5083-H116

E [GPa]	ν	ρ [kg/m3]	A [MPa]	B [MPa]	$\dot{\varepsilon}$ [s-1]	n	C	m	Dc
70	0.3	2700	167	596	1	0.551	0.001	0.859	1
Cp [J/kgK]	α	$\overline{\alpha}$ [K-1]	Tm [K]	T0 [K]	D1	D2	D3	D4	D5
452	0.9	2.3 x 10^{-5}	893	293	0.0261	0.263	-0.349	0.147	16.8

The projectile is modeled with the characteristics of Arne tool steel. Its characteristics are shown in Table 3.

Table 3 – Characteristics of Arne tool steel
Таблица 3 – Характеристики инструментальной стали Арне
Табела 3 – Карактеристике алатног челика арне

σ_Y [GPa]	ν	ρ [kg/m3]	E [GPa]	Et [MPa]	ε_t [%]
1.9	0.33	7850	204	15	2.15

In this study, steel projectiles with different tip shapes and dimensions (blunt, conical and hemispherical) were used to simulate perforation and penetration (piercing, deep damage and blooming) of steel and aluminum plates.

(I) The blunt projectile was used to test impact damage including the perforation of the Weldox 460E steel plate with a plate thickness of 6, 8, 10, 12, 16 and 20 mm,

(II) Perforation of steel plates with a thickness of 12 mm projectiles of different tips, and

(III) Perforation of AA5083-H116 aluminum plates with conical steel projectiles with thicknesses of 15, 20, 25 and 30 mm.

The simulated values of initial velocities and ballistic boundary velocities are compared with the experimental results.

In high-speed impacts, materials are usually subjected to extreme stretching, high impact of plastic deformations, increased temperature and serious damage. The constitutive bond for metals, Johnson-Kook's model, was proposed considering all the above parameters, Johnson-Kuk's model materials. The damage parameter, stretching and fracture are expressed in the original form, as in the equations from 1.5 to 1.7.

Numerical analysis

Independently of the experimental testing, the mechanisms of damage to the steel Weldox 460E plates and the AA5083-H116 aluminum plates during a ballistic shock can be determined using numerical simulations. Although this

method has become popular in characterizing all types of materials,it has to be used with caution and always confirmed by experiments. It is also uncertain whether experimental testing can be completely replaced by a numerical simulation.

A numerical simulation of the problem of impact on the steel and aluminum plates was carried out by a projectile from Arne tool steel and analyzed to obtain estimates of global damage. All these predictions were made using the numerical code of the final difference of the AUTODYN-2D and 3D program, and then compared with the experimental data to illustrate the simulation performance. Autodyn has seven different solverers for spatial discretization: Lagrange, Shellm, Beam, ALE, SPH, Euler-FCT, and Euler-Godunov. When it comes to balistics problems, the most commonly used ones are the Lagrange and SPH solvers. The SPH is also a Lagrange method based on the interaction of adjacent particles.

Numerical calculations have been made for the Weldox 460E steel and AA5083H116 aluminum sheets of different thicknesses and different initial projectile speeds. The geometry of the projectiles and the shapes of the tips are shown in Figure 1.

Software for explicit solving of the equations of the state in the Langranges coordinates was used for numerical calculations. The Lagrange formulation is easier to apply for this type of calculations, because with the Euler formulation, there are difficulties in precisely defining deformable material boundaries and the contact between the projectiles and the plates. In the Lagrange formulation, the net moves and deforms with the material which is modeled so that the maintenance of the mass is automatically satisfied. If we consider the three-dimensional (3D) body occupied by the Lagrange space of the volume V undergoing the` stretch $f_{ti}(t)$ over the part of the external surface of S_t and with the force of the external body $f_{bi}(t)$, we obtain that the virtual work is equal to:

$$\int_V \rho \ddot{u}_{ui} \delta u_i dV + \int_V \sigma_{ij} \delta u_{i,j} dV - \int_V \rho f_{bi} \delta u_i dV - \int_{s_t} f_{ti} \delta u_i ds = 0 \tag{1.8}$$

where ρ is the density of the material, σ_{ij} the Kosi stress tensor, $u_{i,j}$ acceleration, and δu_u necessary virtual displacement.

By applying spatial discretization to the finite elements of equation 1.8, the main equation becomes:

$$[M](\ddot{u}) + [K](u) = (F) \tag{1.9}$$

$$[M]=\sum_{n_1=0}^{n_{total}}\int_V \rho[N]^t[N]dV_e \tag{1.10}$$

where the *M*, *K* and *N* matrices are a function of mass, stiffness and shape, n_{total} is the total number of elements in the domain, V_e is the volume of the element, and *F* is the equivalent vector of the nodal force of the combined internal and external forces, including those obtained by restoring the body during the impact. For the problem of high velocity impact, the method of explicit central difference in time for solving equation 1.10 is used.

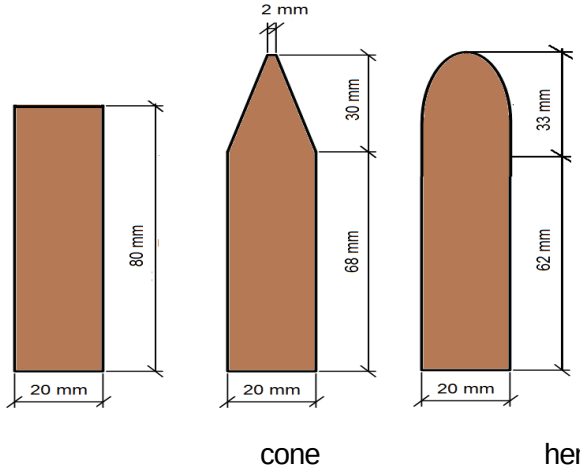

Figure 1 – Geometry and dimensions of projectiles with different tip shapes
Рис. 1 – Геометрические формы и размеры снарядов с различными головками
Слика 1 – Геометрија и димензије пројектила са различитим облицима врхова

The Smooth Particle Hydrodynamics Method (SPH) is a non-homogeneous Lagrange method which can naturally solve problems involving large deformations and serious material damage, and is therefore a convenient tool for solving high-speed impact problems. The method was first developed by (Lucy, 1977, pp.1013-1024), (Gingold & Monaghan, 1977, pp.375-389) to describe astrophysical phenomena. The system is represented by a set of particles, and the variable to the observed domain is calculated using the use of interpolation functions. An integral representation or approximation of the core function *f(x)* by an overlapping subdomain of the influence *Ω* can be expressed as:

$$\{f(x)\}=\int_\Omega f(x_i)W(x-x_i,h)dx_i \tag{1.11}$$

where W is the core alignment function, and h is the alignment length that represents the unit measure of the subdomain of the effect of the function *W* (Figure 2a). To satisfy the required partition of the unit condition, the interpolation function must be normalized in each subdomain:

$$\int_{\Omega} f(x_i) W(x - x_i, h) dx_i = 1 \tag{1.12}$$

The commonly used interpolation function, the cubic "B-spline", is expressed as:

$$W_{(q,h)} = \frac{K}{h^{\xi}} \begin{cases} 1 - \left(\frac{3}{2}\right) q^2 + \left(\frac{3}{4}\right) q^3 & q \le 1 \\ \left(\frac{1}{2}\right)(2-q)^3 & 1 < q \le 2 \\ 0 & q > 2 \end{cases} \tag{1.13}$$

where *q=(x-xi)/h*, *(ξ=1,2 or 3)* is the dimension of the problem, and *K* is the scaling factor for agreement with equation 5.12.

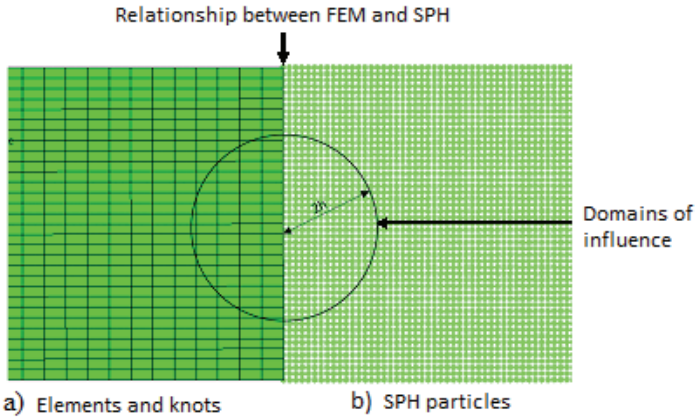

Figure 2 – Coupled SPH and FEM methods
Рис. 2 – Сопряженный SPH и FEM метод
Слика 2 – Спрегнута СПХ и ФЕМ метода

Based on the conservation of mass, moment and energy in the solid-state mechanics, the SPH basic equations express the causal differential equations of maintaining the amount of motion that connect the acceleration to the voltage tensor and look like:

$$\rho\ddot{x} = b_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \tag{1.14}$$

$$\rho\ddot{y} = b_y + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} \tag{1.15}$$

$$\rho\ddot{z} = b_z + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}, \tag{1.16}$$

where ρ, σ and *b* are density, voltage and acceleration in the direction of the axes x, y and z in the original form.

The energy conservation equation is represented by the relation:

$$\dot{e} = \frac{1}{\rho}(\sigma_{xx}\dot{\varepsilon}_{xx} + \sigma_{yy}\dot{\varepsilon}_{yy} + \sigma_{zz}\dot{\varepsilon}_{zz} + 2\sigma_{xy}\dot{\varepsilon}_{xy} + 2\sigma_{yz}\dot{\varepsilon}_{yz} + 2\sigma_{zx}\dot{\varepsilon}_{zx}) \tag{1.17}$$

It should be noted that explicit software only imposes the conservation of mass and quantity of motion, while the conservation of energy is observed due to the evaluation of the quality of the solution. The lack of solving Lagrange's formulation by the finite element method is the problem of large distortion of elements, interruption of elements and the occurrence of negative volumes. There are methods for solving this problem, for example by introducing elements erosion; however, more recent introduction of the SPH domains in the domain of large deformations is becoming more and more important. The SPH is a non-homogeneous Lagrange method developed to describe astrophysical phenomena; however, it is suitable for solving the problem of impacts in which major deformations and material damage are present. With the SPH method, the system is represented by a set of particles and their variables are counted using the Kernel interpolation function. The integral representation, i.e. the kernel approximation for the function f(x) for the subdomain Ω is presented in the form:

$$\langle f(x) \rangle \cong f(x')W(x - x', h)dx' \tag{1.18}$$

where *W* is the Kernel function, and h is the domain effect influence of the *W* function. The Cuban *B*-spline function is most often used to align the Kernel function. The combined (matched) method (SFM) is used for the optimization and the best use of computer programs. This method models the SPH domain only in the domain of large deformations, i.e. where large damage is expected, which reduces the number of SPH particles and, therefore, significantly reduces time for calculations. The use of the FEM for the rest of the calculation domain improves the accuracy of the solution. The SPH

particles with the domain of influence and the SPH-FEM interface in the SFM method are shown graphically in Figure 2.

For numerical testing, the SFM simulations of the perforations of the Weldox 460E steel and AA5083-H116 aluminum plates of variable thicknesses were performed by projectiles of various tips (blunt, conical and hemispherical). The geometry of three projectiles of different tip shapes is shown in Figure 1 (Anderson, 2005, pp.135-142).

The modeling of each individual target plate consists of two regions. For all analyzes, both for the method of finite elements and for the combined method, an axisymmetric model was used. The parts of the FEM and SFM networks used for the analysis are shown in Figure 3, for conical, blunt and hemispherical projectiles. Numerical SPH particles are adopted in the vicinity of impacts where damage and large deformations are expected, while the rest of the target domain and projectiles are modeled using the use of finite elements as shown in Figure 3. The problem can be reduced to an axially symmetrical flat case or a spatial one when a quarter of the domain is modeled, given the symmetry in the x_3 and y_3 planes, where the boundary conditions of the symmetry are imposed on the FEM network. The set of particles is defined to provide the symmetry condition for the SPH region.

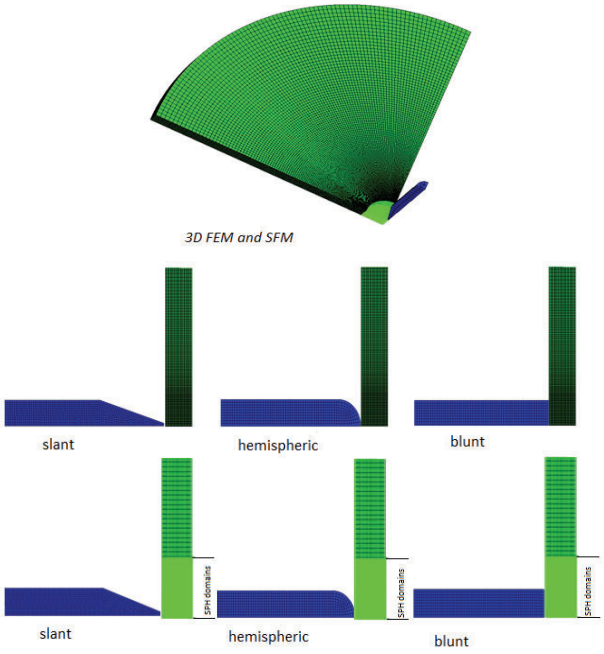

Figure 3 – 3D and 2D FEM and SFM projector networks and projectiles
Рис. 3 – 3Д и 2Д FEM и SFM расчетная модель траектории снаряда
Слика 3 – Прорачунске мреже плоче и пројектила 3D и 2D ФЕМ и СФМ

The numerical simulations performed in this paper were carried out using the Autodyn software, 2D and 3D for two-dimensional and three-dimensional problems, respectively. This program is based on finite difference methods, finite volumes and finite elements. It also possesses the possibility of calculating with the so-called meshless method, ie. by the method of hydrodynamics of smooth particles, which is suitable for calculations where large deformations and high deformation rates occur, as in this case. If one of the above mentioned networks is used, it is necessary to take into account the erosion of the elements.

The Johnson-Kook material model was adopted for target plates, while each projectile was modeled as a simple elastic-plastic material with isotropic hardening. The important constants of materials for steel and aluminum specific plates and solidified steel projectiles are given in Tables 1-3.

Analysis of the influence of different input parameters on the results of numerical calculations

The initial numerical results of the perforation of the steel plate by cone projectiles using the SFM show that natural speeds are sensitive to the distance of SPH particles. The network sensitivity phenomenon is also observed for the FEM simulation by Dey (Dey, 2004) who considers it to be a consequence of a localized adiabatic projection in the area around the penetration of the projectile. Therefore, the study was carried out to investigate the effects of SPH particle distances for two samples: Weldox 460E steel plates with a thickness of 12 mm and aluminum plates with a thickness of 15 mm. The SPH convergence study for two cases, as shown in Figure 4, shows that reasonable convergence results can be achieved using the distance of the SPH particles of 0.6 mm, which is the value adopted for the subsequent calculations. The SPH distance effects were tested for projectiles with a sharp conical tip as well and the results confirmed that the same 0.6 mm particle distance can be adopted.

The melting temperature and the strength of the plates used for testing affect the friction coefficient values used in this study. The lower melting temperatures tend to produce a thinner layer between the plate (target) and the projectile, which acts as a lubricant. In the published paper, photomicrography of the penetration of an aluminum target plate with a spherical top projectile at an initial velocity of 120 [m/s] shows significant microstroutural changes in a thin layer of 5 - 15 μm in a plane around the projectile (Rosenberg & Yeshurun, 1988, pp.357-362), (Rosenberg & Tsaliah, 1990, pp.247-251). A similar behavior is observed for other sharp-pointed missiles, such as conic and pointed tips, on the contact surface between the target material (target) and the projectile, when the target moves vertically. Such an event tells us that sliding

friction between projectiles and targets exists and must be taken into account. The mentioned layer was not perceived for the perforation of a blunt projectile, because the target plate was broken due to localized adiabatic shear, causing negligible contact friction between the projectile and the target. This was confirmed by the perceived constant natural velocity after damaging the plate due to the adiabatic shear of "splitting" and compacting the blunt projectile, which (Borvik et al, 2003, pp.413-464), (Borvik et al, 2004, pp.367-384) published in his scientific papers.

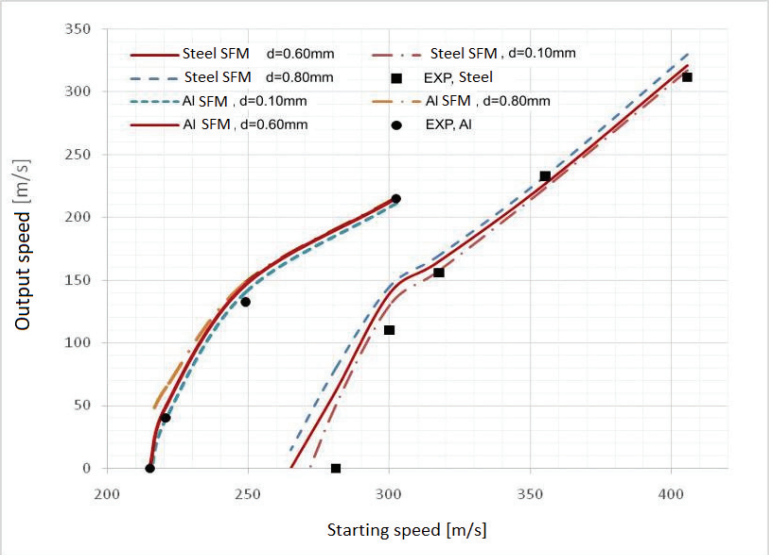

Figure 4 – An analysis of the distances of SPH particles for the impact of the conical projectile on the steel plate of 12 mm and the aluminum plate of 15 mm
Рис. 4 – Анализ расстояния SPH частиц от удара остроконечного снаряда о стальную плиту 12 мм и алюминиевую плиту 15 мм
Слика 4 – Анализа удаљености СПХ честица за удар конусног пројектила о челичну плочу дебљине 12 mm и алуминијумску плочу дебљине 15 mm

Choosing the appropriate friction coefficient value, μ, is complex because no experimental data is currently available for high velocity. Ravid & Bodner (1983, pp.577-591) presume the values of $\mu = 0.1$ and $\mu = 0.05$ for the perforation of steel plates by high-velocity missiles for the frontal and lateral surface of the projectile. A lower value for the lateral surface of the projectile is expected due to the high velocity effect and the presence of a thin viscous film, as the material temperature increases over the melting point in the contact surface. In order to compare the data from this paper, tests with three different friction coefficient values were carried out, for μ from 0.0, 0.05 and 0.1, which were used for perforations with a conical tip projectile through a steel target

plate of 12 mm thickness. The natural display versus the initial velocity of the projectile with the adopted three values *μ* are given in Figure 24. A significant effect of friction at a natural velocity can be noticed. The friction coefficient *μ = 0.05* indicates that it provides a reasonably accurate result simulated over the SFM. In the following simulations, perforation with conical tip projectiles was adopted. Also, in further analyzes, a simulation was performed for blunt missiles with the friction coefficient *μ = 0.02* for different thicknesses of steel plates (6, 8, 10, 12 and 16 mm) and at different speeds, but only for the FEM method. The simulations are shown in Figures 29 through 34. In the analysis of the SFM method, it is noted that with the influence of friction, the erosion of the elements at the exit of the projectile occurs, so that they are not considered with the influence of friction (Spasić, 2015).

In order to compare the data from the studied scientific papers, the experimental data were compared with those derived from the friction coefficient μ of 0.0, 0.05 and 0.1 for a 15 mm thick AA5083.H116 aluminum plate perforated with a conical tip projectile. Figure 5 shows the numerical results used for the indicated values, where it is also confirmed that the results agree well with the results of the impact test. This value was adopted for the subsequent analysis of the aluminum plate perforation.

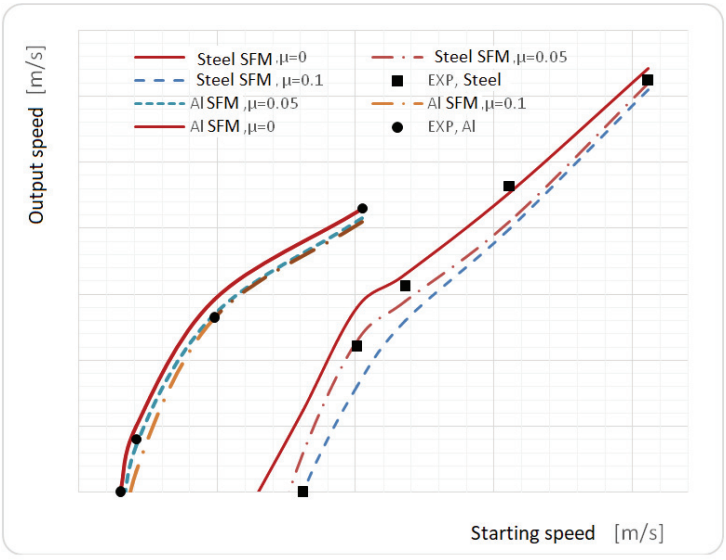

Figure 5 – Friction effects in the perforation of a 12 mm thick steel plate and s 15 mm aluminum panel by conical projectiles
Рис. 5 – Эффекты трения при перфорации стальной плиты, толщиной 12 мм и алюминиевой плиты, толщиной 15 мм, остроконечным снарядом
Слика 5 – Ефекти трења при перфорацији челичне плоче дебљине 12 mm и алуминијумске плоче дебљине 15 mm конусним пројектилом

Analysis of weldox 460e steel plate perforation
Perforation of blunt projectiles by the SFM method

In this part, an analysis of the perforation of steel plates of different thicknesses of 6, 8, 10, 12, 16 and 20 mm was performed, due to different speeds with a blunt projectile, using the 2D SFM method of Autodyn. Numerical natural and ballistic boundary speeds are compared with the experimental data published by (Borvik et al, 2003, pp.413-464), (Borvik et al, 2004, pp.367-384) in his work. In the paper, it has been confirmed that, except for thin plates, at relatively low initial velocities of the projectile of about 170 [m/s] and less, the SFM results agree well with the experimental values. Figures 6 to 11 show the results of a numerical analysis of blunt projectiles at various speeds of 435.6 [m/s] to 145 [m/s] for plates of 6, 8, 10, 12, 16 and 20 mm thicknesses.

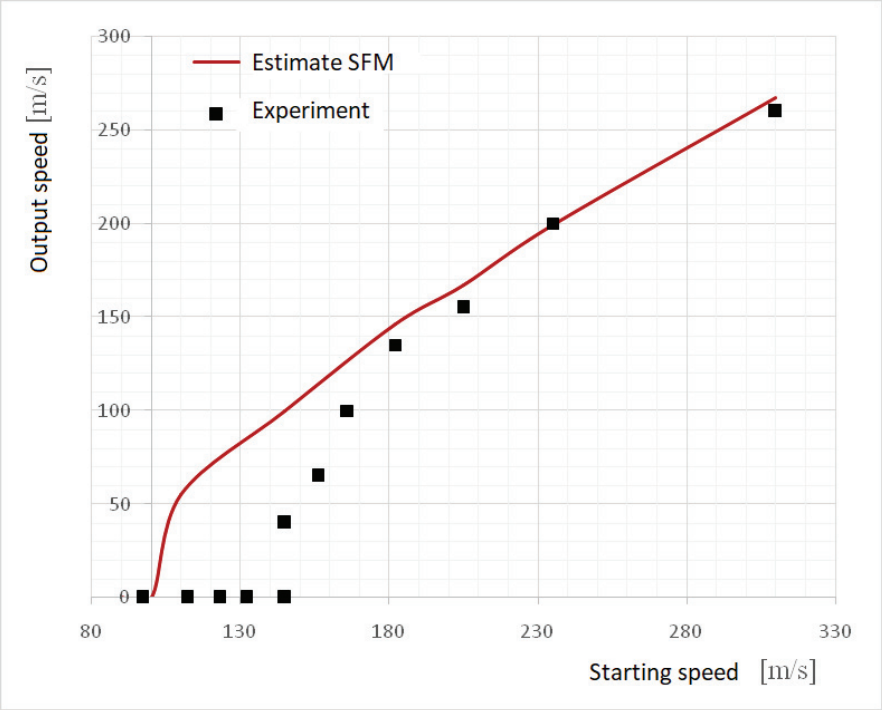

Figure 6 – Analysis of the SFM by a blunt projectile for a plate with a thickness of 6mm
Рис. 6 – Анализ SFM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 6 мм
Слика 6 – Анализа СФМ тупим пројектилом за плочу дебљине 6 mm

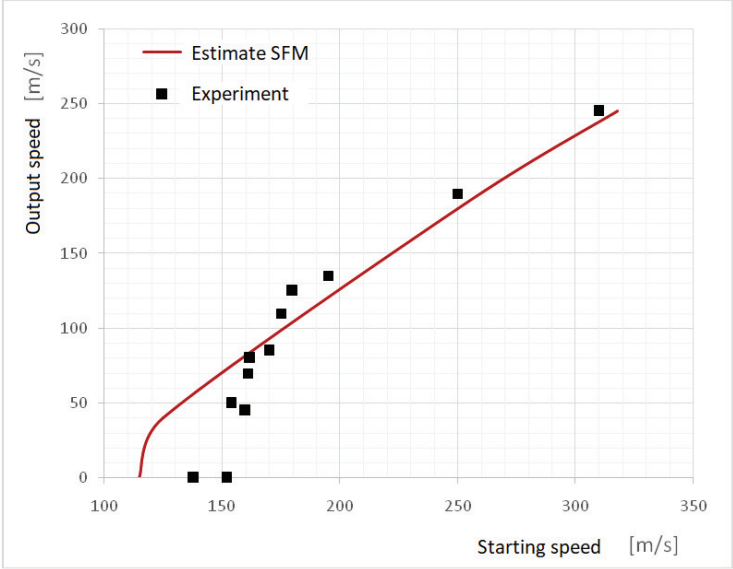

Figure 7 – Analysis of the SFM by a blunt projectile for a plate with a thickness of 8 mm
Рис. 7 – Анализ SFM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 8 мм
Слика 7 – Анализа СФМ тупим пројектилом за плочу дебљине 8 mm

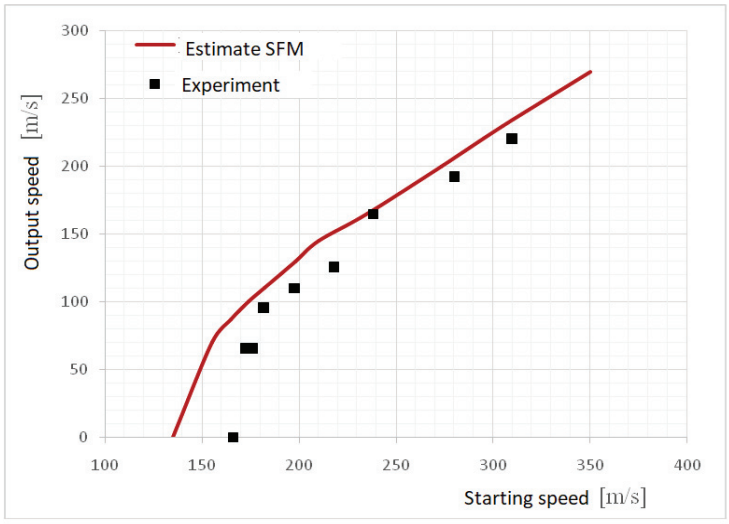

Figure 8 – Analysis of the SFM by a blunt projectile for a plate with a thickness of 10 mm
Рис. 8 – Анализ SFM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 10 мм
Слика 8 – Анализа СФМ тупим пројектилом за плочу дебљине 10 mm

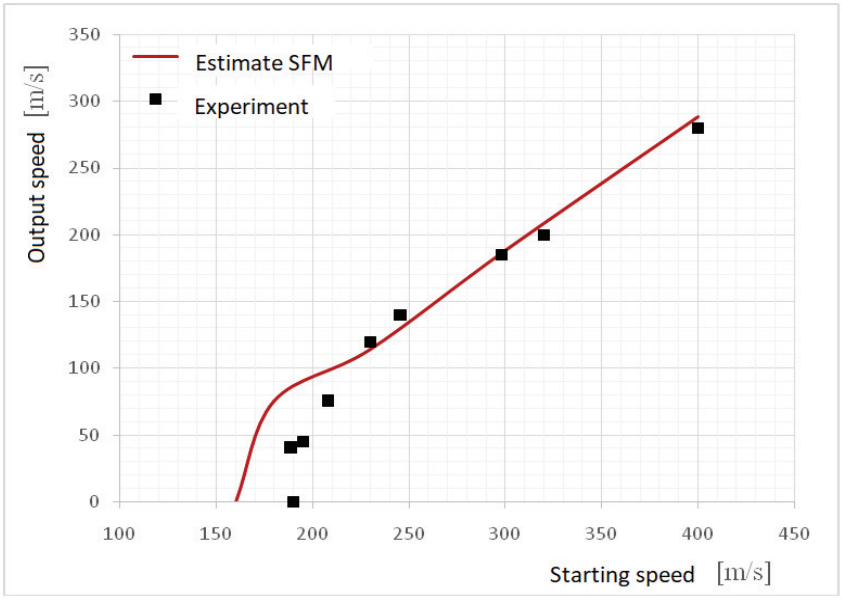

Figure 9 – Analysis of the SFM by a blunt projectile for a plate with a thickness of 12 mm
Рис. 9 – Анализ SFM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 12 мм
Слика 9 – Анализа СФМ тупим пројектилом за плочу дебљине 12 mm

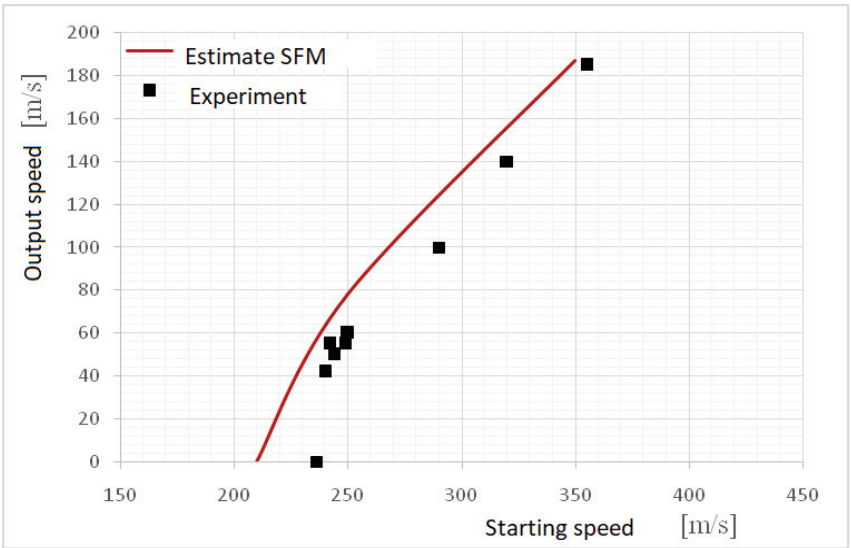

Figure 10 – Analysis of the SFM by a blunt projectile for a plate with a thickness of 16 mm
Рис. 10 – Анализ SFM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 16 мм
Слика 10 – Анализа СФМ тупим пројектилом за плочу дебљине 16 mm

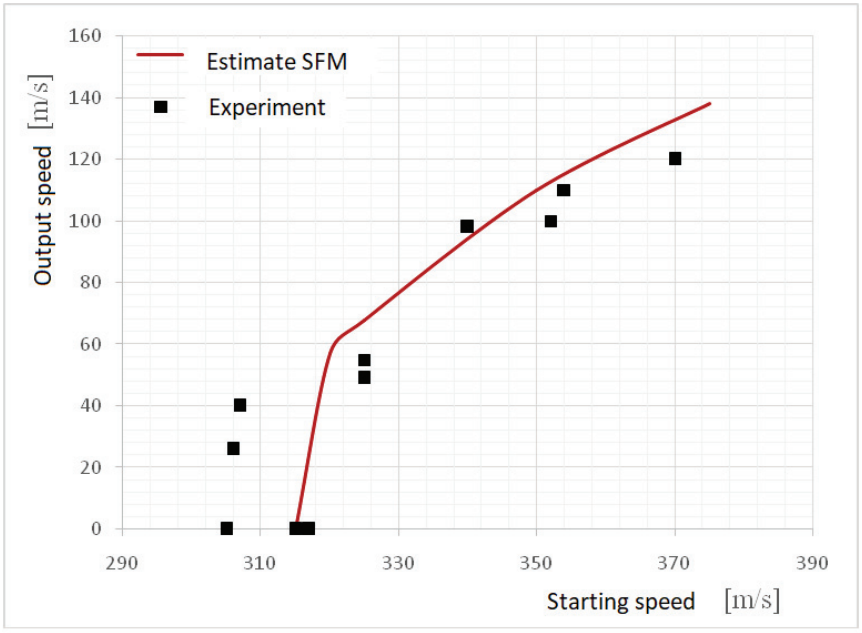

Figure 11 – Analysis of the SFM by a blunt projectile for a plate with a thickness of 20 mm
Рис. 11 – Анализ SFM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 20 мм
Слика 11 – Анализа СФМ тупим пројектилом за плочу дебљине 20 mm

Ballistic limit speed is defined as the minimum projectile speed required to break the target plate. The obtained results indicate that the application of the SFM method for blunt missiles, especially for thin slabs of 10 mm and lower values of ballistic boundary velocities, deviates from the experimental results, as well as in the results published by (Borvik et al, 2003, pp.413-464), (Borvik et al, 2004, pp.367-384). This slope difference is explained as a change in the shape of a fracture of adiabatic shear and fracture by compression for thick slabs to global propagation and thin panel slab fracture.

Perforation of blunt projectiles by the FEM method

For the comparison of the obtained results, the analysis of the perforation of steel plates with different thicknesses of 6, 8, 10, 12, 16 and 20 mm was performed, due to different speeds with a blunt projectile using the 2D FEM method for the Autodyn program. In this analysis, using the FEM method for all plate thicknesses, an analysis was performed using the friction effect μ = 0.02. The analysis was performed for a range of speeds of 145.3 [m/s] to 435.6 [m/s]. The results for boundary ballistic and natural velocities for plates of various thicknesses from 6 mm to 20 mm are shown in the diagrams in Figures 12 to 17.

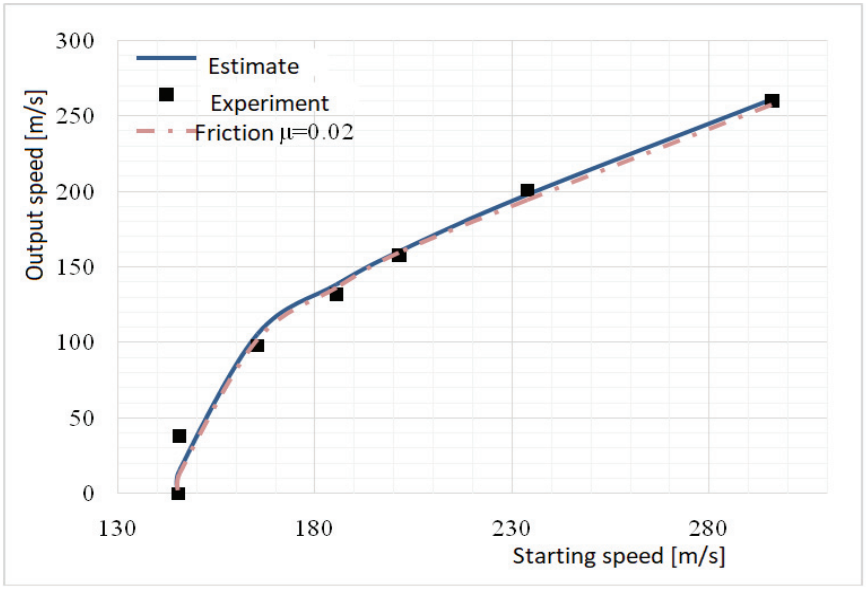

Figure 12 – FEM analysis by a blunt projectile for a plate of 6 mm thickness
Рис. 12 – Анализ FEM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 6 мм
Слика 12 – Анализа ФЕМ тупим пројектилом за плочу дебљине 6 mm

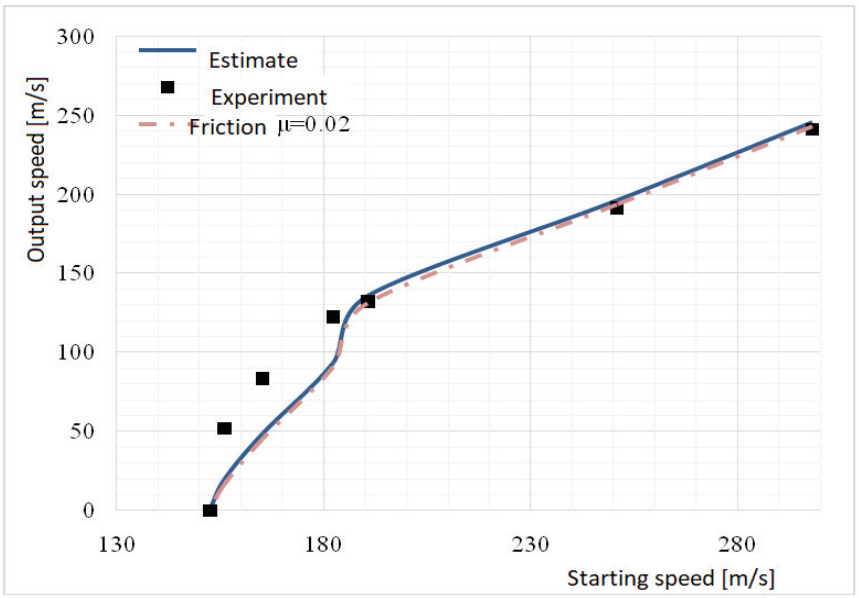

Figure 13 – FEM analysis by a blunt projectile for a plate of 8 mm thickness
Рис. 13 – Анализ FEM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 8 мм
Слика 13 – Анализа ФЕМ тупим пројектилом за плочу дебљине 8 mm

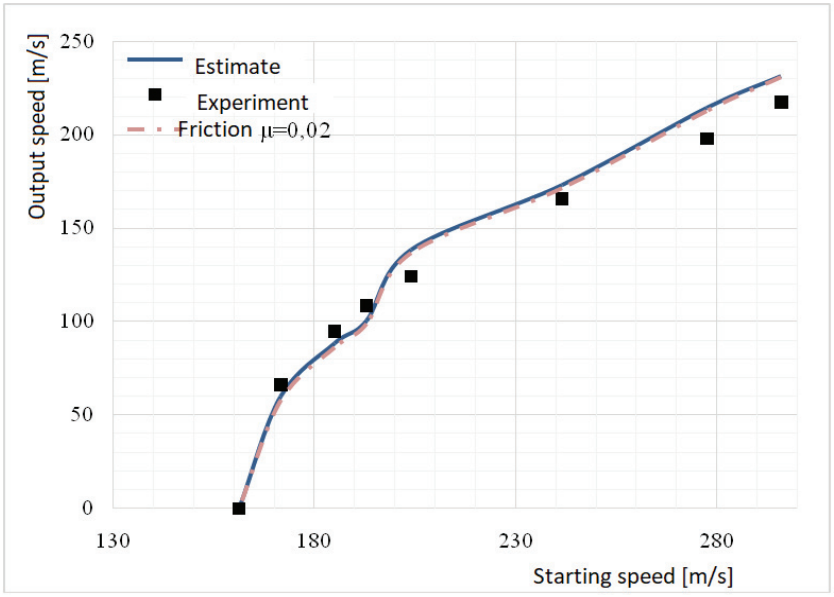

Figure 14 – FEM analysis by a blunt projectile for a plate of 10 mm thickness
Рис. 14 – Анализ FEM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 10 мм
Слика 14 – Анализа ФЕМ тупим пројектилом за плочу дебљине 10 mm

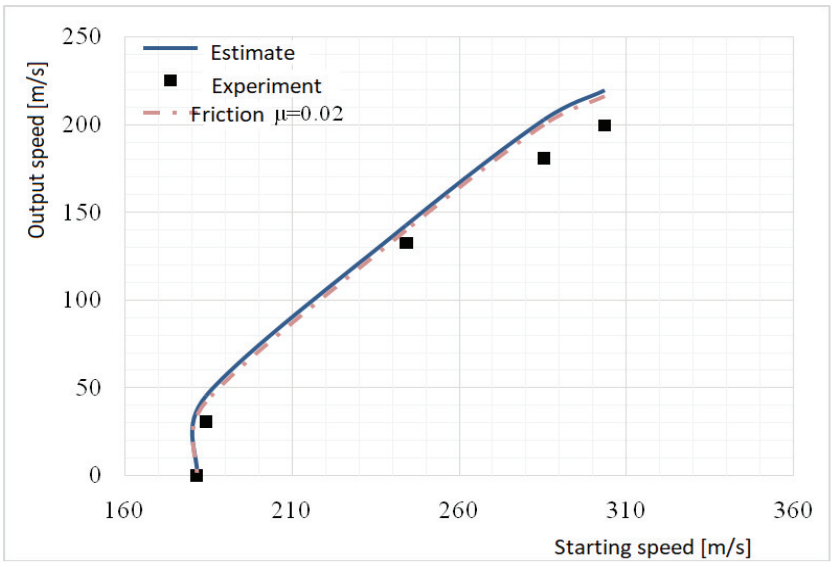

Figure 15 – FEM analysis by a blunt projectile for a plate of 12 mm thickness
Рис. 15 – Анализ FEM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 12 мм
Слика 15 – Анализа ФЕМ тупим пројектилом за плочу дебљине 12 mm

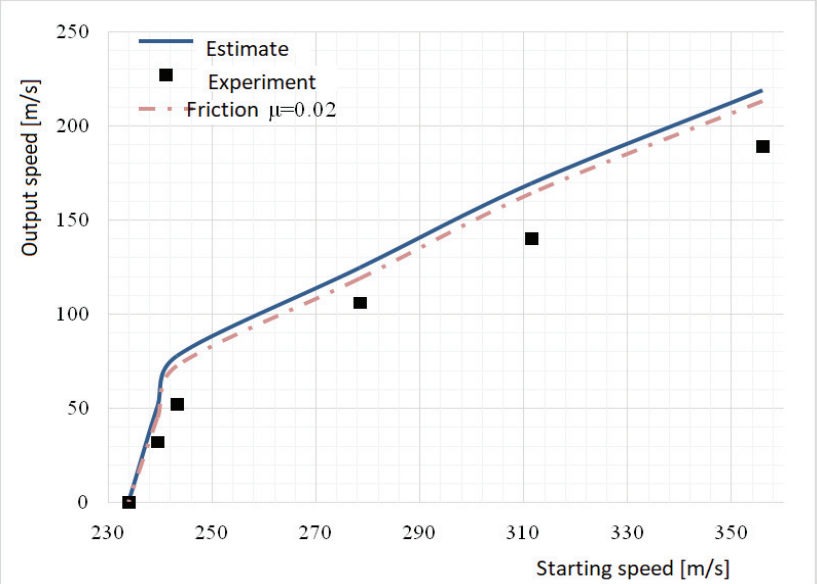

Figure 16 – FEM analysis by a blunt projectile for a plate of 16 mm thickness
Рис. 16 – Анализ FEM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 16 мм
Слика 16 – Анализа ФЕМ тупим пројектилом за плочу дебљине 16 mm

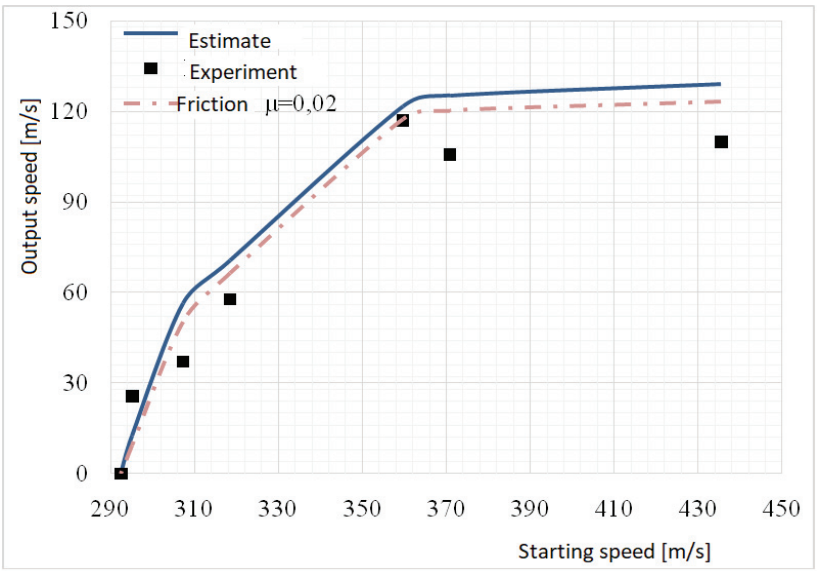

Figure 17 – FEM analysis by a blunt projectile for a plate of 20 mm thickness
Рис. 17 – Анализ FEM тупоконечным снарядом на плиту, толщиной 20 мм
Слика 17 – Анализа ФЕМ тупим пројектилом за плочу дебљине 20 mm

An analysis of the FEM method for ballistic boundary velocities was performed. These velocities are defined as the minimum speeds of the projectiles needed to penetrate a fully targeted board. It has been confirmed that the FEM method provides good agreement with experimental results in all of the examined thicknesses. The numerical analysis of the blunt projectile, as shown in the 2D model in Figure 18 and the 3D model in Figure 19, shows that the correct simulation was performed and a proper cut after the break of the plate as well as experimental effects was obtained.

Figure 20 shows the results of the temperature change and the effect of the temperature on the plate perforation. It can be clearly seen from the figure that the temperature is highest in the part of the edges of the projectiles and boards. It can be seen from the figure that the breakage of the plate is caused by the ductile expansion of the hole and the breakthrough due to the flow of the material of the plate as a result of the adiabatic shear of the temperature. A similar behavior is observed in other cases for which the calculations were carried out. The effect of damage by changing the speed obtained by a numerical analysis is shown in Figure 21, for an initial velocity of V_0 = 296 [m/s], indicates the change in the damage of the steel plate from the initial part where the speed is slowly slowing down and linearly decreasing until the moment of plate breakage.

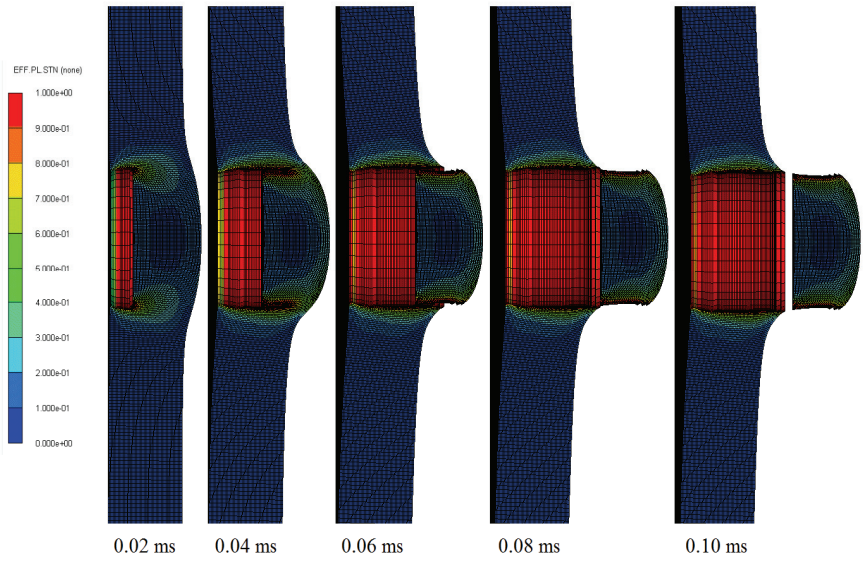

Figure 18 – Perforation of a steel plate with a blunt projectile (FEM method)
Рис. 18 – Перфорация стальной плиты тупоконечным снарядом (FEM метод)
Слика 18 – Перфорација челичне плоче тупим пројектилом (ФЕМ метода)

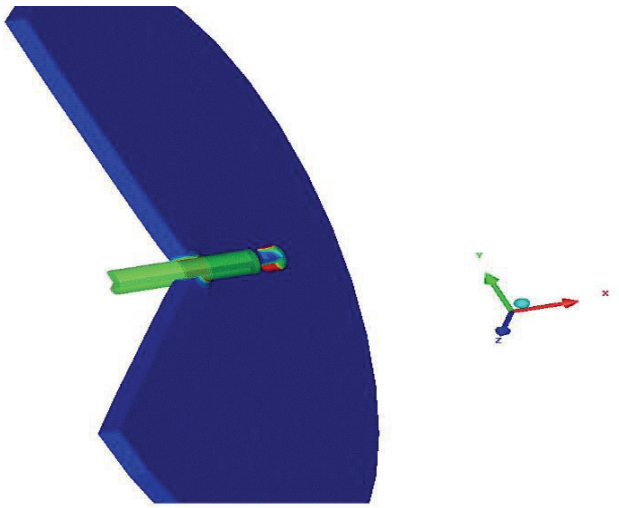

Figure 19 – 3D Flat Perforation of a steel shell with a blunt projectile (FEM Method)
Рис. 19 – Изображение 3Д перфорации стальной плиты тупоконечным снарядом (FEM метод)
Слика 19 – Приказ 3D перфорације челичне плоче тупим пројектилом (ФЕМ метода)

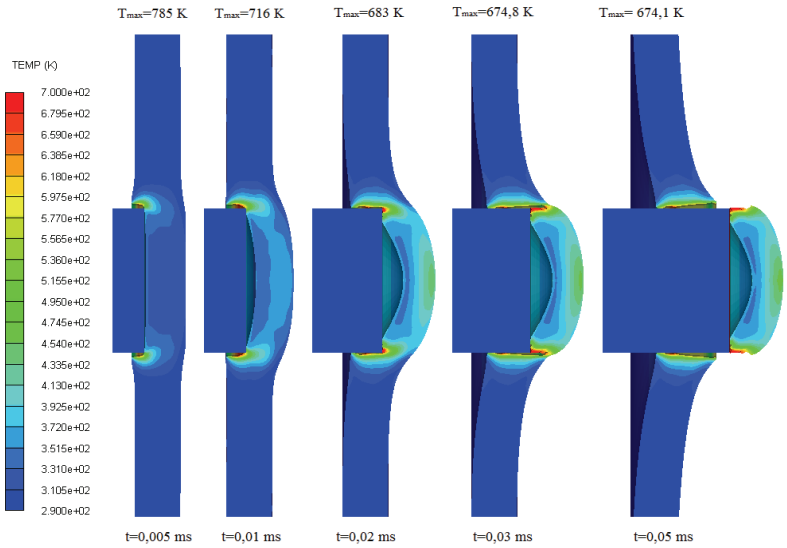

Figure 20 – Analysis of the change in the temperature field during the breakdown of the steel plate by a blunt projectile (FEM method)
Рис. 20 – Анализ изменений теплового поля при пробое стальной плиты тупоконечным снарядом (FEM метод)
Слика 20 – Анализа промене температурног поља при пробоју челичне плоче тупим пројектилом (ФЕМ метода)

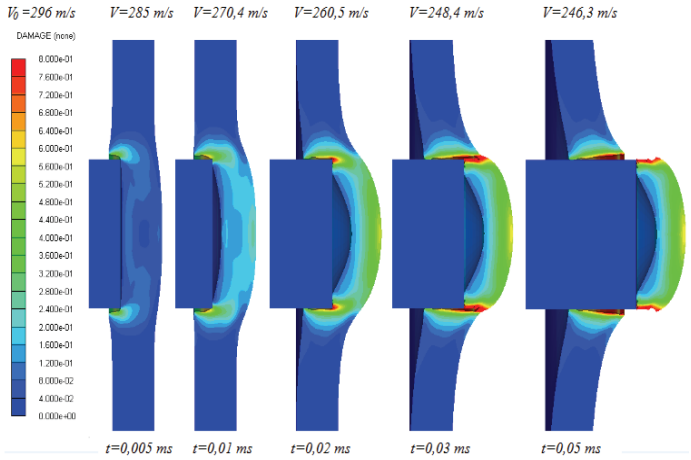

Figure 21 – Analysis of damage caused by the change of speed in the breakdown of the steel plate by a blunt projectile (FEM method)
Рис. 21 – Анализ повреждений и изменения скорости при пробое стальной плиты тупоконечным снарядом (FEM метод)
Слика 21 – Анализа оштећења са променом брзине при пробоју челичне плоче тупим пројектилом (ФЕМ метода)

Comparative analysis of the FEM and SFM methods

By comparing the FEM and SFM methods based on the convergence study for the adopted elements of 0.25x0.25x0.25 mm^3 for modeling the target board in the SFM mode, the impact of the projectile and the network is gradually shifted to the outer edge. The obtained FEM results, together with the SFM values, predict a change in inclination similar to those observed in previous experiments. Figures 22, 23 and 24 show a comparative analysis of the numerical simulation results of the FEM and SFM methods with the same initial speeds, by the action of a blunt projectile for the plate thicknesses of 6 mm, 8 mm and 16 mm.

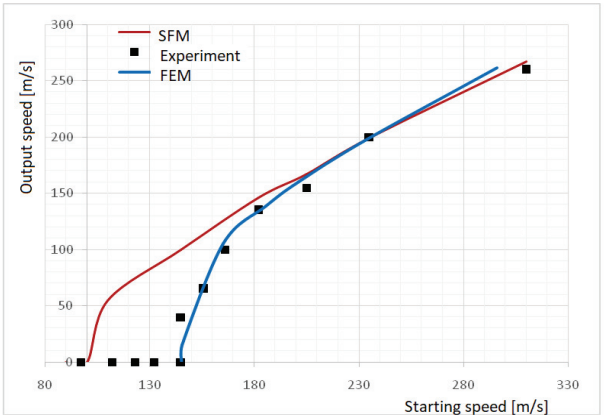

Figure 22 – Comparison of the results obtained by the FEM and SFM methods for a 6 mm thick steel plate, with a blunt projectile
Рис. 22 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений стальной плиты толщиной 6 мм, пораженной тупоконечным снарядом
Слика 22 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за челичну плочу дебљине 6 mm пробијену тупим пројектилом

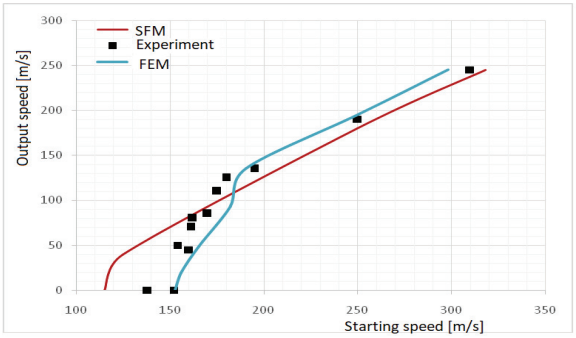

Figure 23 – Comparison of the results obtained by the FEM and SFM methods for an 8 mm thick steel plate with a blunt projectile
Рис. 23 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений стальной плиты толщиной 8 мм, пораженной тупоконечным снарядом
Слика 23 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за челичну плочу дебљине 8 mm пробијену тупим пројектилом

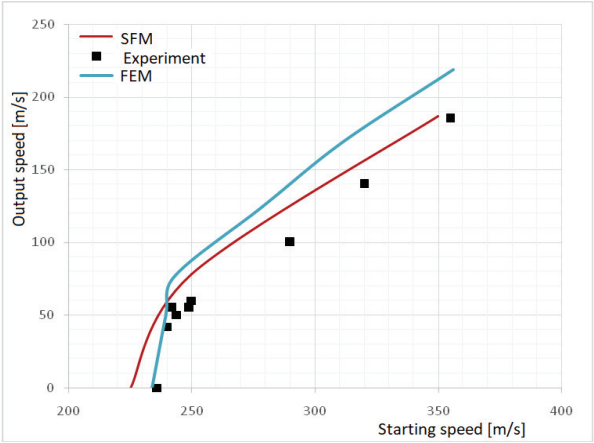

Figure 24 – Comparison of the results obtained by the FEM and SFM methods for a 16 mm thick steel plate with a blunt projectile
Рис. 24 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений стальной плиты толщиной 16 мм, пораженной тупоконечным снарядом
Слика 24 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за челичну плочу дебљине 16 mm пробијену тупим пројектилом

From the diagram, it can be noticed that the results obtained by the FEM and SFM methods for the plates of small thicknesses overlap in the initial part; however, in the final part, near the boundary ballistic velocities, the SFM method has minor deviations. In the numerical analysis for the SFM method (Fig. 34) an irregular shape of the separation of the rear part of the plate is seen, and in some cases, the breakdown and breakage of the plate. For the thicknesses above 10 mm, the matching of the results is within the limits of tolerance in all phases of the projectile penetration, which was also shown for the penetration of the blunt projectile by the SFM method for a plate of 16 mm in thickness.

Perforation of aluminum plates

This part of the paper deals with a perforation of AA5083-H116 aluminum plates with a thickness of 15 mm to 30 mm with a conical tip projectile. The software used for the analyses presented in this paper is 2D and 3D Autodyn for two-dimensional and three-dimensional problems, respectively, in their original form. Numerical natural velocities of projectiles and ballistic boundary velocities are compared with the experimental data previously published by (Borvik et al, 2003, pp.413-464), (Borvik et al, 2004, pp.367-384). The variation of the natural velocities at the initial speeds for different plate thicknesses of 15, 20, 25 and 30 mm is represented from Figures 25 to 28. The ballistic boundary velocities increase

linearly by increasing the thickness of the plates, as shown in the above figures, showing a similar fracture pattern to the plates of all thicknesses.

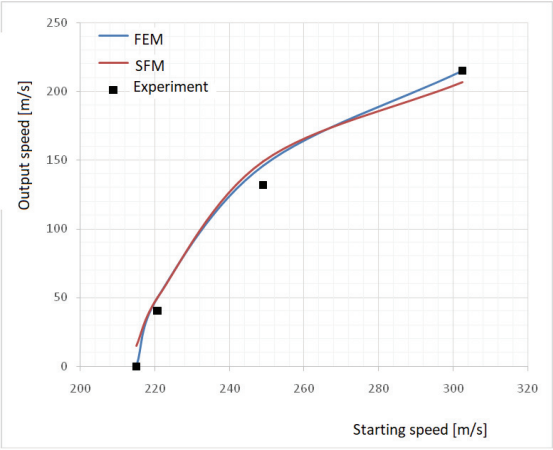

Figure 25 – Comparison of the results obtained with the FEM and SFM methods for an aluminum plate with a thickness of 15 mm, conical projectile
Рис. 25 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений алюминиевой плиты толщиной 15 мм, пораженной остроконечным снарядом
Слика 25 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за алуминијумску плочу дебљине 15 mm пробијену конусним пројектилом

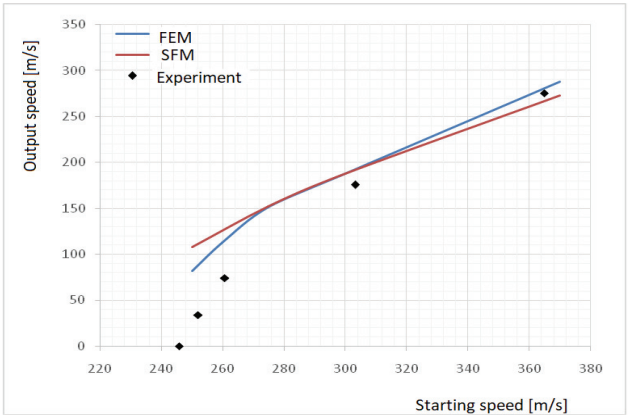

Figure 26 – Comparison of the results obtained with the FEM and SFM methods for an aluminum plate with a thickness of 20 mm, conical projectile
Рис. 26 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений алюминиевой плиты толщиной 20 мм, пораженной остроконечным снарядом
Слика 26 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за алуминијумску плочу дебљине 20 mm пробијену конусним пројектилом

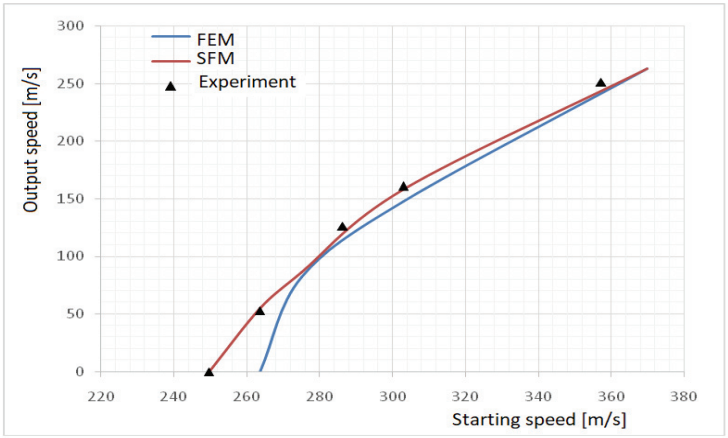

Figure 27 – Comparison of the results obtained with the FEM and SFM methods for an aluminum plate with a thickness of 25 mm, conical projectile
Рис. 27 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений алюминиевой плиты толщиной 25 мм, пораженной остроконечным снарядом
Слика 27 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за алуминијумску плочу дебљине 25 mm пробијену конусним пројектилом

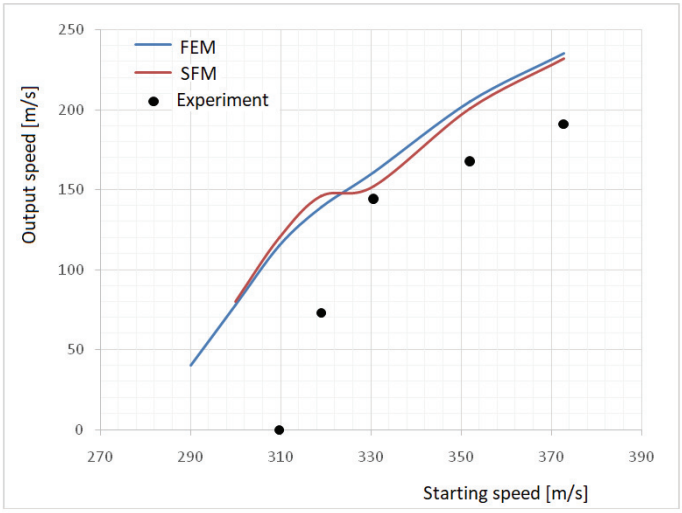

Figure 28 – Comparison of the results obtained with the FEM and SFM methods for an aluminum plate with a thickness of 30 mm, conical projectile
Рис. 28 – Сравнительный анализ результатов, полученных FEM и SFM методами, выполненных на основании повреждений алюминиевой плиты толщиной 30 мм, пораженной остроконечным снарядом
Слика 28 – Поређење резултата добијених ФЕМ и СФМ методом за алуминијумску плочу дебљине 30 mm пробијену конусним пројектилом

The analyses were made for a range of initial velocities from 200 m/s to 400 m/s. The thickness of aluminum plates varies from 15 mm, 20 mm, 25 mm and 30 mm. The output velocity of the projectile was measured when the projectile speed at the perforation after the output from the plate stabilized. The obtained results were compared with the experimental results obtained by (Borvik et al, 2003, pp.413-464), (Borvik et al, 2004, pp.367-384). In the previous diagrams (Figures 25-28), a comparison of the results for the FEM and SFM with the experimental results is shown. It is noticeable that the SFM results are closer to the experimental data, which is characteristic for softer plates. Figure 29 shows effective plastic deformation for the SFM method at different time intervals when perforating a 20 mm thick aluminum plate with an initial initial velocity V_0 = 370 [m/s]. The Figures show that the plate is penetrated due to the ductile expansion of the hole. A similar behavior is also observed in the FEM method (Figure 30) for a 15mm thick plate with the initial initial projectile velocity V_0 = 302 [m/s], with an expressed part of the adiabatic shear, which is the case with other thicknesses for which the calculations were performed.

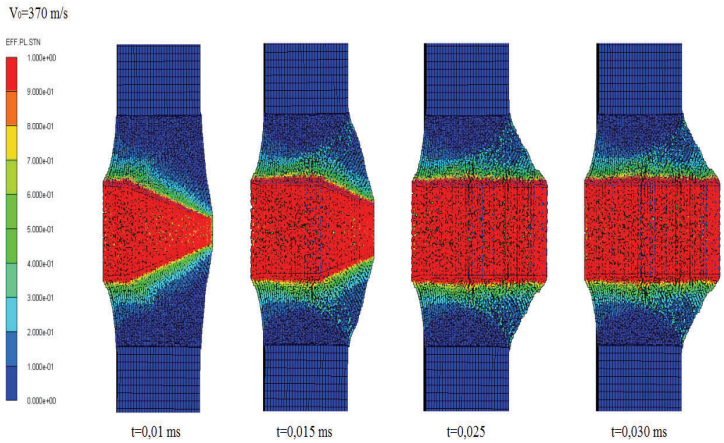

Figure 29 – Perforation of a 20 mm thick aluminum plate by a conical projectile (SFM method)
Рис. 29 – Изображение пробоя алюминиевой плиты, толщиной 20 мм, пораженной остроконечным снарядом (SFM метод)
Слика 29 – Приказ перфорације алуминијумске плоче дебљине 20 mm настале услед пробијања конусним пројектилом (СФМ методом)

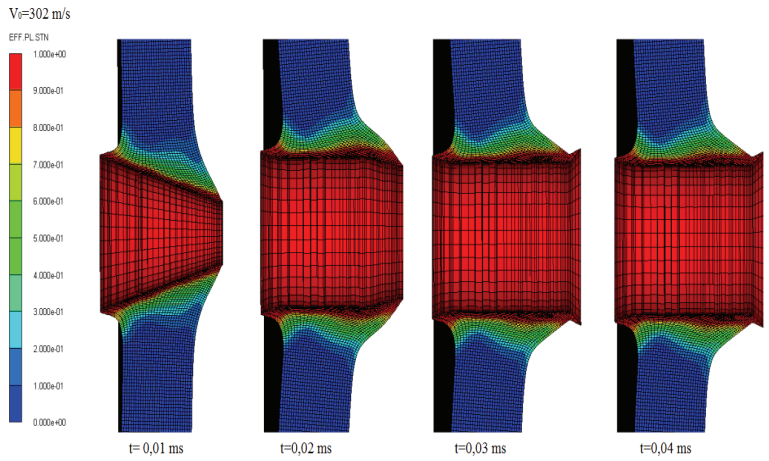

Figure 30 – Perforation of a 15 mm thick aluminum plate by a conical projectile (SFM method)
Рис. 30 – Изображение пробоя алюминиевой плиты, толщиной 15 мм, пораженной остроконечным снарядом (SFM метод)
Слика 30 – Приказ перфорације алуминијумске плоче дебљине 15 mm настале услед пробијања конусним пројектилом (СФМ методом)

Perforation of projectiles of various tip geometries

This part of the paper analyses the perforation of a 12 mm thick Weldox 460E steel plate by a blunt, conical and hemispherical tip of the projectile. Numerical average and ballistic boundary velocities are compared with the experimental data from literature. It has been confirmed that the numerical results are in good agreement with the experimental data, as shown in Table 4. The results obtained for ballistic bound velocities using the FEM method show that, for the tested cases, less than 6% of the experimental data deviate.

Table 4 – Ballistic boundary velocity (Vbl) for three different projectiles
Таблица 4 – Баллистическая граничная скорость (Vbl) трех различных видов снарядов
Табела 4 – Балистичка гранична брзина (V_{bl}) за три различита пројектила

Ballistic boundary velocity, Vbl (m/s)	blunt	cone	hemispheric
Experiment	181.5	280.9	292.1
FEM	181.5	265.0	292.1

The numerical simulation of the penetration of a 12 mm thick steel plate with three projectiles of different tip geometry, as shown in the diagram (Figure 31), showed good agreement with the experimental results shown by Dey in his scientific work.

The numerical analysis has shown that conical and hemispherical projectiles have a characteristic of faster penetration through various types of obstacles (plates) by shifting the material in radial direction and by increasing the plastic hole, as shown in Figures 32 and 33. For the same hemispherical projectile, the SFM method shows the surface of a steel plate at a time from t = 0.0 ms to t = 0.12 ms. At a time of t = 0.06 ms, the surface of the steel plate rear begins to irregularly disintegrate, and at the very end of the plate, separation (splitting) is increasingly observed at the exit from the plate. The calculations were stopped at a time interval t = 0.12 ms, when the projectile penetrated the plate.

For blunt projectiles, plate penetration occurs with adiabatic cleavage and compression where the thickness of the compressed section is similar to that of the plate and leaf flattening detected on the rear surface shown in Figure 34, which is characteristic for the application of the SFM method in a numerical analysis of a blunt projectile effect on a hard steel plate.

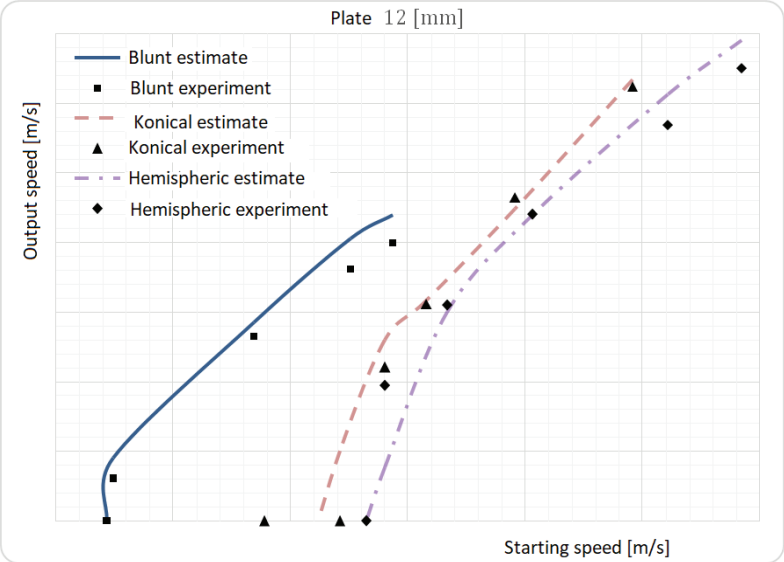

Figure 31 – Comparison of experimental, average values of numerical and ballistic boundary velocities

Рис. 31 – Сравнение экспериментальной, средней численной и баллистической граничной скорости

Слика 31 – Поређење експерименталних, просечних вредности нумеричких и балистичких граничних брзина

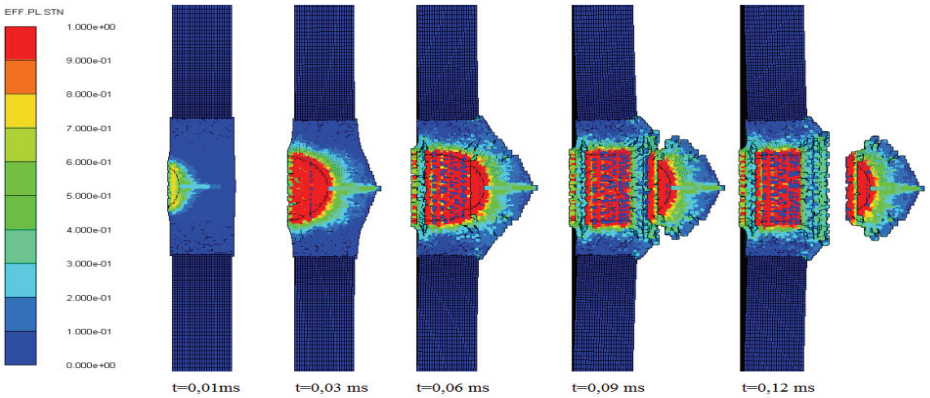

Figure 32 – Perforation of a 12 mm thick steel plate, hemispherical projectile (SFM method)
Рис. 32 – Пробой стальной плиты, толщиной 12 мм, хемисферическим снарядом (SFM метод)
Слика 32 – Перфорација челичне плоче дебљине 12 mm, настала услед пробијања хемисферичним пројектилом (СФМ метода)

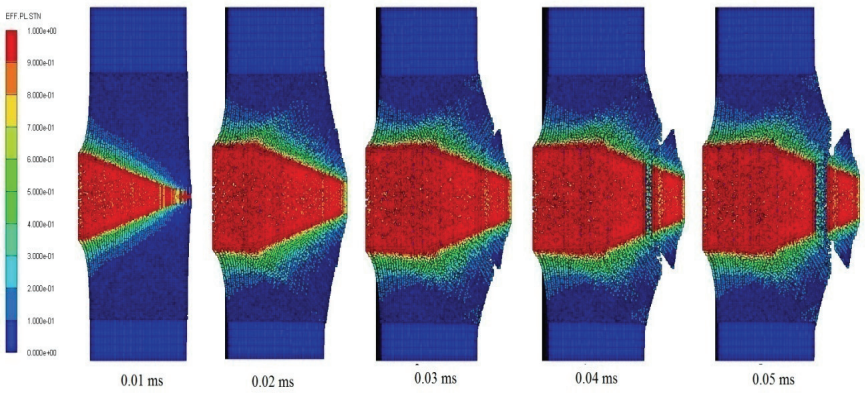

Figure 33 – Perforation of a 15 mm thick steel plate, hemispherical projectile (SFM method)
Рис. 33 – Пробой стальной плиты, толщиной 15 мм, хемисферическим снарядом (SFM метод)
Слика 33 – Перфорација челичне плоче дебљине 15 mm, настала услед пробијања хемисферичним пројектилом (СФМ метода)

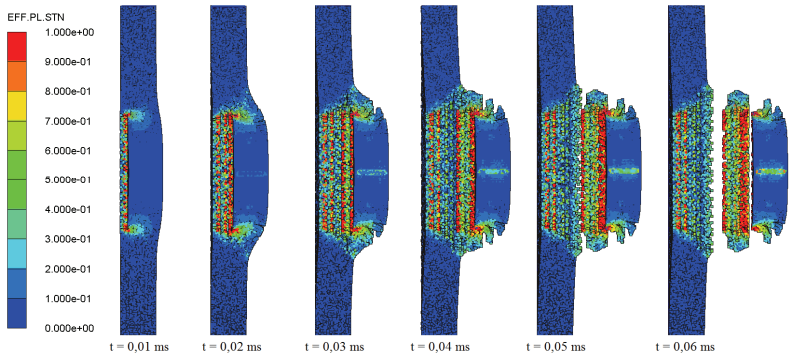

Figure 34 – Perforation of a 6 mm thick steel plate, hemispherical projectile (SFM method)
Рис. 34 – Пробой стальной плиты, толщиной 6 мм, хемисферическим снарядом (SFM метод)
Слика 34 – Перфорација челичне плоче дебљине 6 mm, настала услед пробијања хемисферичним пројектилом (СФМ метода)

The results obtained by numerical simulations included the effect of damaging the steel plate of various thicknesses by the action of projectiles of different shapes of the tips (noses), as shown in Figs. 35 to 38. The indicated damage regimen for each verified case is within the limits of the experimental results given in the literature used. The analysis was performed with a blunt projectile for two different plate thicknesses (6 and 16 mm), by simulating average speeds (296 and 356 m/s) and limit speeds (145 and 239 m/s), as shown in Figures 35 and 36. From the analysis of the results, it can be seen that by the action of a blunt projectile, the initiation of the adiabatic shear range appears very quickly, due to the geometric singularity of the projectile, after several milliseconds. Such a range of adiabatic shear creates a plug that is ejected during the final break of the plate. It can be seen form the Figure that the higher speed is, the sooner the plate breaks down, and the section created by the adiabatic shear is thinner at higher speeds. Also, it was noticed that with the impact of the projectiles of the same caliber on 6 mm thin plates (Figure 35), and for lower speeds (near the ballistic velocity), plate bending was three times more expressed. In order to compare the results for the 16 mm thick plate (Figure 36), an analysis was performed for two different speeds and it was confirmed, as in thinner plates, that at higher speeds penetration occurs faster and there is a difference in the thickness of the cutoff after penetration, which is visible in the Figure. However, it was noticed in thicker plates that the "plate-like" twisting was significantly less prominent than in thinner plates (see Figure 36).

From the analysis of the results, it can be seen that a conical projectile penetrates the plate significantly earlier. Also, in these types of projectiles,

adiabatic shear is generated, but a plug is not formed when the plate is penetrated (Figure 37). It can be seen from the Figure that the higher the speed is, the sooner penetration occurs, as in the case of a blunt projectile. When the same caliber projectile penetrates a thin plate of 6 mm (Fig. 37) at lower speeds (near the boundary ballistic velocity), plate bending is two times more prominent. For the hemispherical projectile nose (Figure 38), the results also showed that for a plate of 6 mm thickness, simulation of the action at two different speeds confirmed that the thinner plates were faster to break and there was a difference in the thickness of the cutoff after plate penetration (as seen in the Figure). However, it was noticed that, at lower speeds, there would be a "plate-like" twist as in the case of a blunt projectile, as shown in Figure 38.

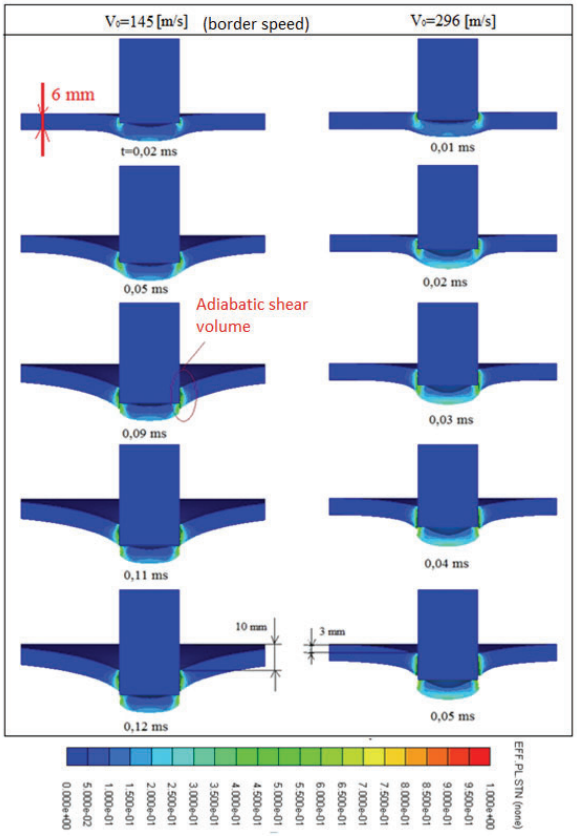

Figure 35 – Comparison of blunt projectile penetration through a 6mm-thick steel plate at two speeds, Vo=145 m/s and Vo=296 m/s, FEM method

Рис. 35 – Сравнительное изображение пробоя стальной плиты, толщиной 6мм тупоконечным снарядом с двумя скоростями: Vo=145 m/s и Vo=296 m/s, FEM метод

Слика 35 – Упоредни приказ пробоја челичне плоче дебљине 6 mm тупим пројектилом при брзинама Vo=145 m/s и Vo=296 m/s, ФЕМ методом

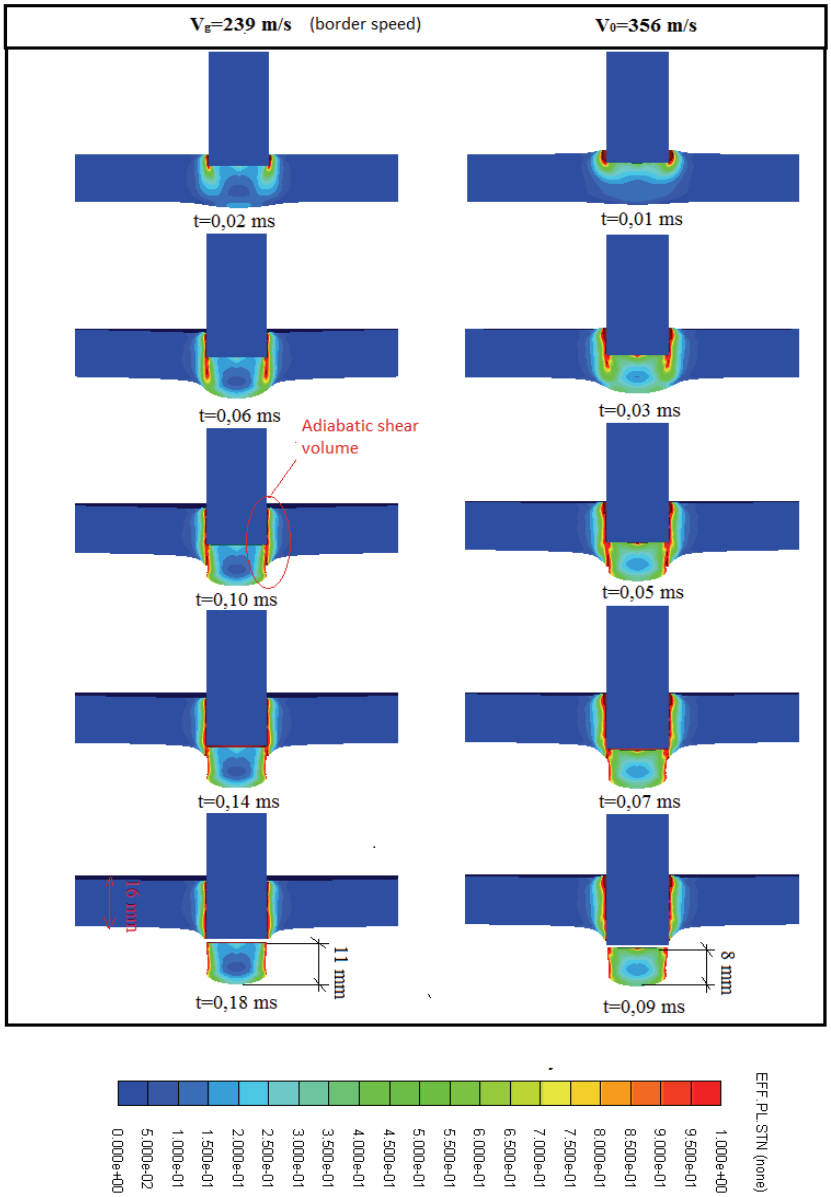

Figure 36 – Comparison of blunt projectile penetration through a 16mm-thick steel plate at two speeds, Vo=239 m/s and Vo=356 m/s, FEM method

Рис. 36 – Сравнительное изображение пробоя стальной плиты, толщиной 16мм тупоконечным снарядом с двумя скоростями: Vo=239 m/s и Vo=356 m/s, FEM метод

Слика 36 – Упоредни приказ пробоја челичне плоче дебљине 16 mm тупим пројектилом при брзинама Vo=239 m/s и Vo=356 m/s , ФЕМ методом

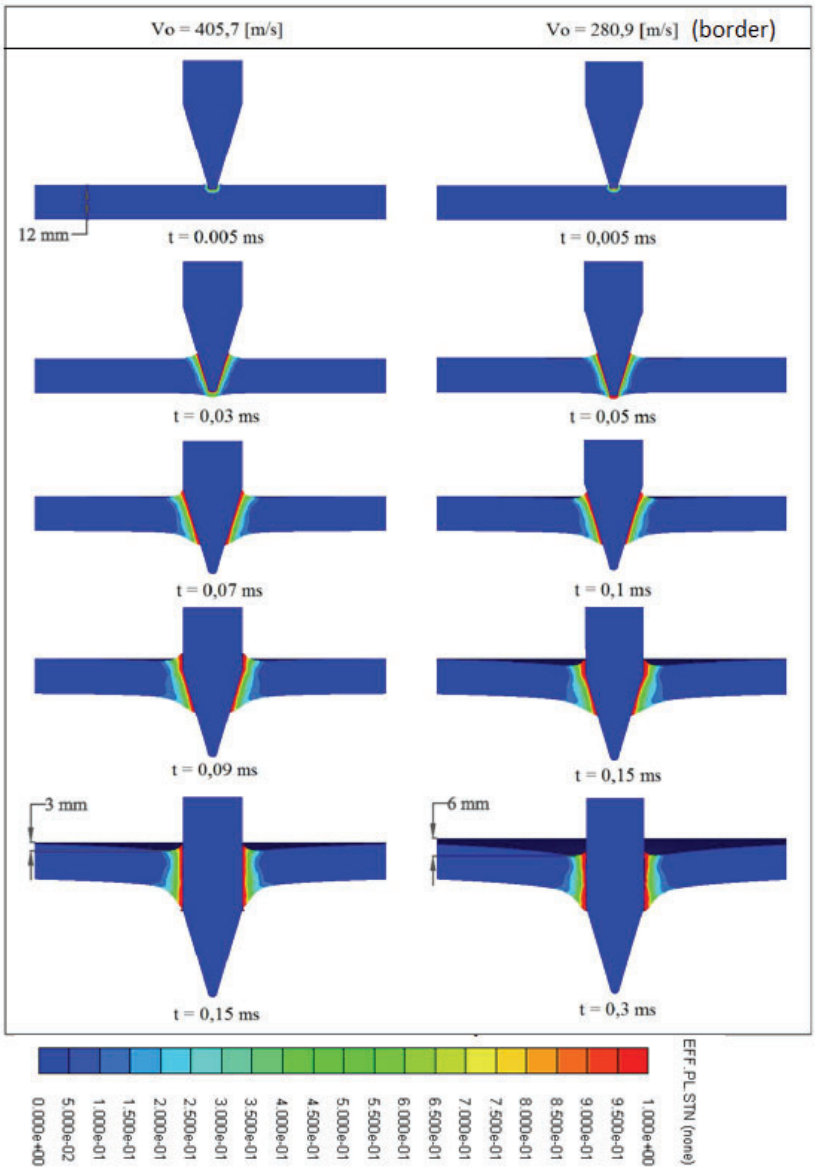

Figure 37 – Comparative illustration of steel plate penetration by two-speed cone projectiles, FEM method
Рис. 37 – Сравнительное изображение пробоя стальной плиты остроконечным снарядом с двумя скоростями, FEM метод
Слика 37 – Упоредни приказ пробоја челичне плоче конусним пројектилом са две брзине, ФЕМ методом

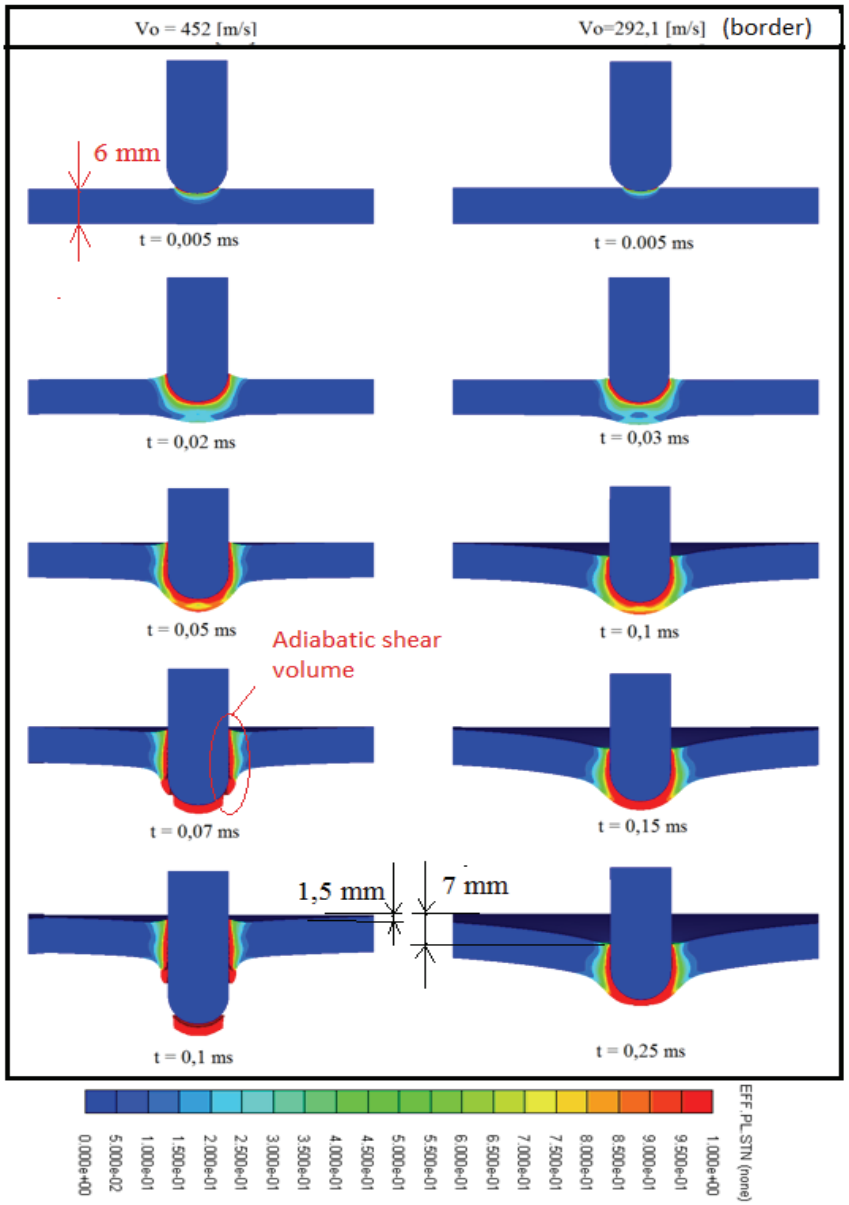

Figure 38 – Comparative illustration of steel plate penetration by two-speed hemispherical projectiles, FEM method
Рис. 38 – Сравнительное изображение пробоя стальной плиты хемисферическим снарядом с двумя скоростями, FEM метод
Слика 38 – Упоредни приказ пробоја челичне плоче хемисферичним пројектилом са две брзине, ФЕМ методом

The presented results were obtained by the coupled SPH-FEM method (SFM) and the FEM, which were adopted for simulating the perforation of steel and aluminum plates of various thicknesses at high speeds, with steel projectiles of different noses. It has been confirmed that both methods can predict fairly accurate fracture patterns, natural missile speeds, and ballistic boundary velocities compared to those observed in previously published analyses of impacts of different types of projectile tips. The deviation in the results was observed for the perforation of thin plates with a blunt projectile using the SFM method. However, changes in the fracture pattern do not fully reflect in the solution obtained from the adopted method, except for smaller impact speeds on thin plates, and these changes occur due to the problem of unstable load which is characteristic for the SFM method. With a reduced range of impact velocities, FEM solutions are in better agreement with experiments and can be adopted for this range of impact velocities. The SFM method combines the benefits of the SPH and FEM methods, while solving their shortcomings in the demanding (at higher speeds) processing and early end of the program due to the serious interruption of the original elements from the real application. Although the SFM is less accurate at lower impact speeds of 170 m/s and less, the method is suitable and efficient for numerically analysing high-velocity penetration and perforation of softer materials, such as aluminum plates.

The Johnson-Cook constituent model and the finite element method, as well as the coupled method (FEM and SFM), were used to perform a numerical analysis of the impacts of a steel projectile on aluminum plates at high velocities. The analyses have shown that there is fairly good agreement with the experimental data for smaller thickness plates, while smaller deviations occur in plates with larger thickness. Also, numerical results deviate more from the experimental ones in the area of lower impact velocities. In order to improve the numerical model and bring the obtained results closer to the experimental ones, it is possible to introduce the influence of the temperature change in the Johnson-Cook constitutive material strength model on plates of larger thicknesses and introduce the influence of friction that occurs during the interaction between projectiles and plates.

Conclusion

The research includes modern methods for modeling impact damage based on the combined application of methods developed by theoretical, experimental and numerical tools. Various types of impacts are analysed numerically. Defined numerical models were applied for the analysis of normal

impacts of projectiles with different types of steel and aluminum tips for a wide impact speed range. Different thicknesses of obstacles were used for the analyses (Weldox steel plate from 6 to 20 mm, aluminum plates from 10 to 25 mm). By varying geometric shapes and materials, wide possibilities have been created for the numerical analysis of various phenomena occurring during the impact, previously identified by experimental tests. By combining the numerical analysis, the theoretical results and the experimental tests, it is possible to gain a wider insight into the processes that occur in impact damage on different metal structures.

An insight gained through the research of analytical and empirical models of impacts on metal structures has helped develop numerical models for more complicated geometry conditions and different structures and surfaces.

During the research, numerical methods based on the finite element method (FEM) and the method based on the coupling of the smooth particle hydrodynamics method and the finite element method (SFM) were applied. It has been confirmed that both methods can predict the exact shape of a fracture, the natural velocity of the projectile, and the ballistic boundary velocity in comparison with those observed in the previously published analyses on the impacts of different projectile nose shapes, with the limits of the application of both methods. The deviation in the results was observed for the perforation of hard steel plates by blunt projectiles using the SFM method. However, disagreements in the predicted fracture shape have no greater impact on the calculated output speeds, except for lower impact speeds on thin plates. At impact speeds that are close to the ballistic ballistic velocity of the FEM solution, they are in better agreement with experiments and can be adopted for the interval of impact velocities applied in the analysis. The SFM method combines the advantages of the SPH and FEM method, overcoming the problem related to the inability to realise the FEM calculation due to the excessive deformation of the numerical network, which is particularly expressed in complex geometric shapes. Although the SFM is less accurate at lower impact speeds, the method is suitable and efficient enough for the numerical analysis of high-velocity penetration and perforation of softer materials such as aluminum plates, whereby with minimal increase in the required computation time, problems with excessive deformation of numerical networks are avoided. Using the Johnson-Cook constituent model for fracture models and materials, the results are obtained that are in good agreement with the corresponding experiments for both applied numerical methods. The analyses for the aluminum plate have shown that for smaller thicknesses there are fairly good matches with the experimental data, while there are significant deviations in plates of larger thicknesses. Also, the numerical results deviate more from the experimental ones in the area of lower impact velocities. In order to improve the numerical model and the obtained results closer to the experimental

ones, in the case of larger thicknesses it is possible to introduce the influence of temperature change in the JS constitutive material strength model and to introduce the influence of friction that occurs during the interaction of the projectile and the plate.

The results are shown for the perforation by missiles with different noses, showing the influence of temperature, plastic deformations, speed of plastic deformations, shear and velocity for projectile penetration through steel and aluminum plates of different thicknesses (from 6-25 mm).

References

Anderson, C.E., 1987. An overview of the theory of hydrocodes. *International Journal of Impact Engineering*, 5(1-4), pp.33-59. Available at: https://doi.org/10.1016/0734-743X(87)90029-7.

Anderson, C.E., Cox, P.A., Johnson, G.R. & Maudlin, P.J., 1994. A constitutive formulation for anisotropic materials suitable for wave propagation computer programs—II. *Computational Mechanics*, 15(3), pp.201-223. Available at: https://doi.org/10.1007/BF00375030.

Anderson, T.A., 2005. An investigation of SDOF models for large mass impact on sandwich composites. *Composites Part B: Engineering*, 36(2), pp.135-142. Available at: https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.05.002.

Backman, M.E. & Goldsmith, W., 1978. The mechanics of penetration of projectiles into targets. *International Journal of Engineering Science*, 16(1), pp.1-99. Available at: https://doi.org/10.1016/0020-7225(78)90002-2.

Borvik, T., Hopperstad, O.S., Langseth, M. & Malo, K.A., 2003. Effect of target thickness in blunt projectile penetration of Weldox 460 E steel plates. *International Journal of Impact Engineering*, 28(4), pp.413-464. Available at: https://doi.org/10.1016/S0734-743X(02)00072-6.

Borvik, T., Clausen, A.H., Hopperstad, O.S. & Langseth, M., 2004. Perforation of AA5083-H116 aluminium plates with conical-nose steel projectiles: Experimental study. *International Journal of Impact Engineering*, 30(4), pp.367-384. Available at: https://doi.org/10.1016/S0734-743X(03)00072-1.

Clausen, A.H., Borvik, T., Hopperstad, O.S. & Benallal, A., 2004. Flow and fracture characteristics of aluminium alloy AA5083-H116 as function of strain rate, temperature and triaxiality. *Materials Science and Engineering*, 364(1-2), pp.260-272. Available at: https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.08.027.

Dey, S., 2004. *High-strength steel plates subjected to projectile impact: An experimental and numerical study*, Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology, ISBN 82-471-6282-2.

Gingold, R.A. & Monaghan, J.J., 1977. Smoothed particle hydrodynamics: Theory and application to nonspherical stars. *Monthly Notices of the Royal*

Astronomical Society, 181(3), pp.375-389. Available at: https://doi.org/10.1093/mnras/181.3.375.

Johnson, G.R. & Cook, W.H., 1985. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures. *Engineering Fracture Mechanics,* 21(1), pp.31-48. Available at: https://doi.org/10.1016/0013-7944(85)90052-9.

Lee, M. & Yoo, Y.H., 2001. Analysis of ceramic/metal armour system. *International Journal of Impact Engineering,* 25(9), pp.819-829. Available at: https://doi.org/10.1016/S0734-743X(01)00025-2.

Lucy, L.B., 1977. A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. *Astronomical Journal,* 82, pp.1013-1024. Available at: https://doi.org/10.1086/112164.

Ravid, M. & Bodner, S.R., 1983. Dynamic perforation of viscoplastic plates by rigid projectiles. *International Journal of Engineering Science,* 21(6), pp.577-591. Available at: https://doi.org/10.1016/0020-7225(83)90105-2.

Rosenberg, Z. & Tsaliah, J., 1990. Applying Tate's model for the interaction of long rod projectiles with ceramic targets. *International Journal of Impact Engineering,* 9(2), pp.247-251. Available at: https://doi.org/10.1016/0734-743X(90)90016-O.

Rosenberg, Z. & Yeshurun, Y., 1988. The relation between ballistic efficiency andcompressive strength of ceramic tiles. *International Journal of Impact Engineering,* 7(3), pp.357-362. Available at: https://doi.org/10.1016/0734-743X(88)90035-8.

Spasić, D., 2015. *Modelovanje udarnih oštećenja vazduhoplovnih struktura,* Ph.D. thesis, University in Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering (in Serbian).

Taylor, G.I., 1948. The formation and enlargement of a circular hole in a thin plastic sheet. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics,* 1(1), pp.103–124. Available at: https://doi.org/10.1093/qjmam/1.1.103.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРА СНАРЯДА ПО МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

Драголюб М. Спасич
Вооруженные силы Республики Сербия, Генеральный штаб, Управление по логистике (J-4), г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: машиностроение
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В данной работе описано численное моделирование ударных повреждений, образовавшихся вследствие удара снаряда по металлической структуре и цели. В работе представлены

результаты экспериментов, испытывающих влияние формы головки снаряда на последствия от удара снаряда о металлическую бронь. Эксперименты проводились на основании ударов снарядов по металлической брони, выполненной из стали и алюминия различной толщины. В ходе эксперимента учитывалось и влияние изменения скорости движения снаряда на последствия от его удара. Для того чтобы эффекты экспериментального моделирования удара выглядели максимально реалистичными, скорость удара снарядов варьировалась от средней до граничной баллистической скорости, при которой осуществлялся пробой преграды. Полученные результаты эксперимента полностью совпали с проведенными реальными действиями на металлические преграды и соответствуют результатам исследований, опубликованых в заграничных изданиях.

Ключевые слова: воздушное судно, авиационные структуры, удар, ударные повреждения, моделирование, снаряд, бронебойный снаряд, пенетратор, прорыв снаряда, проникание, баллистическая защита.

НУМЕРИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ УДАРА ПРОЈЕКТИЛА О МЕТАЛНЕ СТРУКТУРЕ

Драгољуб М. Спасић
Војска Србије, Генералштаб, Управа за логистику (J-4), Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: машинство
ВРСТА ЧЛАНКА: прегледни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду је описано нумеричко моделовање ударних оштећења која настају при удару пројектила о металне структуре. Приказани су и експериментални резултати удара пројектила различитих облика врхова о металне структуре. Експерименти су спроведени ударом пројектила о металне препреке од челика и алуминијума различитих дебљина са променом брзине удара пројектила. Како би ефекти експерименталних симулација удара били што приближнији стварном, брзине удара пројектила су вариране, тако да одговарају просечним и граничним брзинама удара пројектила при којима долази до пробијања препреке. Добијени експериментални резултати су се подударили са спроведеним реалним дејством на металне препреке и сличним испитивањима приказаним у страној литератури.

Кључне речи: ваздухоплов, ваздухопловне структуре, удар, ударна оштећења, моделовање, пројектил, панцирни пројектил, пенетратор, продор пројектила, пробојност, балистичка заштита.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 26.11.2015.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 08.11.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 10.11.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

EVALUATION OF POSITIONAL ACCURACY OF DIGITAL TOPOGRAPHIC MAPS AT SCALE 1:25 000 (DTM25) ON THE BASIS OF STANAG 2215 STANDARD

Siniša M. Drobnjak[a], *Branko* S. Božić[b]
a Military Geographical Institute, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: sdrobnjak81@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-6566-5538
b University of Belgrade, Faculty of Civil Engenering,
Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: bozic@grf.bg.ac.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-2208-5140

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-14394

FIELD: Earth Sciences
ARTICLE TYPE: Review Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

The paper describes the results of the positional accuracy assessment of digital topographic maps at scale 1: 25 000 produced by the Serbian Military Geographic Institute (MGI). The test for the horizontal and vertical accuracy compliance of map sheets is done by comparing the planimetric and height coordinates of the ground points to the coordinates of the same points as determined by a check survey of higher accuracy. In this research STANAG 2215 standard was used and the methodology of its use is discussed in detail. The results of positional accuracy assessment for the digital topographic maps at scale 1:25 000 produced by the Military Geographic Institute have confirmed the highest level of accuracy defined by STANAG 2215 standard.

Key words: positional accuracy, STANAG 2215 standard, digital topographic maps, Military Geographical Institute.

Introduction

Positional accuracy represents the nearness of those values to the entity`s "true" position in the coordinate system (Drummond, 1995), (Tveite, 1999). Positional accuracy is one element of the spatial data quality, which

is defined as the accuracy of the position of features within a spatial reference system (Stanislawski et al, 1996), (Zandbergen, 2008), (Drobnjak et al, 2016). Also, positional accuracy may be defined as a degree to which the digital representation of a real-world entity agrees with its true position on the earth's surface (Congalton & Plourde, 2002), (Devillers & Jeansoulin, 2010).

It consists of three sub-elements of data quality:

- Absolute or external accuracy – closeness of the reported coordinate values to the values accepted as or being true;
- Relative or internal accuracy – closeness of the relative positions of features in a dataset to their respective relative positions accepted as or being true;
- Positional accuracy of gridded data – closeness of the gridded data spatial position values to the values accepted as or being true.

Evaluation of positional accuracy is reduced to a comparison of the coordinates of individual points read from maps with a reference, several times more accurate coordinates of the same points positioned corresponding geodetic measurements in the field, or taken from other sufficiently accurate sources (Goodchild & Hunter, 1997). The basic problem in assessing the positional accuracy of the maps is the choice of measures of accuracy (i.e. accuracy estimators), as well as a corresponding set of points that represent a particular map sheet and that represent entirety of whole map (Bozic & Radojcic, 2011), (Petrovič, 2006).

An example of successful positional accuracy estimation of digital topographic maps is represented by the Army Geographic Institute of Portugal, who has made the assessment of the positional accuracy of a vector data digital topographic map at scale 1:25 000 using STANAG 2215 standard. In the article (Afonso et al, 2006), the obtained results of estimates of positional accuracy are divided into specific areas by the year of production of spatial data, as it was done in this paper.

Positional accuracy has traditionally been evaluated using control points. These points are defined as "well defined points", and their use has been conditioned by classical topographic field surveying methods (Bozic & Radojcic, 2011). Following this idea, there are very many statistical Positional Accuracy Assessment Methodologies like: NMAS, NSSDA (FGDC 1998), STANAG 2215 (NATO 2002). Also, those methodologies represent point-based positional accuracy assessment methods and many of them are stated as standards for the positional control of cartographic products by national mapping agencies. Some of these methods have recently been analyzed in detail using a simulation process and compared in a more general manner by the same authors. Nevertheless, researchers have criticized these standards for being limited to well defined points, and

also for failing to address more complex elements like linear and polygon ones. It is not possible to assume that all features can be characterized by an error in the position of the well-defined points (Bozic & Radojcic, 2011).

On the other hand, the most widely applied methods for the line-based positional accuracy assessment of 2D lines are: the Hausdorff Distance (HDM) (Ariza-López et al, 2011), the Mean Distance (MDM) (Skidmore & Turner, 1992), the Single Buffer Overlay (SBOM) (Goodchild & Hunter, 1997) and the Double Buffer Overlay (DBOM) (Tveite, 1999). All the methods present an asymmetric or directional behavior which means that results depend on the direction of the assessment. The asymmetry comes from intervening elements in the distance estimation formula being applied. All the results are understood as uniform errors along the lines but we know that the distribution is non-uniform in lines; and that is a limitation of all of them.

Figure 1 shows two examples of errors in the evaluation of positional accuracy of the test data set. Section 1 shows a road portion which is wrong mapped, while Section 2 shows a public object in the scale (hospital), also mapped at wrong positioning in relation to the reference data of the universe of discourse.

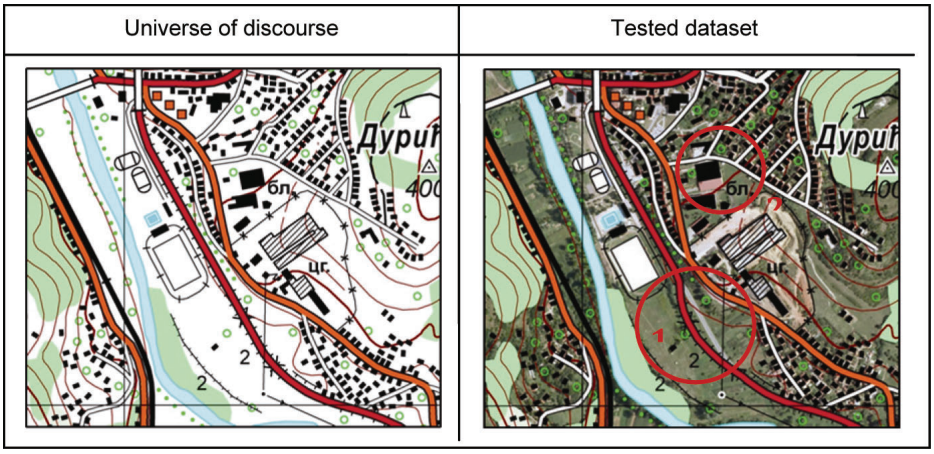

Figure 1 – Example of positional inaccuracy
Рис. 1 – Пример позиционной погрешности
Слика 1 – Пример положајне нетачности

Methods and materials

In STANAG 2215, the absolute horizontal accuracy is defined as the uncertainty in the horizontal position of a point with respect to the

horizontal datum required by a product specification, caused by random and any systematic errors, and is expressed as a circular error at the 90% confidence level – CMAS (NATO, 2002). In a similar manner, the absolute vertical accuracy is defined as the uncertainty in the vertical position of a point with respect to the vertical datum, caused by random and any systematic errors, and is expressed as a linear error at the 90% confidence level – LMAS (NATO, 2002).

The process of evaluation of horizontal positional accuracy begins with the first step, where we calculate the circular error or circular error estimate – CE (defined as the distance in the horizontal plane between a true or known position and the measured or derived position and may involve the use of several circular error confidence levels). The circular error takes into consideration that a certain percentage of the error in the two axes E (Easting coordinates) and N (Northing coordinates) will lie within a circle of a certain radius of the mean error (Ariza López & Atkinson, 2008). The circular standard deviation of the measured differences between the product and reference data sets, marked with σ_C may be computed from the linear standard deviations of E and N (NATO, 2002):

$$\sigma_C \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\sum \left(\delta E_i - \overline{\delta E} \right) + \sum \left(\delta N_i - \overline{\delta N} \right)^2}{n-1} \right]} \tag{1}$$

where

- σ_C is the circular standard deviation (with a confidence level of 39.35%),
- δE_i, δN_i are individual differences of measured and reference coordinates of the E and N axis, respectively,
- $\overline{\delta E}$ and $\overline{\delta N}$ are the arithmetic means of the difference between the axes and
- n is the number of the diagnostic points.

Then the outlier detection is performed. The residuals R with a value higher of $M_2 \cdot \sigma_C$, should be tested according to:

$$R = \sqrt{\sum \left(\delta E_i - \overline{\delta E} \right)^2 + \sum \left(\delta N_i - \overline{\delta N} \right)^2} > M_2 \cdot \sigma_C \tag{2}$$

where M_2 is computed depending on the size of a sample (i.e. degrees of freedom, $n–1$):

$$M_2 = \sqrt{2.5055 + 4.6052 \cdot \log_{10}(n-1)} \tag{3}$$

STANAG 2215 standard regulates a test to determine whether or not a computed bias is significant, by compare values of δE and δN with zero. The bias should be considered to be significant at the 90% confidence level if zero does not lie in the range $\left(\overline{x} - t_{10\%} \cdot \sigma_{\overline{x}}\right)$ and $\left(\overline{x} + t_{10\%} \cdot \sigma_{\overline{x}}\right)$, where:

- $\sigma_{\overline{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$
- $\overline{x}$ – mean value along the axis E or N ($\overline{\partial E}$ or $\overline{\partial N}$)
- σ_x – root-mean-square error per coordinate axis, E or N
- $t_{10\%}$ – value which ensures a confidence level of 90% based on a t distribution for n–1 degrees of freedom.

The absolute horizontal accuracy at the 90% confidence level when there is no systematic error (i.e. when $\overline{\partial E}$ and $\overline{\partial N}$ do not significantly differ from zero) is calculated with (NATO, 2002):

$$CMAS = 2.146 \cdot \sigma_C \tag{4}$$

When the products contain a bias (i.e. when $\overline{\partial E}$ and/or $\overline{\partial N}$ significantly differ from zero), then:

$$CMAS = \sigma_C \cdot \left[1.2943 + \sqrt{\left(\frac{d}{\sigma_C}\right)^2 + 0.7254}\right] \tag{5}$$

where *d* is the mean error vector (bias):

$$d = \sqrt{\left(\overline{\partial E}\right)^2 + \left(\overline{\partial N}\right)^2} \tag{6}$$

In accordance with STANAG 2215, map products at scale 1:25000 are classified by the CMAS in five position accuracy classes (Table 1).

Table 1 – The cartographic products classification by horizontal positional accuracy
Таблица 1 – Классификация картографических изданий по горизонтальной позиционной точности
Табела 1 – Класификација картографских публикација на основу хоризонталне положајне тачности

Rating	Measurement at Product Scale	Value of Circular Map Accuracy Standard (CMAS)
A	0.5 mm	12.5 m
B	1.0 mm	25 m
C	2.0 mm	50 m

Rating	Measurement at Product Scale	Value of Circular Map Accuracy Standard (CMAS)
D	>2.0 mm	Poorer than Rating C
E	Not determined	

For vertical accuracy evaluation, STANAG 2215 demands at least 167 check points per data set, like for horizontal accuracy evaluation. In the vertical accuracy evaluation procedure, the first step is to calculate the height differences between the measured height and the reference height δH_i, then its differences from the mean value of all differences and calculate the linear standard deviation:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \left(\partial H_i - \overline{\partial H}\right)^2}{n-1}} \tag{7}$$

Then, the tests for blunders and systematic errors are performed, in the same way as for horizontal accuracy evaluation. Finally, we have to evaluate the linear error with the 90% confidence level. If ∂H is not significantly differing from zero, the LMAS is calculating as:

$$LMAS = 1.645 \cdot \sigma \tag{8}$$

and in the opposite case:

$$LMAS = \sigma \cdot \left[1.645 + 0.92 \cdot \left(\frac{\left|\overline{\partial H}\right|}{\sigma} \right)^2 - 0.28 \cdot \left(\frac{\left|\overline{\partial H}\right|}{\sigma} \right)^3 \right] \tag{9}$$

By the value of the LMAS, STANAG 2215 divides all cartographic products at scale 1:25 000 into five classes (Table 2).

Table 2 – The cartographic products classification by vertical positional accuracy (α=0.10)
Таблица 2 – Классификация картографических изданий по вертикальной позиционной точности (α = 0,10)
Табела 2 – Класификација картографских публикација на основу вертикалне положајне тачности (α=0,10)

Rating	Value of Linear Map Accuracy Standard (LMAS)
0	2.5 m
1	5 m
2	10 m
3	Poorer than Rating S
4	Not determined

STANAG 2215 standard requires a minimum of 167 diagnostic (well-defined) points per sheet or a defined test area. In this standard, the assessment of the accuracy is also based on comparisons between the values on the product being assessed and more accurate data. A well-defined point is one that can be easily and uniquely identified on the map and in the field. STANAG 2215 insists that all types of geographic elements must be involved (Bozic & Radojcic, 2011).

In this research, the test area for the positional accuracy assessment was covered by 49 sheets of a digital topographic map at scales of 1:25 000 (DTM25), as shown in Figure 2. The marked rectangles in Figure 2 represent the tested sheets of the digital topographic maps at scale 1:25000.

For every sheet of DTM25 in the test area, we assigned to the 167 well-defined points, chosen from nearly all thematic layers of digital topographic maps. A larger number of those points are collected in the field measurement using a GPS receiver, while the coordinates of remaining points are determined using 3D stereorestitution (Drobnjak et al, 2014).

The field measurements were carried out with one GPS Trimble Geoexplore receiver. The receiver was tested on control points. The accuracy of the GPS positioning in the national map grid system, as defined by the root mean square error of a single point, was 1.41 m. The coordinates obtained by GPS measurements and 3D stereorestitution were compared with the map coordinates of the common points using the PAAT (Positional Accuracy Assessment Tool) tool ESRI ArcGIS software (Esri ArcGIS, 2014).

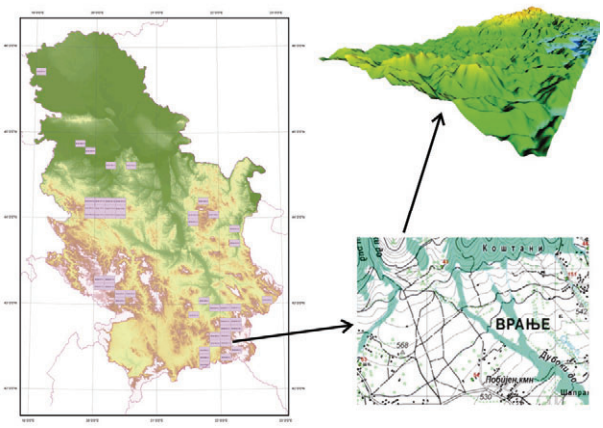

Figure 2 – Test area for positional accuracy assessment
Рис. 2 – Местность тестирования, выбранная для оценки позиционной точности
Слика 2 – Тест-подручје за оцену положајне тачности

The PAAT tool used the root mean square error, which is denoted by RMSE for assessing the positional accuracy. RMSE is the second root of the mean sum of squared differences of coordinates read from the map and the corresponding reference ("true") coordinates. The absolute horizontal accuracy is the uncertainty of two-dimensional position (relative to the horizontal datum) and is expressed as circular errors with 90, 95 and 99% confidence levels. On the other hand, absolute vertical accuracy is the uncertainty of one-dimensional position (relative to the vertical datum) and is expressed as a linear error with 90, 95 and 99% confidence levels. Accuracy is communicated in those units in which coordinates are expressed in nature (meter), which enables a direct comparison of different products, regardless of the differences in scale or resolution.

The PAAT has the ability of the automatic testing and elimination of gross errors. A testing statistic called 3σ threshold is used for this (Figure 3). If a specific positional error is greater than the value of 3σ, the program eliminates it, leaving the possibility to keep these points if we wish to do that (ESRI, 2012).

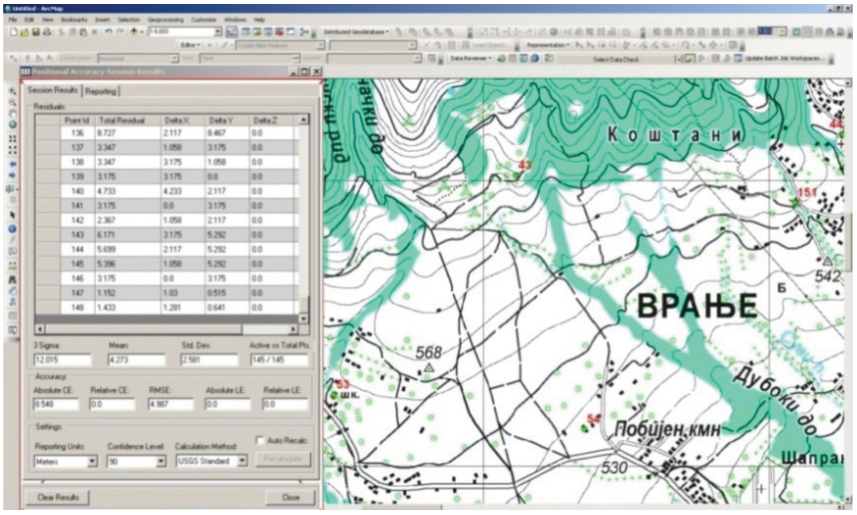

Figure 3 – PAAT tool
Рис. 3 – Инструмент PAAT
Слика 3 – Алат PAAT

The report of the positional accuracy assessment results using the PAAT tool consists of a text file for the appropriate test area, the vector data of the reference and the test points in a standard ESRI Shapefile vector format and metadata in accordance with ISO 19115 and FGDC standards in the form of an XML file. Since the PAAT tool does not have

an integrated analysis of positional accuracy on the basis of STANAG 2215 standard, the results of the analysis have been exported to the Excel format (Drobnjak et al, 2016).

Results

Table 3 shows the results of an analysis of the absolute positional accuracy of using the aforementioned quality measures with classification of digital topographic maps according to STANAG 2215 standard for all test areas that were analyzed in the experimental research activities by year of production of spatial data.

Table 3 – Positional accuracy assessment results of the tested area
Таблица 3 – Результаты оценки позиционной точности на тестируемой местности
Табела 3 – Резултати оцене положајне тачности тест-подручја

Ord. num	Results of positional accuracy assessment				
	Test area/map sheet	standard STANAG 2215			
		CMAS	LMAS	Classification related to CMAS	Classification related to LMAS
1	Šira okolina Ljiga (ukupno 8 listova DTK25)	9.111	2.456	A	0
2	NL 34-11/7-4-1 Rudnik	10.715	2.046	A	0
3	NL 34-11/7-4-3 Gornji Milanovac	9.696	1.964	A	0
	mean value =	9.841	2.226		
4	NL 34-11/9-2-3 Žagubica	10.042	2.102	A	0
5	NL 34-11/9-3-4 Resavica	11.387	2.351	A	0
6	NL 34-11/9-4-4 Zlot	10.449	2.452	A	0
7	NK34-2/3-1-2 Zabrega	10.334	2.326	A	0
8	NK34-3/1-1-4 Zajačar	8.193	1.109	A	0
9	NK34-3/1-3-4 Minićevo	9.287	2.021	A	0
	mean value =	9.949	2.060		
10	NL34-10/3-2-3 Hrtkovci	9.221	0.789	A	0
11	NL34-10/3-4-2 Grabovci	8.505	1.061	A	0
12	NK34-5/6-2-2 Moštanica	10.605	2.785	A	1
13	NK34-5/6-2-4 Vranje	7.785	2.428	A	0
14	NK34-5/6-4-1 Bujanovac	10.304	1.617	A	0
15	NK34-5/6-4-3 Biljača	9.178	1.578	A	0
16	NK34-5/9-2-1 Žujince	9.253	1.654	A	0
17	NK34-6/4-3-2 Dukat	12.195	4.805	A	1
18	NK34-6/4-1-1 Jelašnica	8.402	1.995	A	0
19	NK34-6/4-1-3 Bujkovac	9.253	3.197	A	1
20	NK34-6/4-3-3 Trgovište	9.335	2.465	A	0
	mean value =	9.458	2.216		
21	NK34-2/9-4-3 Bojnik	7.468	0.690	A	0
22	NK34-3/8-3-3 Dimitrovgrad	7.276	1.247	A	0
23	NK34-5/3-1-4 Medveđa	9.751	2.415	A	0
24	NK34-5/3-2-2 Leskovac	7.675	0.679	A	0
25	NK34-6/1-1-1 Vlasotince	7.503	1.252	A	0
26	NK34-6/1-1-2 Kruševica	8.069	2.425	A	0

	Results of positional accuracy assessment				
		standard STANAG 2215			
27	NK34-6/1-3-1 Predajane	7.909	2.238	A	0
28	NK34-6/1-3-2 Crna Trava	7.857	2.309	A	0
29	NK34-6/1-3-3 Vladičin Han	11.251	2.410	A	0
30	NK34-6/1-3-4 Surdulica	7.999	2.633	A	1
	mean value =	8.276	1.830		
31	NK34-2/7-1-1 Sjenica istok	8.540	1.226	A	0
32	NK34-2/7-1-2 Muhovo	9.176	3.009	A	1
33	NK34-2/7-1-3 Žitniće	8.319	1.103	A	0
34	NK34-2/7-1-4 Bele Vode	8.940	1.893	A	0
35	NK34-2/7-4-1 Mur	9.313	2.266	A	0
36	NK34-2/7-4-2 Novi Pazar	9.606	2.339	A	0
37	NK34-2/7-4-3 Kožilje	8.215	2.237	A	0
38	NL34-11/4-1-2 Obrenovac	6.872	0.716	A	0
39	NL34-11/4-2-2 Ripanj	7.117	0.944	A	0
40	NL34-7/2-4-3 Prigrevica	8.173	0.774	A	0
	mean value =	8.427	1.651		
	Legend:		- Production year 2007		
			- Production year 2009		
			- Production year 2012		
			- Production year 2013		
			- Production year 2014		

From Table 3, it can be concluded that all 40 test areas analyzed in the experimental study of the horizontal positional accuracy of the DTM have a value of the circular error as the map accuracy standard is less than 12.5 meters (CMAS < 12.5 m) and belong to the best "A" map class according to the classification of STANAG 2215 standard. Also, it can be concluded that, in the analysis of the vertical positional accuracy of the 40 analyzed test areas, 35 test areas have a value of linear errors as the map accuracy standard of less than 2.5 meters (LMAS < 2.5 m) and belong to the best "0" map class according to the classification of STANAG 2215, while five test areas have a LMAS value between 2.5 and 5 meters (2.5 m<LMAS<5 m) and belong to the class "1" according to the classification of STANAG 2215. From everything shown and mentioned, it can be concluded that the analyzed DTM produced by the MGI have a high level of geometrical, positional accuracy.

The graphical representation as a diagram of the circular error value as the map accuracy standard (LMAS) by a production year is shown in Figure 4.

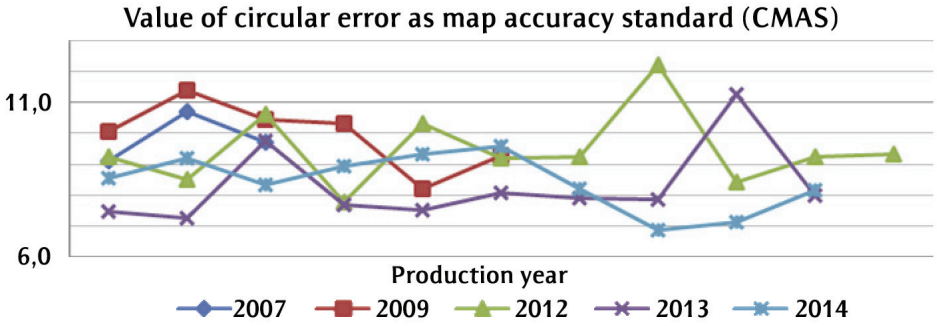

Figure 4 – Diagram of the CMAS values
Рис. 4 – Диаграмма значений CMAS
Слика 4 – Дијаграм вредности CMAS

The graphical representation of the LMAS value by a production year is shown in Figure 5.

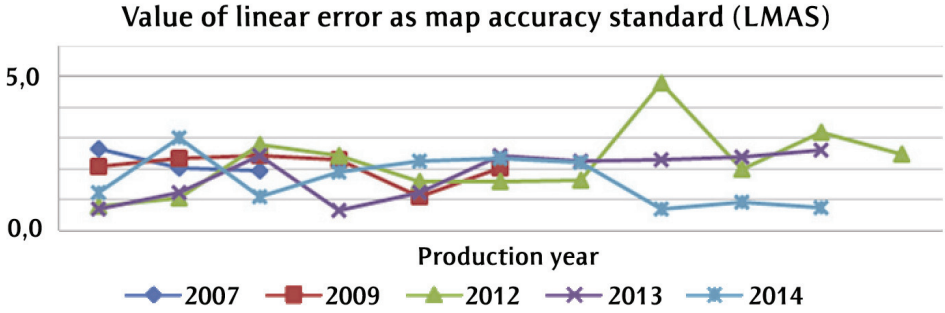

Figure 5 – Diagram of the LMAS values
Рис. 5 – Диаграмма значений LMAS
Слика 5 – Дијаграм вредности LMAS

Table 4 shows the standardized report on the results achieved by positional accuracy assessment and the classification of digital topographic maps related to STANAG 2215 standard for the test area which covers one sheet of DTM25, nomenclature NK34-5/6-2-4, Vranje.

Table 4 – Standardized report of a positional accuracy assessment for the tested area
Таблица 4 – Стандартизованный отчет о позиционной точности на тестируемой местности
Табела 4 – Стандардизовани извештај оцене положајне тачности тест-подручја

DATUM				**1/SCALE**	**25000**
INPUT DATA					
			Lower	**MPV**	Upper
	Mean E difference =		-1.6636	**-1.2341**	-0.8047
	Mean N difference =		0.7770	**1.2712**	1.7654
	Mean H difference =		-0.2803	**-0.0920**	0.0963
	Standard deviation E =		3.0895	**3.3653**	3.7005
	Standard deviation N =		3.5552	**3.8726**	4.2583
	Standard deviation H =		1.3548	**1.4758**	1.6228
	Circular Standard Error =		3.330	**3.628**	3.989
No. plan points =		**168**	Degrees of Freedom =		**167**
No. height points =		**168**	Degrees of Freedom =		**167**
OUTLYING POINT CHECK					
Circular Tolerance:		12.9497			
Tolerance for E diff:		10.7284	-11.962	< E diff <	9.494
Tolerance for N diff:		12.3455	-11.074	< N diff <	13.617
Tolerance for H diff:		4.7047	-4.797	< H diff <	4.613
ANALYSIS					
			Lower	MPV	Upper
HEIGHT:					
Bias-free Estimate of LMAS			2.2286	**2.4275**	2.6693
Linear Point-to-Point Accuracy			3.1517	3.4331	3.7750
(Intermediate quantity b/Sigma)			0.0679	0.0624	0.0567
Significance of Avge H diff:			NO	NO	NO
Absolute LMAS (bias model 1)			N/A	N/A	N/A
Absolute LMAS (bias model 2)			N/A	N/A	N/A
Selected LMAS figure			2.2286	2.4275	2.6693
Adjusted LMAS figure				**2.4266**	
Rating				**0**	
PLAN:					
Bias-free estimate of CMAS			7.1472	**7.7853**	8.5607
Plan Point-to-Point Accuracy			10.1076	11.0101	12.1067
Systematic Shift				1.7717	
Significance of Shift			YES	YES	YES
(Intermediate quantity d/SigmaC)			0.5320	0.4884	0.4441
Absolute CMAS with bias			7.6550	8.2573	8.9949
Selected CMAS figure			7.6550	8.2573	8.9949
Adjusted CMAS figure				**8.2542**	
Rating				**A**	

Conclusion

Knowledge of positional accuracy is of fundamental importance both for map users and for manufacturers. Unlike most online properties, its horizontal positional accuracy can be fully examined and quantified in an exact way. This paper presents the results of an assessment of the positional accuracy of digital topographic maps in a scale of 1:25 000 produced in the Military Geographical Institute. The evaluation of positional accuracy verified and confirmed that the analyzed digital topographic maps produced in the Military Geographical Institute have a high level of geometric positional accuracy.

The obtained results of the positional accuracy assessment have the same level of accuracy to the specifications considered in the STANAG 2215 standard, which indicates that the MGI obtains the best classification as defined in STANAG 2215 standard.

References

Afonso, A., Dias, R. & Teodoro, R. 2006. IGeoE: Positional quality control in the 1/25000 cartography. In: *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*, Lisbon. 5 ato 7 de July 2006.

Ariza López, F.J. & Atkinson Gordo, A.D. 2008. Analysis of some positional accuracy assessment methodologies. *Journal of Surveying Engineering*, 134(2), pp.45-54. Available at: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:2(45)

Ariza-López, F.J., Mozas-Calvache, A.T., Ureña-Cámara, M.A., Alba-Fernández, V., García-Balboa, J.L., Rodríguez-Avi, J. & Ruiz-Lendínez, J.J. 2011. Sample size influence on line-based positional assessment methods for road data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(5), pp.708-719. Available at: https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.06.003.

Bozic, B. & Radojcic, S., 2011. Horizontal Accuracy of 1:50 000 Digital Topographic Maps. *Survey Review*, 43(319), pp.94–104. Available at: http://dx.doi.org/10.1179/003962611x12894696204740.

Congalton, R.G. & Plourde, L. 2002. Manual of geospatial science and technology. Chapter 21 - Quality assurance and accuracy assessment of information derived from remotely sensed data, pp.349-363. [e-book]. London and New York: CRC Press. Available at: https://doi.org/10.1201/9780203305928.ch21. Accessed: 20 June 2017.

Devillers, R. & Jeansoulin, R. 2010. *Fundamentals of spatial data quality. Chapter 2 - Spatial Data Quality: Concepts.* [e-book]. London: ISTE. Available at: http://dx.doi.org/10.1002/9780470612156.ch2. Accessed: 20 June 2017.

Drobnjak, S., Radojčić, S. & Božić, B. 2014. Primena ISO 19157 standarda u tehnološkom procesu izrade digitalnih topografskih karata. *Tehnika*, 69(6), pp. 931-937 (in Serbian). Available at: http://dx.doi.org/10.5937/tehnika1406931D.

Drobnjak, S., Sekulović, D., Amović, M., Gigović, Lj. & Regodić, M., 2016. Central geospatial database analysis of the quality of road infrastructure data. *Geodetski vestnik*, 60(2), pp.269-284. Available at: http://dx.doi.org/ 10.15292/geodetski-vestnik.2016.02.269-284.

Drummond, J., 1995. *Elements of Spatial Data Quality*. Chapter 3 - Positional accuracy, pp.31-58. [e-book]. Elsevier. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-042432-3.50010-0.

-Esri ArcGIS, Positional Accuracy Assessment Tool Help. Redlands, CA, USA. [Internet]. Available at:
http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/data-reviewer/what-is-positional-accuracy-assessment.htm. Accessed: 24 March 2017.

Goodchild, M.F. & Hunter, G.J. 1997. A simple positional accuracy measure for linear features. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(3), pp.299–306. Available at:
http://dx.doi.org/10.1080/136588197242419.

-NATO, 2002. Standardization Agreement (STANAG) 2215: Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data, 6th ed. Brussels: NATO Standardization Agency.

Petrovič, D. 2006. Ocena kakovosti državne topografske karte v merilu 1: 50 000. *Geodetski vestnik*, 50(2), pp.187-200 (in Slovenian). Available at: http://www.geodetski-vestnik.com/50/2/gv50-2_187-200.pdf.

Skidmore, A.K. and Turner, B.J., 1992. Map accuracy assessment using line intersect sampling. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58(10), pp.1453-1457. Available at: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1992journal/oct/1992_oct_1453-1457.pdf

Stanislawski, L.V., Dewitt, B.A. and Shrestha, R.L., 1996. Estimating positional accuracy of data layers within a GIS through error propagation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(4), pp.429-433. Available at: https://pdfs.semanticscholar.org/9097/a7d91741c65d3a18d6e1c38dccc13bf0cf9a.pdf.

Tveite, H. 1999. An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1), pp.27–47. Available at:
http://dx.doi.org/10.1080/136588199241445.

Zandbergen, P.A., 2008. Positional Accuracy of Spatial Data: Non-Normal Distributions and a Critique of the National Standard for Spatial Data Accuracy. *Transactions in GIS*, 12(1), pp.103–130. Available at:
http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9671.2008.01088.x.

ОЦЕНКА ПОЗИЦИОННОЙ ТОЧНОСТИ НА ЦИФРОВОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ МАСШТАБА 1:25 000 (ТК25), РАЗРАБОТАННОЙ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ «STANAG 2215»

Синиша М. Дробняк[а], *Бранко* С. Божич[б]
[а] Военно-географический институт, г. Белград, Республика Сербия
[б] Белградский университет, Строительный факультет, г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: геонауки
ВИД СТАТЬИ: обзорная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

В статье описываются результаты оценки позиционной точности цифровых топографических карт, масштаба 1: 25 000, разработанных сербским Военно-географическим институтом (ВГИ). Испытание на соответствие горизонтальной и вертикальной точности отдельных листов карт осуществляется путем сравнения контурных и высотных координат наземных точек с координатами тех же точек, которые определяются контрольным обзором с более высокой точностью. В данной работе подробно представлена методология применения стандарта STANAG 2215, в соответствии с которым было проведено настоящее исследование. Результат позиционной оценки точности цифровых топографических карт в масштабе 1:25 000, разработанных Военным географическим институтом, подтвердил высокий уровень точности, определенный стандартом STANAG 2215.

Ключевые слова: позиционная точность, стандарт STANAG 2215, цифровое топографические карты, Военно-географический институт.

ОЦЕЊИВАЊЕ ПОЛОЖАЈНЕ ТАЧНОСТИ ДИГИТАЛНЕ ТОПОГРАФСКЕ КАРТЕ У РАЗМЕРИ 1:25 000 (ДТК25) НА ОСНОВУ СТАНДАРДА СТАНАГ 2215

Синиша М. Дробњак[а], *Бранко* С. Божић[б]
[а] Војногеографски институт, Београд, Република Србија
[б] Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: геонауке
ВРСТА ЧЛАНКА: прегледни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

У раду се описују резултати оцењивања положајне тачности дигиталних топографских карата у размери 1:25 000, произведених у Војногеографском институту (ВГИ) Републике Србије. Тестирање хоризонталне и вертикалне положајне тачности појединачних листова карата урађено је поређењем планиметријских и висинских координата тест-тачака са кореспондентним тачкама веће тачности одређених теренским премером. У истаживању је коришћен стандард STANG 2215 и детаљно је описана његова методологија. Резултати овог оцењивања потврдили су највиши ниво тачности дефинисан стандардом STANAG 2215.

Кључне речи: положајна тачност, стандард STANAG 2215, дигиталне топографске карте, Војногеографски институт.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 29.06.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 03.08.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 05.08.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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 лиценцом (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/rs/).

СТРУЧНИ ЧЛАНЦИ

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

PROFESSIONAL PAPERS

IMPROVED TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE MI-8/17 IN THE ARMY OF FYR MACEDONIA

Drage T. Petreski[a], *Andrej* P. Iliev[b], *Elena* M. Trajanovska[c], *Lazar* B. Gjurov[d], *Aleksandar* S. Petrovski[e]
Military Academy „General Mihailo Apostolski“, Skopje, FYR Macedonia
[a] e-mail: drage_petreski@yahoo.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-5830-1389
[b] e-mail: andrej220578@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-7917-1966
[c] e-mail: ebatkoska@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-4558-1382
[d] e-mail: lazar.gjurov@gmail.com
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-7608-2802
[e] e-mail: aleksopetrovski@gmail.com
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-5265-5813

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-14520

FIELD: aerospace engineering, electronics, telecommunications
ARTICLE TYPE: Professional Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Abstract:

Worldwide experience has shown that MI-8/17 helicopters are on the top of the middle class list of high performance multipurpose helicopters, flying at high altitudes in complex meteorological conditions.

The paper addresses their development, transport, as well as rescuing and combat capabilities. The excellent technical characteristics of flight and their capabilities for uninterrupted and smooth performance of tasks demonstrate the reason why the Armed forces of the FYR of Macedonia decided to use Mi-8/17 helicopters and are determined to invest in their modernization and improvement of their technical capabilities. The modernization of the resources of armies is a continuous process, which is a part of all modern military security structures. Most armed forces do not economize the funds allocated for this purpose, due to the fact that

they aspire to achieve the planned capabilities, so that they would attain the ultimate preparedness in terms of capabilities of the security forces regarding technology and trained personnel.

Key words: modernization, technical capabilities, project, aircraft, performance, force.

Introduction

Helicopters are among the first aircraft designed by people; however, it took a long time before they were put in use. Bringing the idea to fruition was not so easy. The first records of the concept of helicopters as aircraft date back from the end of the 15th century, the period of Leonardo da Vinci, one of the greatest minds of the renaissance. Since then, the improvement of helicopter technology has not stopped its development. One of many scientists who have contributed to its development is the renowned Russian scientist and helicopter designer Mikhail Mil, 1900-1970.

This scientist became famous for his merits of Mi-8/17 helicopters design, one of many famous twin engine helicopters in the world, included in the list of the most popular aircraft of its type in the world history of aviation.

On August 2 1962, the first prototype of the multipurpose Mi-8/17 helicopters had its first flight (www.topwar.ru). It is currently the most popular twin turbine multipurpose helicopter in the world and the most mass produced helicopter in the history of aviation, used for numerous civilian and military tasks.

The Mi-8 program was followed by a tremendous technical documentation, modification, and improvement: 12000 copies in different variants were produced. Based on the experience and the results of the Mi-8, this famous helicopter, which is capable of landing on a water surface, was developed under the designation Mi-14 (http://kollektsiya.ru).

Aviation, as one of the most complex components of the Republic of Macedonia's defence system, requires a special focus on the area of modernization of the Mi-8/17, as the most typical and most used aviation technique in the Macedonian Air Force. The transport component is essential for the airlift and multipurpose capabilities of the Armed Forces aircraft. Equipping the helicopters is only one part of the problem that has emerged in the recent years besides the outdating of the aircraft (Dicevski, 2012, pp.21-22).

Technological development

Although most of the historians mainly focus on aircraft with fixed wings, a helicopter flight was the first flight conceptualized by people. As a matter of fact, ancient Chinese played with mobile tops which flew by accelerated rotation of their wings. These tops occurred approximately in 400 B.C. in China and were the subject of experimentation by Sir George Cayley, the father of modern aeronautics. These tops occurred in Europe in the period of renaissance on the Leonardo da Vinci's drawings and sketches (Božić, 2010).

In 1483, Leonardo da Vinci made a sketch of a helicopter with a rotor in the form of a big spiral made of canvas. He named the device *helixpteron*, coined of two Greek words: *helix* which means a spiral and *pteron* which means a wing or "spiral wing" (Kuzmanovski, 2003). The idea has been recognized as the first solution for an aircraft, which would be developed half a millennium later and would be called a helicopter (Donald, 1977, p.403).

Figure 1 – Helixpteron - Leonardo da Vinci's helicopter
Рис. 1 – «Хеликсптерон» - винтокрыл Леонардо да Винчи
Слика 1 – Хеликсптерон – хеликоптер Леонарда да Винчија

2,000 years upon the occurrence of the Chinese flying tops, in July 1754, the Russian scientist Mikhail Lomonosov used them to develop a small coaxial rotor, powered by a wound-up spring (Leishman, 2006, p.8). In 1783, the French naturalist Launoy, helped by a mechanic named Bienvenue, constructed a device with counter-rotating pair of rotors made of turkey feathers based on the coaxial Chinese tops. It was a relatively large device, the movement of which was helped by a fish line wound around the rotor's axis and wound up on a crossbow (Museo nazionale scienza e tecnologia Leonardo Da Vinci, 1999).

The aforementioned Sir George Cayley, as a young boy, was fascinated by the Chinese top and by the end of the 18th century

constructed several successful vertical-flight models with rotors made of sheets of tin, driven by wound-up clock springs. His fascination with flying at a very early age, in 1804, inspired him to design and construct rotating blades, which is probably one of the first scientific research works on the aerodynamic forces of aircraft wings. In the paper published in 1843, Cayley provides details on a relatively large aircraft for vertical flight, which he named “aerial carriage” (Gordon, 2007).

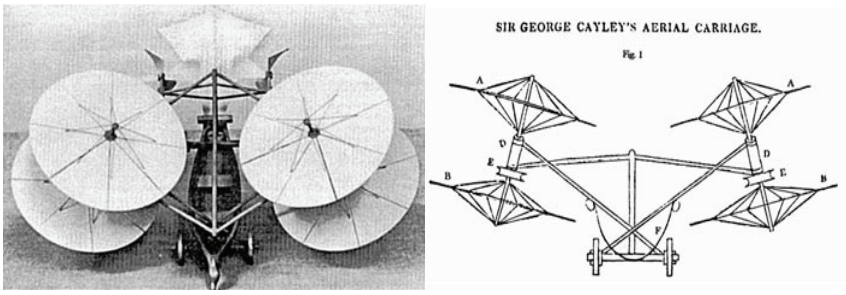

Figure 2 – Aerial carriage, 1843
Рис. 2 – Воздушная карета, 1843 г.
Слика 2 – Ваздушна кочија из 1843. године

The absence of an appropriate propulsion machine slowed down the development of aircraft heavier than air, regardless of whether they had fixed or rotating wings. However, the use of miniature, light steam engines yielded some success. In 1861, the French inventor Gustave de Ponton d'Amécourt coined the word “helicopter” and demonstrated a model of a small flying device propelled by a steam engine (Rumerman, 2003, p.13).

This big issue was solved by the Spanish Juan de la Cierva by creating the mobility of the rotor (Bryan, 1926, p.249).

In 1923, Lieutenant Colonel Gomez Spencer of Spain flew the first successful autogiro of de la Cierva. In 1925, he brought his „C.6“ to Great Britain and demonstrated it to the Air Ministry at Farnborough, Hampshire (Pioneers-1900/1930, Helicopter History Site).

In 1906, two French brothers Jacques and Louis Breguet, began experimenting with airfoils for helicopters. In 1907, those experiments resulted in the first gyroplane, possibly as the earliest known example of a quadcopter (Božić, 2010, p.6). Although there is some uncertainty about the date, sometime between August 14 and September 29, 1907, the Gyroplane No. 1 lifted into the air about 0.6 meters for a minute (Kenneth, 1968, p.176). The Gyroplane proved to be very unsteady, and it is considered to be the first flight of a helicopter, but not a free and untethered flight. That same year, the French inventor Paul Cornu designed and built a helicopter called "Cornu helicopter" that used 6 m

counter-rotating rotors driven by a 24 hp, 18 kW Antoinette engine, the first internal combustion engine, most aircraft from the past were equipped with. On November 13, 1907, he managed to lift its invention to 0.3 m off the ground and remained aloft for 20 seconds. Even though this flight did not surpass the flight of the Gyroplane No.1, it is considered to be the first free flight with a pilot (Leishman, 2006, p.17). Étienne Oehmichen was a French helicopter engineer and designer. The first successful flight of his helicopter, called Oehmichen No.2, was completed in 1922. That was the first safe flying device capable of carrying one person.

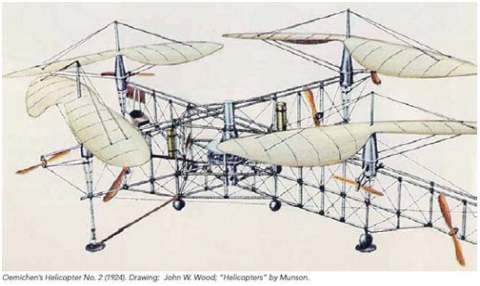

Figure 3 – Helicopter Oemichen No.2 from 1924
Рис. 3 – Вертолет Оихмичена №2, 1924 г.
Слика 3 – Хеликоптер Oemichen број 2 из 1924. године

The project of Louis Breguet from France was of great importance; he constructed a helicopter with a coaxial counter-rotating rotor. In 1933 he founded the company Syndicat d'Etudes du Gyroplane (Božić, 2010, p.14). In 1936, Breguet's Gyroplane set a record in four categories: height of flight of 158 m, duration of flight of 1 h 2 min. 5 sec., horizontal flight of 44 km and a maximum speed of 44,692 km/h. Nowadays, Breguet's Gyroplane is considered to be the first practical helicopter (Božić, 2010, p.15).

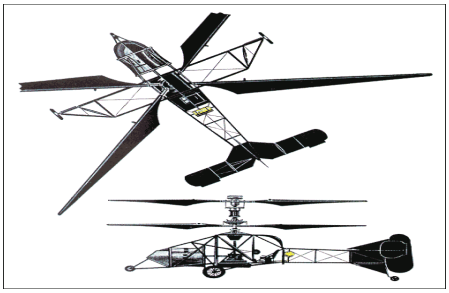

Figure 4 – Breguet's Gyroplane (1933)
Рис. 4 – Гироплан Бреге (1933 г.)
Слика 4 – Жироплан Breguet (1933)

At the same time, the German aviation engineer Heinrich Karla Johanna Fockea presented his model Fw.61, which soon proved to be superior in comparison to Breguet's Gyroplane. From 1937-1939, Fw.61 set new records in all categories as the most successful helicopter, which were not toppled for a long time. Some of them are the following: maximum height of 3427 m, vertical flight of 230.348 km and maximum speed of 112 km/h (Focke-Wulf Fw 61/Fa 61 Experimental Helicopter/Technology Demonstrator, 2015).

Figure 5 – The first flight of the Focke-Wulf Fw 61 (June 26, 1936)
Рис. 5 – Первый полет Focke-Wulf Fw 61 (26 июня 1936 г.)
Слика 5 – Први лет летелице Focke-Wulf Fw 61 (26. јун 1936. године)

Igor Sikorsky constructed his first helicopter in 1909 in Russia. Unfortunately, this model could not take off. His next model flew, but it did not have enough force to carry the pilot. After the revolution in 1917, Sikorsky immigrated to America, where he continued his work on helicopters. In 1939, he finally managed to build his first practical helicopter - model VS-300 (Sikorsky, 2013).

On May 6, 1941, it toppled the record held by Fw.61 with a flight of 1h 32 min. 26.1 sec. In the following several years, Sikorsky worked extensively on his model and finally made a helicopter, which surpassed Breguet's Gyroplane and Fw.61 in all aspects (Edwin, 2010, p.117).

Figure 6 – Igor Sikorsky in the last version of the VS-300, at the end of 1941
Рис. 6 – Окончательная версия VS – 300 Игоря Сикорскго, конец 1941 г.
Слика 6 – Игор Сикорски с последњом верзијом VS-300, крајем 1941. године

In 1951, Charles Kaman modified his K-225 model to enable it to the new type of engine – turbine engine (Swanborough & Bowers, 1990, pp.432-435). This provided a drastic increase of power, whereas on December 11, 1951, the first gas-turbine-engine helicopter flew.

Mi-8/17 Helicopters

After the end of World War II, and the first successful use of the helicopters in combat, the Soviets intensified the development of this category of aircraft. One of the first steps was the forming of the Moscow Helicopter Institute in 1947, whose chief constructor was Mihail Mil and the Experimental-Construction Bureau Kamov in 1948 headed by Nikolay Kamov. The first serial-produced helicopter in the USSR was Mi-1, the first take-off took place in September 1948, whereas the first serious step forward was made upon its presentation by Stalin in 1951. The following successful step in the development of the Mil helicopters was the Mi-4 project, when the political top of the USSR insisted on rapid development of transport helicopters. The first prototype flew in June 1952. At first glance, it became clear that it is under a strong innovation influence of the American transport helicopter S-55; however, Mi-4 offered a higher performance level. (Vlačić, 2015, p.36).

The combat multirole Mi-4 could transport around 19 paratroopers behind the enemy lines, and could transport eight stretchers, an artillery gun, or a car vehicle. The army at that time was satisfied with this type of a helicopter, but the designer estimated that it was time to introduce the turbine engine helicopter (Flot 2017 Mi-8 / Mi-17, 2011).

The twin-engine concept and the new five-bladed main rotor met the set requirements, and the first serial samples of both prototypes of the production line were launched in 1965, one in the combat variant V-8AT and the other intended for VIP transport V-8AP.The designed helicopter which could meet these conditions was named Mi-8. In fact, it was a superior Mi-4 with a maximum carrying capacity – 2.5 times greater and 1.4 times greater velocity. Mi-8's air-lift is similar to that of the Mi-4. After some modifications in 1967, it was introduced in the Soviet Air Force as the Mi-8 (Gordon & Komissarov, 2004, p.101).

Figure 7 – Mi-4 (left) and Mi-8 (right)
Рис. 7 – Ми-4 (слева) и Ми-8 (справа)
Слика 7 – Ми-4 (лево) и Ми-8 (десно)

The Mi-8 development was in full rise when the chief designer Michael Miles was sent to the US for evaluation, and if possible to buy several helicopters from the "Sikorsky" company. The main objective was to explore and examine the produced American helicopters.

After Khrushchev had been released from all his functions in the Soviet Union, in 1964, the Air Force Command did not introduce the Mi-8 helicopters into operational use. Only a few dozen samples were bought for testing. However, unlike the Army, the Ministry of Civil Aviation introduced the Mi-8 into mass use.

In June 1965, the Soviet Union was represented at the Le Bourget International exhibition, near Paris, with their Mi-8, Mi-6 and Mi-10 helicopters. Their appearance was sensational and highly rated among world experts. After this great success at Le Bourget, the military leadership began to appreciate the high quality of the Mi-8. It began to be used for mass transport, medical services, electronic warfare, air command post, and for other purposes (Yefim & Dmitriy, 2004).

The serial production was assigned to the factory in Kazan starting from 1970 and to the factory in the Siberian town Ulan-Ude, as well. These two factories have been producing Mi-8/17 helicopters to this day (Vlačić, 2015, p.38).

Mi-8/17 helicopters are among the most successful Soviet helicopters in the history of aviation. They demonstrate high flight performance, safety, and can be used in a wide range of temperatures (-50 to +50°C), flexibility, ease of exploitation and maintenance, all of which are features enabling operator gain trust in these aircraft as the best helicopters at a global level (Russian Helicopters, 2015).

Figure 8 – Macedonian military-transport helicopter Mi-8/17
Рис. 8 – Македонский военно-транспортный вертолет Ми-8/17
Слика 8 – Македонски војни транспортни хеликоптер Ми-8/17

The Mi-8/17 remained popular due to its constant modernization, as well as due to its possibility for additional equipment for various tasks, such as the following:

- The Mi-8/17 transport version which enables transport of various types of cargo weighing up to 4000 kg. The cargo can be placed inside the cargo cabin or attached on an external lever (Army technology Mi-8/17 Hip Multimission Helicopter, Russia, 2015).

- The version for transport of people can carry up to 26 passengers. The helicopter has an excellent system of noise and vibrations control, and is equipped with an air conditioner in the cockpit, as well as emergency exits in accordance with the regulations on safety and comfort of passengers during the flight. The Mi-8/17 VIP version is intended for transport of 7-14 passengers in a superior cockpit. The interior of the helicopter can be designed to fit the clients' desires. The helicopter is characteristic for the largest cockpit in its class and is ideal for luxurious equipment. The VIP version can be equipped with entertainment systems, satellite communication, and other equipment requested by clients.

- The search and rescue version enables efficient search and rescue missions around the clock and in all weather conditions. The helicopter is equipped with special equipment: searchlights, winches, speakers and radar systems. The search and rescue version is used by special teams of ministries and agencies for emergency situations in different countries around the world.

- Mi-8/17 version called "Flying ambulance" is designed to provide medical aid in remote and inaccessible areas. Special on-board medical provides maintenance of the vital functions of patients and first aid during the journey to hospital. Thanks to special medical materials, disinfection of the cabin can be conducted in compliance with the medical requirements.

- The Mi-8/17 fire-fighting version provides the use of fire-fighting devices, such as a large tank that can deliver up to 4000 litters of water, and release it at the target burn area with high degree of accuracy. The helicopter can be adjusted with additional fire-fighting equipment (Helitage Mi Helicopters, 2013).

- Mi-8/17 helicopters are manufactured in the Aviation Institute "Ulan-Ude", as well as in the central helicopter plant "Russian helicopters" in Kazan. Today, over 50 countries have Mi-8 helicopters in operational use, including India, China, Iran and other major countries. More recently, a transport Mi-17 version was developed with more powerful engines, which is today used in more than 20 countries worldwide (Helicopters Mi-8, 2015).

All these helicopters had an immense significance for the growth and industrialization of the USSR, especially in the Siberian area. Under the auspices of Aeroflot, in the period from 1975 to 1990, several hundreds of helicopters of the mentioned type were used. The most famous projects in which the helicopter had a share were: laying pipes for a nearly 2,000 km long pipeline between northwestern Siberia and the Urals, drilling and putting into operation of one of the richest oil fields in the Tyumen region in western Siberia in the length of about 4000 km. The original initiative of Khrushchev to leave the Mi-8 project to the competence of civil structures should be regarded in this context (Vlačić, 2015, p.37). The real test in the combat use of the Mi-8 helicopters was the Soviet intervention in Afghanistan. In the early stages of the operation, they used the Mi-8T to transport the troops to inaccessible terrain. This lasted very briefly because in conditions of flight at high altitudes and at high temperatures this helicopter did not possess the sufficient power. Thus, the Mi-8MT was introduced, whereas Mi-8T was handed over to the Afghan allies. The Mi-8MT helicopter proved to be the right solution for transporting troops and cargo with medium weight and size, especially to remote areas of hills and mountains. However, the inadequate protection from infantry ammunition and mobile rocket systems was the main shortfall. Thus, the next version Mi-8MTV-1 was equipped with more powerful engines TV3-117VM, 1.618 kW. It was equipped with a new meteorological radar in its front part, as well as with new navigation equipment. The sides of the cockpit are equipped with padded plates, fuel tanks were equipped with polyurethane foam, and were incorporated in the protection system and elements for self-protection from IC-guided missiles. When it came to exported helicopters, the export mark was Mi-17, whereas the Mi-8 mark was kept for local use, for instance the aircraft marked Mi-8MTV-1 was designated Mi-17-1V when intended for export. Western civilian companies

recognized these helicopters as reliable and inexpensive products, easily adaptable to their own needs, without major testing and financial expenditures. (Vlačić, 2015, p.40).

Taking into account the significance of this helicopter for a great number of aviations around the world, which own hundreds of helicopters of this type with a newer production date and a large list of ordered aircraft, there is definitely no dilemma regarding the prospects of the aircraft despite the approximately six-decade old design. (Vlačić, 2015, p.42).

Improvement of the Mi-8/17 technical characteristics by modernization

The development of the aviation and military technology also has enabled the emergence of efficient and modernized fighter aircraft. The contributions to the development of technology are even more evident in the field of transport helicopters because their implementation is far more universal. In the past few years, several types of modernizations of transport helicopters have appeared in the world, abilities and performances of which far exceed the current capabilities of the existing transport helicopters.

It was necessary to modernize the helicopters available to the Macedonian Armed Forces in accordance with the NATO and ICAO-standards. Analyzes were made by the expert team of the Macedonian Air Force, and it was concluded that the modernization of the helicopters is the most inexpensive option, given that the value of the project for the entire fleet of 10 helicopters is equal to the cost of only two new combat aircraft (Ministry of Defence of the Republic of Macedonia, 2012, p.79). Out of the offered companies for modernization of helicopters, the Israeli company "Elbit Systems", one of the leading companies in the world for military defence electronics and electro systems, offered the best tender conditions for the upgrade.

The process of modernization was divided into two stages: the basic stage, level 1 - "Jasmin" and the advanced phase, level 2 "Alexander", i.e. differentiation regarding the level of equipping of helicopters. The first stage included the installation of a night flying system, whereas the advanced second stage was a larger and more comprehensive project with the installation of an equipment package for navigation, communication, identification, protection of helicopters, etc. (Dicevski, 2014, p.23). After the first stage of the project, called "Jasmin", which

began in 2004, during which two transport Mi-17 were upgraded, Macedonia joined the countries that can commend that they have aircraft with a "head-up display", digital projection of all parameters on the pilot's visor. The project included the modernization of the helicopters' collective lever, partial modification of the navigation and identification systems, the helicopters' cabin modification, and the installation of electrical and mechanical installations aiming to incorporate the latest night flight equipment known as ANVIS-HUD 24 (Army of the Republic of Macedonia, 2014).

Figure 9 – Emblems of the Israeli company "Elbit Systems" during the modernization
Рис. 9 – Эмблемы израильской компании "Elbit Systems" в течение модернизации
Слика 9 – Амблеми израелске компаније „Elbit Sistemi'' током модернизације

The modernized helicopters and the overall results from the first stage are just the beginning of the Macedonian helicopters' modernization, which upon the finalizing of the second stage called "Alexander" by the end of 2007, would be supplemented by six others, such as the combat Mi-24 type and the transport Mi-17 and Mi-8, with built-in night flight system, instrumental takeoff and landing system, radio communication equipment, digital navigation system, optic electronic systems with thermal cameras for detection, monitoring and shooting of ground targets, day and night, in all weather conditions.

The stage of system modules setup is followed by the stage of system testing for night flights ANVIS / HUD 24 on the ground, realization of the helicopter test flights in the air, as well as the completion of the necessary documentation and handing over of helicopters.

"ANVIS HUD-24" System

The installation of the "ANVIS HUD-24" System provides, first and foremost, flying and monitoring of the parameters projected on the display,

without deepening of the sight in the cabin. It provides a 24-hour operational capability of an integrated system. The integrated system includes standard glasses for night flight, NVG - Night Vision Goggles, displaying the flight parameters of the HUD System, Head Up Display System. The system enables the pilot to keep his attention on the external conditions and at the same time flight information is presented on the display at night and during the day, integrated with NVG. It is a set of different symbols linked to specific missions selected by the pilot in order to increase the situational awareness during the operation with the helicopter, complex manoeuvres and reduced visibility at night. This configuration is currently operational in over 4500 helicopters in the world.

Figure 10 – ANVIS HUD with the head-up display
Рис. 10 – ANVIS HUD с нашлемным целеуказателем
Слика 10 – ANVIS HUD са head-up дисплејом

HUD – systems, day and night, enable the digitalization of mechanical and analogue parameters on the electronic digital displays; they are clear, understandable and easy to follow, upon the completion of the flight crew training. The system implements advanced technologies, modern electronics, and cutting-edge optical design intended to maximize the scope of view with high reliability, brightness, wide angle view, uniformity of symbols and various configurations (Yona at al, 2004, pp.225-235).

Mission Management System

The MMS - Mission Management System is an electronic mobile map that allows the creation of a real time tactical picture. The system capabilities represent a revolution in all areas, and are related to combat

preparation, training, flight preparation, planning and arrangement missions, briefing, teamwork and debriefing.

The MMS - The Mission Management System enables mission planning, field analyzes, and various calculations on the ground, using the field activity station, Mission Preparation Station - MPS, and during the flight using the system in the air. At the same time, the system efficiently integrates the capability of advanced navigation aiming at efficient and accurate mission management, as well as real-time reporting - closed area, threats, etc.

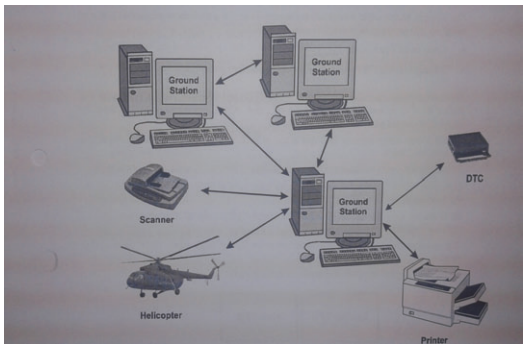

Figure 11 – System block diagram of the MMS
Рис. 11 – Система структурной схемы MMS
Слика 11 – Систем блок-шема на MMS

The Mission Management System allows the pilot and the co-pilot to gather information on the map according to their needs. The map will shows the selected layers from the offered list, for example, a battle sketch, attack/observation of positions and targets, ground forces, etc., thus forming the final sketch of the mission using the layers for each individual map on the site. The MMS is composed of two stations, in the air and on the ground with different functions (Elbit Systems Technical Writing and Customer Training Department, 2006).

The main functions of the air station are: showing the helicopter's position and its direction of movement, shown on the moving map in the cockpit display; modifying and editing existing missions during the flight; operational management of stored data - Way Points - WPs, navigation, navigation programs, graphic displays, attacks and all data and objects of missions; display of the different tactics on the map; various calculations in real time - time management, a line-of-sight, Line of Sight – LOSs, analysis between the helicopter and the selected object, point on the ground or target of attack; the Warning Centre management - which warns on fraudulent actions.

The main functions of the ground station are: mission planning and preparation; duplication of the new drive for Mission PC – MPC, if needed, video debriefing.

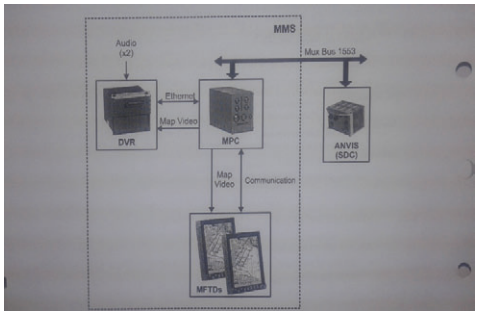

Figure 12 – MMS airborne system - general structure
Рис. 12 – MMS воздушная система – базовая схема
Слика 12 – MMS ваздушни систем – општа шема

The building blocks of the Mission Management System – MMS, are as follows:

MPC - Mission Personal Computer, Mission's PC is the central unit of the MMS system. The MPC performs calculations and controls the MMS units, and works on operational implementation and generates Multi Functional Touch Display-MFTD incoming video. It contains a CPU processor card, a removable HDD hard disk, graphics accelerator, I / O, input / output card and PS or an interactive computer program for performing statistical power. All computer components are fixed and adjusted to the helicopter in flight conditions.

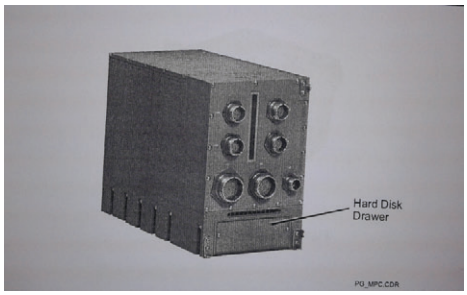

Figure 13 – MPC - Mission Personal Computer
Рис. 13 – MPC Персональный компьютер для миссии
Слика 13 – MPC – Персонални компјутер за мисију

The DVR - Digital Video Recorder, the digital video recorder is a recorder of video and audio data. It enables simultaneous recording of two

video channels, one or two audio channels on a single cartridge. The DVR allows playback for debriefing intended for the ground station. The DVR records video data in the MPEG-2 format, which saves a lot of disk space without losing video quality. The DVR Digital memory is more immune to the erosion resulting from prolongation of tape lifetime usage. Digital storage provides to the pilot a greater flexibility that is unmatched by analogue tapes.

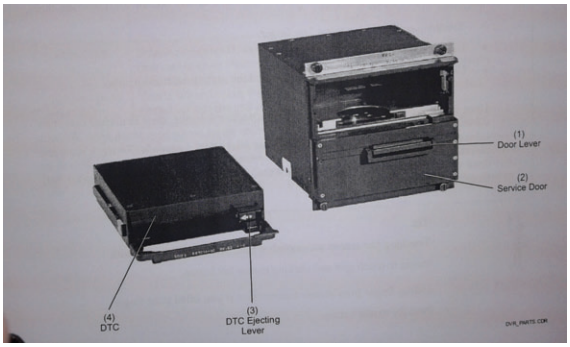

Figure 14 – DVR - Digital Video Recorder
Рис. 14 – DVR – Цифровой видеорегистратор
Слика 14 – DVR – Дигитални видео-рикордер

The MFTD - Multi Functional Touch Display, is a multi functional touch screen. The MFTD is a 15.24 by 20.32 cm colour monitor, mounted on the instrument panel in the cockpit. It serves as a MMI – Man Machine Interface between the MMS and the operators. Using the MFTD, the operators get visual data video from the MPC - Mission Personal Computer and issues the commands to the MMS system - Mission Management system.

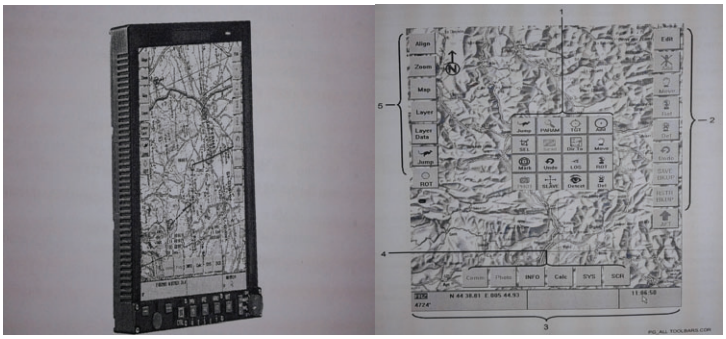

Figure 15 – MFTD - Multi Functional Touch Display
Рис. 15 – MFTD - Многофункциональный сенсорный дисплей
Слика 15 – MFTD – Мултифункционални екран на додир

Petreski, D. et al, Improved technical characteristics of the Mi-8/17 in the Army of FYR Macedonia, pp.122-142

The MFTD has a touch screen operated by using a finger or a pen-pointer attached to the screen. A joystick with two buttons can also be used for similar operations. The buttons for fixed-function, which are used to operate the system, are located at the bottom of the screen.

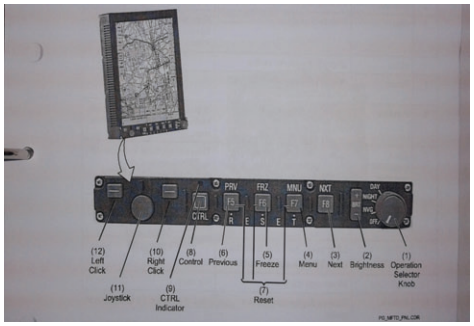

Figure 16 – Fixed-function buttons
Рис. 16 – Кнопки с зависимой фиксацией
Слика 16 – Фиксно-функционална дугмад

The Mi-24V serial 207 from the elite “Night Thunders” squadron departs the range after a live-firing exercise. Macedonia offers plenty of space for low-flying exercises and training with other elements of the armed forces. According to the Commander of the Macedonian Air Force, col. Robert Malezanski, the communications system will be upgraded, and the fuselage, engines and gearboxes will be overhauled. Helicopters are flown to the Aviakon repair plant in Konotop, Ukraine in batches of two. On 10th of June 2016, coinciding with the anniversary of the Aviation Brigade, a contract for the overhaul of four Mi-8/17s and six Mi-24s was signed. The entire process will take two years till end of 2019 (Air Forces, Changing fortunes for Macedonia, 2017).

Conclusion

Upon laying the foundations of safe and stable flight, designers dedicated their work to increasing efficiency. The Armed Forces have the greatest impact in this field by making new requirements for new missions. They demanded more payload, longer flight lengths and duration of flight, increase of the intervals between maintenance and many other demands.

The fact the Mi-8/17 helicopters operate in extremely difficult conditions is one of their greatest advantages. They are used in many armies and police forces around the world, they are considered safer and

more modern than most helicopters, and can perform even the most complex operations.

What makes this helicopter special is that it is capable of flying with only one engine in case the second one has a breakdown. That allows the system to distribute the engine power - if the first fails; the strength of the operational one automatically increases to allow for a continued flight.

Mi-8/17 helicopters have been constantly modernized and subjected to alterations, enabling significant improvement of their efficiency. The modernization of the helicopters provides the aviation brigade with increased operational efficiency, especially regarding night flights without the use of lights. The modernization of the assets is a continuous process of any modern military-security structure.

Macedonia's Air Force is developing at a rapid pace, and this is confirmed by the fact that a country aspiring to join NATO has began the modernization of Russian - produced helicopters.

References

-Air Forces, The world's number one military aviation magazine, 2017. *Changing fortunes for Macedonia*, August 10th. [Internet]. Available at: http://www.airforcesmonthly.com/2017/08/10/changing-fortunes-for-macedonia/. Accessed: 19.09.2017.

-Army of the Republic of Macedonia, 2014. *Modernizacija na helikopter Mi-8 MT*. [Internet]. Available at: http://www.arm.mil.mk/. Accessed: 11.04.2016 (in Macedonian).

-Army technology, 2015. *Mi-8/17 Hip Multimission Helicopter-Russia*, [Internet]. Available at: http://www.army-technology.com/projects/mi8t/. Accessed: 26.01.2016.

Božić, Ž., 2010. *Osnove konstrukcija helikoptera.* Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, skripta (in Croatian).

Bryan, G.S., 1926. *Edison the Man and His Work.* New York: Garden City Publishers.

Dicevski, V., 2012. VV i PVO od pocetokot na svoeto postoenje vo Republika Makedonija do denes. *Stit*, 36, pp.21-22 (in Macedonian).

Dicevski, V., 2014. Mi-8MT modernizacija na helikopterot. *Stit*, 59, p.23 (in Macedonian).

Donald, F.L., 1977. *Asia in the making of Europe*. A Century of Wonder, Volume II.

Edwin, B.W., 2010. Helicopter Man: Igor Sikorsky and His Amazing Invention. New Jersey: City University.

-Elbit Systems Technical Writing and Customer Training Department, 2006. *Operational manual Mission Management System (MMS)*.

-Flot 2017 Ми-8/Ми-17, 2011. [Internet]. Available at: www.flot2017.com. Accessed: 03.02.2016.

-Focke-Wulf Fw61 / Fa61 Experimental Helicopter / Technology Demonstrator, 2015. *The Focke-Achgelis Fw 61 helicopter served Germany well as a technology demonstrator - two were built prior to the war*. [Internet]. Available at: http://www.militaryfactory.com. Accessed: 19.10.2015.

Gordon, L.J., 2007. *Engineering Analysis of the 1907 Cornu Helicopter*. College Park: University of Maryland, Institute of Technology.

Gordon, Y. & Komissarov, D., 2004. *Mil Mi-8 and Mi-17: Rotary-Wing Work Horse and War Horse*. Milbank: Midland Publishing.

-Helitage Mi (Mil) Helicopters, 2013. *Mil helicopters Mi-17 (8 and 171 E)*. [Internet]. Available at: www.milhelicopter.com. Accessed: 17.03.2015.

http://kollektsiya.ru. Accessed: 19.10.2015.

https://topwar.ru. Accessed: 17.02.2015.

Kenneth, M., 1968. *Aircraft of World War I*. Garden City NY: Doubleday and Company.

Kuzmanovski, Z., 2003. *Svetot na helikopterite*. Skopje (in Macedonian).

Leishman, J.G., 2006. *Principles of Helicopter Aerodynamics*. Cambridge University Press.

-Ministry of Defence on the Republic of Macedonia, 2012. *White book of defence*. Skopje: Ministry of Defence on the Republic of Macedonia.

-Museo nazionale scienza e tecnologia Leonardo Da Vinci, 1999. *The history of the helicopter from precursors to industrialization*. [Internet]. Available at: http://www.museoscienza.org (in Italian). Accessed: 11.08.2015.

-Pioneers-1900/1930, Helicopter History Site. [Internet]. Available at: http://www.helis.com/pioneers/1900.php. Accessed: 26.08.2015.

Rumerman, J., 2003. *Early Helicopter Technology.* U.S. Centennial of Flight Commission, 2003. [Internet]. Available at: http://www.centennialofflight.net/essay/Rotary/early_helicopters/HE1.htm. Accessed: 19.10.2015.

-Russian Helicopters, *Mi-8/17 Medium Multirole Helicopter*, 2015. [Internet]. Available at: http://www.russianhelicopters.aero/en/helicopters/civil/mi-817.html. Accessed: 26.01.2016.

Sikorsky, I., 2013. *Aviation Pioneer*-Single-Rotor Helicopters. [Internet]. Available at: https://www.asme.org. Accessed: 19.10.2015.

Swanborough, G. & Bowers, P.M., 1990. *United States Navy Aircraft since 1911*. Annapolis: Naval Institute Press.

Vlačić, S., 2015. Helikopteri Mi-8/17, letelice bez premca. *Odbrana*, 243, p.36. Available at: http://www.odbrana.mod.gov.rs/svi_clanci_broja.php?id_broja=545&id_casopisa=1. Accessed: 07.09.2017 godine (in Serbian).

Yona, Z., Weiser, B. & Hamburger, O., 2004. *Day/night ANVIS/HUD-24 (day HUD) flight test and pilot evaluations*. SPIE- The International Society for Optical Engineering, Proceedings of the SPIE, 5442, pp.225-235.

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТА МИ-8/17 В ПРОЦЕССЕ ВООРУЖЕНИЯ АРМИИ БЮР МАКЕДОНИЯ

Драге Т. Петрески, *Андрей* П. Илиев, *Елена* М. Траяновска,
Лазар Б. Джуров, *Александар* С. Петровски
Военная академия “Генерал Михаило Апостолски”, г.Скопье,
БЮР Македония

ОБЛАСТЬ: аэрокосмическая техника, электроника, телекоммуникации
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Практика в эксплуатации вертолетов МИ-8/17 в целом мире показала, что они являются лидерами между многоцелевыми вертолетами среднего класса высокого эксплуатационного качества с высоким порогом высоты полета при тяжелых метеорологических условиях. В данной работе большое внимание посвящено изучению развития транспортных, поисково-спасательных и боевых характеристик данных вертолетов. Превосходные технические характеристики в полете и их возможности непрерывного и качественного выполнения задач подтверждают правильность решения об инвестировании в модернизацию этих вертолетов, которое приняли Вооруженные силы БЮР Македонии, а также об инвестировании в повышение их технических характеристик. Модернизация средств в армии всегда является длительным процессом в любой современной структуре военной безопасности. Большинство армий не экономит средств на осуществление целей в усовершенствовании возможностей своей техники, для того чтобы впоследствии оказаться на вершине технологической безопасности и подготовленности своих кадров.

Ключевые слова: модернизация, технические возможности, проект, авиационные средства, эксплуатационные качества, сила.

ПОБОЉШАЊЕ ТЕХНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ХЕЛИКОПТЕРА МИ-8/17 У НАОРУЖАЊУ ВОЈСКЕ БЈР МАКЕДОНИЈЕ

Драге Т. Петрески, *Андреј* П. Илиев, *Елена* М. Трајановска, *Лазар* Б. Ђуров, *Александар* С. Петровски
Војна академија “Генерал Михаило Апостолски”, Скопје, БЈР Македонија

ОБЛАСТ: ваздухопловно машинство, електроника, телекомуникације
ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Petreski, D. et al, Improved technical characteristics of the Mi-8/17 in the Army of FYR Macedonia, pp.122-142

Сажетак:

Искуства из целог света су показала да су хеликоптери МИ-8/17 на врху листе вишенаменских хеликоптера средње класе са високим перформансама за високо летење у сложеним временским и метеоролошким условима. Циљ овог рада је да се проучи њихов развој, као и транспортне, спасилачке и борбене могућности ових летелица. Одличне техничке карактеристике за летење и њихове способности за неометано и квалитетно извршавање намењених задатака показују зашто је Војска БЈР Македоније одлучила да улаже у модернизацију ових хеликоптера и усавршавање њихових техничких способности. Модернизација средстава у једној армији је континуиран процес у свакој савременој војнобезбедносној структури. Велики број армија не штеди средства намењена за ове циљеве, како би остварили оспособљеност снага и обученост људства у складу са технологијом.

Кључне речи: модернизација, техничке могућности, пројекат, ваздухопловна средства, перформансе, сила.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 12.07.2017.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 10.11.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 13.11.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

COMPROMISING ELECTROMAGNETIC RADIATION - CHALLENGES, THREATS AND PROTECTION

Milorad S. Markagić
University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Telecommunications and Informatics, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: milmarkag@yahoo.com,
ORCID iD: http://orcid.org/ 0000-0001-6981-7973

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-8691

FIELD: Telecommunications, IT
ARTICLE TYPE: Professional Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

The aim of this paper is to open up problems regarding parasitic radiation, both inductive and conductive one, originating from devices for data transmission, processing, generation and data protection as well as from their assemblies.

All devices that are used today, both in everyday use at home and in communication between individuals or institutions, contain, other than useful electromagnetic radiation, a part of useless, but also inevitable signals that are outside the control of manufacturers. Devices used for encrypting information are particularly vulnerable to this phenomenon, because every form of protection is meaningless if any part of useful information is accessible, and one of the most important segments of reaching them is monitoring parasitic radiation.

Keywords: radiation, eavesdropping, security of information.

Introduction

We live in a time of mass generation, flow and use of information, which is conditioned by the development of information and communication technologies.

The question of contemporary society is not who rules capital, but who rules information. Namely, the information has become the most appreciated and sought-after commodity.

A great deal of information and data is common goods and serves for public use; it is neither subject to financial expense, nor is subject to the interests of intelligence services - therefore, there is no need to protect it.

The other kind of information is a kind of a secret, it has a special usable value and is often a subject of trade or attempts to acquire it in an illegal manner.

No matter what kind of information or data is in question - secret, commercial, or information and data relevant to the field of defense and security of an institution or state authority - there are two possible scenarios:

- non-conformity of supply and demand in the price and terms of delivery of information, and
- inability to provide information due to the violation of the integrity of an institution or the state.

Such data and information are protected in different ways, from their source to destination, using physical technical protection measures, access restrictions, special handling and storage, cryptographic protection (Markagić, 2010), and other methods.

Bearing in mind that digitization has entered almost all human activities, it is understandable that a large amount of information is processed, transmitted and stored in a digital form, thus increasing a possibility of access to information by an unconventional path.

Although encryption methods have reached a high degree of confidentiality, and although the integrity and the protection of information seem to be "absolute", it must be borne in mind that much information can be compromised and accessible to unauthorized individuals on its way from the sender to the recipient.

Phenomena of CER and TEMPEST

The phenomenon of interest in electromagnetic radiation (EMR) and electromagnetic eavesdropping dates back to the middle of the last century. Almost all armies of the world and the intelligence services have always known that electromagnetic devices, without proper protection, generate a certain level of radio frequency (RF) signals that can be recorded, and then easily read as clear information by simple methods.

Since there is a lack of expertise related to the topic of Compromising Electromagnetic Radiation - CER (KEMZ in Serbian), this issue is not sufficiently focused on (Blandova, 2001), especially in the field of information technology.

The occurrence of massive use of information technology equipment with information of great sensitivity and significance highlights, first of all, the problem of protection of state, military, and other secrets.

The problem of unauthorized access to information through CER has been present in military, diplomatic and intelligence circles for more than 50 years (Markagić, 2010). In Western literature, this problem is most often dealt with in the Transient Electro Magnetic Pulse Emanation Standard (TEMPEST) (Horev, 1998), although there are opinions that this is just a code name without any special meaning. In any case, these are strictly confidential standards which define the permissible limits and measurement methods of TEMPEST or CER (National Security Agency, 2007), (TEMPEST workshop presentation, RIGA, 2008).

The notion of compromising radiation is primarily related to devices where the cryptographic protection of information is carried out. (Ward, 1993)

History of parasitic radiations

The initial forms of the present CER or TEMPEST occurred sometime before the end of the 19th century. The first scientists in the field of telecommunications became aware of the problem which was later called crosstalk. This name was related to the effect of one wire's signal on the signals of the other wire, which would result in unwanted consequences such as signal transmission from one wire to another.

The first documented appearance of the above-mentioned problem occurred during the war in 1914. The phone, as a relatively new invention at that time, was used in communication between soldiers on the battlefield and their command posts. The cable lines sometimes stretched along the entire battlefield, at a distance of several kilometers. In some cases, they would go directly to hostile trenches, and the idea of using the leakage of the signal emerged in order to get to the enemy's confidential information.

To this end, the stations for eavesdropping in key locations were developed to monitor the hostile activity.

This technique brought a great advantage to those who eavesdropped, and by 1915, it progressed to such an extent that signals "leaking" into the ground could be eavesdropped at a distance of nearly 100 meters for the phone and at more than 250 meters for the telegraph.

This was a major problem for the Antanta forces because the Germans thus inflicted huge losses on them. The following year, the

telephone equipment had to be moved two and a half miles from battlefields.

In 1918, the US military hired top cryptologist Herbert Jardley to develop methods for detecting, intercepting and exploiting compromised radiation of telephone lines and radio receivers used on the battlefield.

Already at that time, something similar to TEMPEST began to be developed. The official date of the creation of TEMPEST is not known to the general public, but the assumption is that it was in 1950.

Because of the American Government's awareness of the dangers of losing information, it launched the TEMPEST program with the primary goal - fight against espionage. The WW2 aftermath and the Cold War between the United States and its allies and the USSR were considered to be the beginning of a race in technological development between the two world powers and the two antagonistic blocs. There was a massive development of spying activities, so the need for information security and secure communication was becoming greater than ever. At that time, NATO discovered a German underground tunnel with equipment for wiretapping wire communication where the Germans intercepted Soviet messages.

After several years, one of the most famous TEMPEST attacks in history occurred. Namely, in 1957, the British Prime Minister issued an order to oversee the French Embassy in order to determine their position on accession to the European Economic Community. In addition to encrypted traffic that was transmitted via a crypto device from the embassy to the headquarters in Paris, MI5 intelligence agents discovered a very small and weak secondary signal, which in some way "leaked" from the device, that is, the device itself acted as an emitter. It was a signal that did not contain encrypted text, so there was no need for a cryptanalysis, but only for a simple reconstruction.

Already in 1965, TEMPEST was publicly mentioned for the first time at a conference on computer devices and systems. Then a TEMPEST memorandum was published, which was later replaced with the NACSIM 5000 manual (TEMPEST manual). In 1982, it officially stopped being confidential and became available to the general public, although there are still darkened lines considered to be secret (Kuhn & Anderson, 1998).

Source of CER

Each electrical device creates an electromagnetic field and transmits electromagnetic signals. Simple kitchen appliances - mixer, fridge, electric

cooker, toaster, home appliances - TV and radio, computer, and equipment for telecommunication and cryptographic devices are all sources of EMR.

On each of these devices, even in the production process, and before the sale, certain tests are carried out about whether they can have an impact on other electrical and electronic devices.

In commercial appliances and devices, besides the requirements for physical protection of the environment and people, the problem of radiation is not studied in more detail; however, computer and communication devices take into account the requirements of TEMPEST.

Even not specially skilled and qualified individuals with appropriate and often commercial and cheap equipment, from the remote and safe place, are able to intercept the already mentioned compromising radiation from which a large amount of usable data can be obtained by analysis and reconstruction.

It is understandable that the methods and procedures are still kept in strict secrecy to achieve security through obscurity and many things are still under question (NSA, 2004).

Attacks, information disclosure and protection

It is impossible to separate the concept of electromagnetic radiation and attacks on ICT systems from the concept of protection from CER. Certainly, the focus in both cases is to protect the confidentiality of information and data without neglecting the physical and technical requirements for the design and configuration of the device. Attacks are defined as a wide range of activities that aim to get information by tapping, or by monitoring radiation at the source of processing and / or encryption of information. When considering protection against attacks, and therefore protection from them, it is necessary to know the structure and the methods of attacks in order to prepare an appropriate way of defence and protection against malicious individuals or theft of information. By the way of execution, all attacks can be divided into active and passive attacks.

Passive attacks

Passive attacks are a type of attacks that does not have a third party's impact on the sender, recipient, or information. The third party only monitors the movement of signals through the transmission path, collects

them with the listening equipment and devices, and then analyzes them and attempts to find out the open / desired information.

It is very difficult, almost impossible to detect the presence of an attacker because its presence does not affect the flow of processing or transmission of information, leaves no traces of its activities and is often located at a certain distance from those involved in the generation and transmission of information.

A large number of passive TEMPEST attacks are attacks by side channel attacks. This term is taken from the field of cryptography. From the very name it can be concluded that this attack goes roundabout. As the name itself says, these attacks are going to be bypassing roads (Markagić, 2010). The most common idea is to use an "unbreakable" algorithm, and then a failure to implement it is required.

Based on the vulnerability of the systems for generating, processing, protecting and transmitting data, information attacks are also divided as:

- monitoring the amount of radiation on the computer - the most striking attack on the basis of which one of the more prominent TEMPEST experiments emerged,
- time attacks - monitoring of the time needed to perform a certain computer operation,
- architectural attacks by a secondary channel - the use of failures in the architecture of computers,
- acoustic cryptanalysis - the analysis and use of sounds that arise as side effects in computer use,
- control of computer energy consumption - the amount of energy a computer uses during operation, listening to sounds - an attack that monitors pressing of buttons,
- emissions from the monitor and other computer components.

Active attacks

From the very name it can be seen that active attacks involve the attacker's engagement and its impact on information either at the place of generation, processing, cryptography or transmission, thereby increasing the possibility that an attacker will be detected. Apart from a higher risk, these attacks can bring a greater advantage to a malicious individual or allow eavesdropping in cases where this would not be possible with passive methods.

The first known form of active attacks was an attack by the TEMPEST virus that occurred in the early seventies of the last century. This is one

aspect of the impact of a program on a computer that behaves as a radio emitter whose tones are data carriers.

Then there was the idea of writing TEMPEST viruses, malicious codes that infect computers so that they transmit secret data to a radio frequency that is later intercepted by a conventional radio receiver (Atkinson, 2010). It is even not necessary for this type of attack that a computer is connected to the public network. Using modern signal reception devices, attacks can be carried out from long distances.

Another type of active TEMPEST attacks is an attack on smart cards. The most famous attack of this type is the exploitation of program errors (glitching), or the exploitation of hardware failures in the card itself.

In the literature, there are often some other terms such as: EMSEC (Emission Security) HIJACK (type of attacks aimed at intercepting and using signals traveling through a communication line, cable or wireless, or via a power cable and NONSTOP (Kuhn & Anderson, 1998) (radiation monitoring that accidentally induces nearby radio transmitters and similar devices). In this way it is possible to cause compromising radiation of a device containing classified information and intercept and radiate these radiations.

There is also the third, most commonly used category of attacks, which is a combination of active and passive methods.

Protection

Preventing data leakage by compromising electromagnetic radiation in order to protect the device against unwanted loss of information is the core of protection from CER or TEMPEST.

Two basic postulates to be considered when applying the CER methods and procedures for protecting information are:

1. Technical and technological characteristics of equipment that meets the standards:
   a) preventing the correlation between RED signals and BLACK equipment, RED / BLACK separation (RED devices, i.e. connections that transmit confidential, secret information and BLACK devices and connections that transmit open information).
   b) amount of radiation generated by the equipment, and
   c) preventing leakage of signals through electromagnetic and acoustic radiation.
2. Appropriate use of equipment.

The RED / BLACK separation separates these two systems in order to avoid mixing RED (safe) and BLACK (unstable) devices, because then there may be a combination of signals, i.e. transmission of confidential data along an uncertain line and intercepting and detecting this information.

Equipment

In the standards worldwide, it has been concluded that it is necessary to distinguish three levels of approval for the use of CER protection equipment:

1 - Devices of this level do not exist for commercial purposes, and the electromagnetic radiation emitted by such devices is almost non-existent; they are used for the protection and secure transmission of data of national importance.

2 - Equipment used to transfer standard but partially confidential data.

3 - Classic equipment publicly available and easily made by handy means.

Protection against compromising radiation or TEMPEST is dealt with by almost all important institutions and state authorities.

Conclusion

Through the consideration of the harmful effects of uncontrolled radiation, it can be concluded that the fear of such radiation is justified and not a figment of imagination.

Eavesdropping and monitoring primarily state authorities but also companies are everyday occurrences, and even individuals are not immune to this phenomenon. It is a matter of concern that the losses are estimated by billions of dollars this way, and that part of the data thus lost represents permanent and irreparable damage.

However, although the danger is real, there are methods for data, information and device protection. Lately, it has been concluded that the investment in protection should be adapted to the situation in order to minimize possible compromising radiation. Methods are different and protection is achieved by using special metal enclosures and special filtered power supplies. One of the ways is to ensure the entire area around the used equipment, although in most cases it is difficult or impractical to implement it. Between protection and a real danger there should certainly be a happy medium so one needs to consider the

profitability of such investments and acts accordingly. Of course, there is a big difference between private, business, state, and public sectors.

Nowadays, information security is at the forefront. Although attacks pose a potentially major threat to information security, it is clear that individuals can have very little influence on the protection against them. Although CER / TEMPEST is a topic that does not affect most citizens' daily functioning, any leakage of confidential information should nevertheless be prevented.

References

Atkinson, J.M., 2010. *Tempest 101.* Granite Island Group. [Internet]. Available at: http://www.tscm.com/TSCM101tempest.html. Accessed: 01 July 2015.

Blandova, E.S., 2001. Pomehopodavljajushhie izdelija. Rekomendacii po vyboru i primeneniju. Special"aja tehnika (in Russian).

Horev, A.A., 1998. *Sposoby i stedstva zashhity informacii, uchebnoe posobie*, Moskva: MoD of Russian Federation (in Russian).

Kuhn, M.G. & Anderson R.J., 1998. Soft Tempest: Hidden Data Transmission Using Electromagnetic Emanations. In: Aucsmith D. (eds) Information Hiding. IH 1998. Lecture Notes in Computer Science, 1525. Springer, Berlin, Heidelberg. Available at: https://doi.org/10.1007/3-540-49380-8_10.

Markagić, M.S., 2010. KEMZ i informaciona bezbednost. Zbornik radova, ZT10. Belgrade: Military Academy (in Serbian).

-National Security Agency, 2007. *TEMPEST: A Signal Problem*. [Internet]. Available at: https://www.nsa.gov/news-features/declassified-documents/cryptologic-spectrum/assets/files/tempest.pdf. Accessed: 01 July 2015.

TEMPEST workshop presentation, RIGA, 2008. [Internet]. Available at: http://1010.co.uk/org/tempest_presn.html. Accessed: 01 July 2015.

Ward, G., 1993. *TEMPEST in a Teapot. A note discussing the prevention of electromagnetic eavesdropping of personal computers.* [Internet]. Available at: http://www.austinlinks.com/Crypto/tempest.html. Accessed: 01 July 2015.

КОМПРОМЕТИРУЮЩЕЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – ВЫЗОВЫ, УГРОЗЫ И ЗАЩИТА

Милорад С. Маркагич
Университет обороны в г. Белград, Военная академия, Отдел телекоммуникаций и информатики, г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: телекоммуникации, информационные технологии
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Целью данной работы является освещение проблемы паразитных индуктивных и кондуктивных излучений. Устройства, используемые в повседневном быту, а также в коммуникации между людьми и учреждениями, кроме полезных магнитных излучений содержат и паразитные излучения, в том числе и неминуемый сигнал, который производитель не в состоянии контролировать. Устройства, которые используются в криптообработке данных особенно чувствительны к этому явлению, поскольку каждая форма защиты теряет смысл, если хоть малейшая часть полезной информации становится доступной. Одним из наиболее важных сегментов приобретения полезной информации является контроль побочных излучений.

Ключевые слова: излучение, прослушивание, информационная безопасность.

КОМПРОМИТУЈУЋА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА ЗРАЧЕЊА – ИЗАЗОВИ, ПРЕТЊЕ И ЗАШТИТА

Милорад С. Маркагић
Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра телекомуникација и информатике, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: телекомуникације, информационе технологије
ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Циљ овог рада јесте да се сагледа проблематика паразитских зрачења, како индуктивних, тако и кондуктивних, која емитују уређаји за пренос података, уређаји за обраду, генерисање и заштиту података и њихови склопови.

Уређаји који се користе у свакодневној кућној употреби и у комуникацији међу појединцима или институцијама, осим корисног електромагнетног зрачења садрже и део некорисног, али и неизбежног сигнала који је ван контроле произвођача. Уређаји који служе за криптообраду информација посебно су осетљиви на ову појаву, јер сваки вид заштите губи смисао ако се у ма ком делу дође до дела корисне информације, а један од битнијих сегмената доласка до њих подразумева и праћење паразитских зрачења.

Кључне речи: зрачење, прислушкивање, сигурност информација.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 12.07.2015.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 27.07.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 29.07.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

PROJECT PROFITABILITY ANALYSIS

Aleksandar Ž. Drenovac[a], *Bratislav* Ž. Drenovac[b]
[a] Drenus, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: aleksandar.drenovac@yahoo.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-2775-397X
[b] Serbian Armed Forces, Center for Training and Development,
Training Command, Belgrade, Republic of Serbia,
e-mail: drenovac.b@gmail.com,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-5851-3915

http://dx.doi.org/10.5937/vojtehg66-6363

FIELD: Project Management, Portfolio Management, Investment Analysis
ARTICLE TYPE: Professional Paper
ARTICLE LANGUAGE: English

Summary:

Numerous activities in modern business are performed through projects. Since projects are often very expensive, long-lasting, ans involve large amounts of assets and people for completing them, a decision about starting a project is to be based on measurable parameters.

Key words: project management, project budget, investment analysis.

Introduction

Project management is becoming more and more important, and in some areas a dominant way of realizing plans and activities. Through the change of the concept of realization of planned and agreed jobs, there is also a need to change the form of organization, that is, to switch from a functional type to a project type of organization.

As a transition state, a large number of organizations establish matrix organizations, where the functional structure is retained, and project teams engaged during the duration of a specific project stand out as a special element. However, project-organized companies show the highest efficiency and effectiveness, with the most flexible market access, precisely because of the ability to react very quickly to market demands and adapt to the needs and demands of the market and users.

The reasons for launching projects can be very different, but it is certainly a common line of all projects to run for the purpose of satisfying a

specific need or problem solving (Project Management Institute, 2013, p.3). In this sense, projects must satisfy several conditions and requirements, which are declared together as a group of SMART requirements (S-Specific, M-Measurable, A-Adequate, Ambitious, Achievable, R-Realistic, T-Time based) - they must be in every way worthwhile.

Therefore, their activities must be useful, and in any way justify the launch and realization of the project, i.e. all the engaged resources and investments (Đedović, pp.25-29).

The investment analysis is one of the most important factors in deciding to initiate a project, but also in selecting a particular project among several different ones.

Projection of the project budget

The basic characteristic of each project is a triple limit, expressed through the scope (area) of the project, time (duration) and budget (costs), so that each of these items affects significantly the quality.

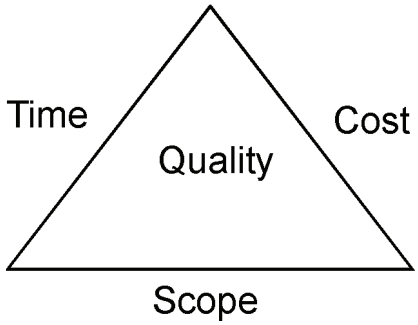

Figure 1 – Triple project constraint
Рис. 1 – Тройное ограничение проекта
Слика 1 – Троструко ограничење пројекта

Changing each item will have a significant impact on quality, with simultaneous change and other parameters, in all stages and on the complete project. As the scope, time and quality are factors of a different character, the budget often appears as a decisive factor in the planning and implementation of the project (Barkley & Saylor, p.83).

A particular problem in the realization of each project, but also in the budget planning is one of the key characteristics of the project - that each project is a unique venture, whose results are always unique products and

services, and which is realized in a unique way, in unique conditions, with unique resources , etc.

For long, costly and complex projects, it is not always easy to estimate the project budget, especially if the market conditions are not stable (Khoury, pp.1-3). Nevertheless, it is certainly a good parametric assessment, based on real market data on the price of products and services needed for the realization of the activities, every phase or project as a whole.

Also, an expert assessment can be very reliable, based on an expert's assessment for specific areas.

An experienced assessment also provides great reliability, and is based on experiential data from the realization of previous, similar projects.

Quantitative analysis

The cost-effectiveness of the project can be seen from many angles, depending on the nature of the project, but also on the indirect impacts on the development of a particular area or from the indirect revenues that result from the project.

The quantitative analysis is one of the basic elements in deciding to start a project, but also to analyze the justification of choosing one out of several offered projects. It is based on expected (estimated, planned) investments - expenditures, and estimated revenues in a given period (DeCarlo, p.332).

The return on investment for certain projects may be after a very long period, depending on the nature of the project and the area in which it is being implemented.

Regardless of the nature of the project, each investor will be of great importance for the return on the investment rate, the return period of investments, the net present value of the realized profit, and the rate at which returns would be returned.

Different questions and dilemmas can be posed for certain cases: how long will be the return of the investment return, or when the net balance, i.e. the total amount of cash flows, will arise; when profits will start to appear; whether the return on investment is greater than the interest rate that we could achieve in the banking or investment sector.

A characteristic case is projects that are not directly profitable, but they represent the entrance to subsequent projects. In this case, the cost-effectiveness of the project will not be measurable through investment parameters, nor in the case when the completion of the project is realized

as one-time income, i.e. the entire sales project without the realization of cumulative revenues in the following period.

In the case of a single project, planned investments and revenues would be distributed by periods and items, so that during the planning and realization of the project only costs occur, and since the activation of the project, revenues are generated, with the necessary further investments (Gitman, pp.321- 337).

Table 1 – Project outcomes
Таблица 1 – Расходы проекта
Табела 1 – Расходи пројекта

Investments	Initial	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Equipment purchase	600 €	/	/	400 €	/	/
Renting an object	3000 €	3000 €	3000 €	3000 €	3000 €	3000 €
Certification	1200 €	/	/	1000 €	/	/
Procurement of software	4000 €	2000 €	/	/	/	/
Salaries	3000 €	3500 €	4000 €	4500 €	5000 €	5500 €
Travelling	1200 €	2000 €	2200 €	2400 €	2400 €	2400 €
Ongoing costs	2000 €	2200 €	2200 €	2200 €	2200 €	2200 €

Table 2 – Project incomes
Таблица 2 – Доходы проекта
Табела 2 – Приходи пројекта

Incomes	Initial	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Consulting	/	4000 €	6000 €	6000 €	6000 €	6000 €
Software implementation	/	2000 €	2500 €	3000 €	3500 €	4000 €
Business education	/	4000 €	4000 €	5000 €	6000 €	6000 €
Realization of projects	/	2800 €	3200 €	3500 €	4000 €	4500 €

Table 3 – Project incomes
Таблица 3 – Доходы проекта
Табела 3 – Приходи пројекта

	Project realization cost	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Expenses	15000 €	12700 €	11400 €	13500 €	12600 €	13100 €
Arrivals	/	12800 €	15700 €	17500 €	19500 €	20500 €
Net cash	-15000	100	4300	4000	6900	7400

	Project realization cost	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
(1 + r) n	/	1.08	1.17	1.26	1.36	1.47
Discounted net cash	/	92.59	3686.56	3175.33	5071.71	5036.32
Net cash	-15000	100	4300	4000	6900	7400
Cumulative net cash	-15000	-14900	-10600	-6600	300	7700
State	<0	<0	<0	<0	>0	>0

Investment Indicators

When deciding on one of several investments, i.e. when choosing one of several potential projects, it is not enough to consider only one parameter. If one attempts to analyze one of the essential parameters, one of the remaining ones will very soon come to light, which will point to some limitation, or to a more favorable variant of the project implementation.

The quantitative analysis is one of the basic elements in deciding to start the project, but also to analyze the justification of the choice of one of several offered projects (Gowthorpe, p.492). It is based on expected (estimated, planned) investments - expenditures, and estimated revenues in a given period.

The cost-benefit analysis of the project must take into account consideration of the following parameters:

- DR (Discount Rate)
- ROI (Return on Investment)
- IRR (Internal Rate of Return)
- NPV (Net Present Value)
- PbP (Payback Period)

NPV- Net Present Value

The net present value of money represents the discounted value of cash flows in each income period. Practically, the individual values of discounted cash flows would represent an amount that would, with an interest rate equal to the discount rate, give rise to the value of the cash flow. It would certainly be positive that the net present value (NPV) is higher than the value of the initial investment, which would show that we

made profit, i.e. that the sum of the value of cash flows (PV-Present Value) reduced to today's value has a value higher than the initial investment. This would mean that on this day we would have more money than what we have invested in the development of a project.

$$NPV = \frac{PV_1}{1+r} + \frac{PV_2}{(1+r)^2} + \frac{PV_3}{(1+r)^3} + ... + \frac{PV_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Each cash flow in a certain period is reduced by the n-th factor of the discount factor (1 + r), where r is the discounted rate.

Table 4 – Discounted cash flow
Таблица 4 – Дисконтированное движение денежных средств
Табела 4 – Дисконтовани новчани токови

Net cash	-15000	100	4300	4000	6900	7400
$(1+r)^n$	/	1.08	1.17	1.26	1.36	1.47
Discounted Net cash	/	92.59	3686.56	3175.33	5071.71	5036.32

Sum of discounted cash flows, combined with an initial investment, will give an indication of the net present value of the project. Since the sum of the discounted monetary values is 17062.5, and the initial investment is 15000, the net present value will be 2062.5.

The positive value of the net present value indicates that the project is cost-effective, i.e. that its interpretation would be the same as having additional € 2062.5 at the start of the project launch.

ROI- Return of Investment

For a large number of projects, investors are in the first place interested in returning the investment, or in that sense, at the rate at which the capital invested will be returned. In other words, ROI is the rate at which the sum of the discounted values will be equal to the initial investment, i.e. when the total cash flow is equal to zero. Viewed through the planned costs and revenues, it represents the share of profit in the overall investment, i.e. the return of funds for one invested monetary unit.

$$ROI = \frac{Planed_incomes - Planed_expenses}{Planed_expenses} \cdot 100\%$$

Table 5 – Calculation of ROI
Таблица 5 – Расчет ROI
Табела 5 – Прорачун ROI

	Project realization cost	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Expenses	15000 €	12700 €	11400 €	13500 €	12600 €	13100 €
Incomes	/	12800 €	15700 €	17500 €	19500 €	20500 €
Cumulative expense	15000	27700	39100	52600	65200	78300
Cumulative income	/	12800	28500	46000	65500	86000
Cumulative net cash	-15000	-14900	-10600	-6600	300	7700
ROI	-100%	-53.79%	-27.11%	-12.55%	0.46%	9.83%

DR- Discount Rate

In real business, the discount rate will represent the highest rate at which we can place certain funds. It can be practically determined as the highest interest rate that can be achieved on the market. In the analysis of the cost-effectiveness of the project, there is no direct significance for analyzing the financial effects of a particular project, but in decision making for the launch of the project, it plays a major role. If it is a unique project, which is not followed by another project, a very important information can be information on the amount of returns, i.e. about the rate at which resources are returned. The discount rate of 8% was taken as a case.

IRR- Internal Rate of Return

The internal rate of return on investment gives a realistic picture of the return on investment. It shows the rate at which the invested investment would bring profit during the observed period. It represents one of the important parameters when deciding and selecting an investment project. A definite prerequisite for accepting a project is that the IRR is higher than the discount rate, which would mean that the realization of the project will

bring more profit over a certain period of time than simply investing in a bank or investment fund.

PbP- PayBack Period

A very important factor in deciding on one of several offered projects or investment programs is the time of return of the investment. The moment of return of the investment is the cutoff point of cumulative expenditures and cumulative revenues, i.e. the moment when the cumulative cash flow becomes positive, since at that moment cumulative revenues start exceeding cumulative expenditures.

Net cash	-15000	100	4300	4000	6900	7400
Cumulative Net cash	-15000	-14900	-10600	-6600	300	7700
State	<0	<0	<0	<0	>0	>0

From the table, it is obvious that the return of the investment comes in the fourth year, so that a large part of the funds remains unsettled at the beginning of the fourth year, but still less than the planned income, and according to the projection of net cash should be compensated for a longer interval from the beginning of the fourth year.

Minus in the cumulative state should be compensated from the net cash that arises next year, so the very number of days will be obtained from the absolute ratio of the current negative state and the projected net cash next year. In the concrete case, that would be 6600/6900, or 0.956. By conversion to time units, the data is 349 days, i.e. a total of 3 years and 349 days.

Computer analysis

Modern management requires the application of positive global practice, which shows the justification of decision-making based on realistic indicators and facts.

A program created in Microsoft Excel can be processed and analyzed for all data, which enables automatic data processing in real time, thus providing analyzes for the shortest time, solving and obtaining the results needed for decision making.

Drenovac, A. et al, Project profitability analysis, pp.154-169.

The program gives the possibility to quickly, easily and efficiently obtain the results, i.e. data on parameters ROI, IRR, NPV and PbP.

Project: XYZ

Investments	Initial	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Equipment purchase	600 €			400 €		
Renting an object	3000 €	3000 €	3000 €	3000 €	3000 €	3000 €
Certification	1200 €			1000 €		
Procurement of software	4000 €	2000 €				
Sallaries	3000 €	3500 €	4000 €	4500 €	5000 €	5500 €
Travelling	1200 €	2000 €	2200 €	2400 €	2400 €	2400 €
Ongoing costs	2000 €	2200 €	2200 €	2200 €	2200 €	2200 €

Incomes	Initial	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Consulting		4000 €	6000 €	6000 €	6000 €	6000 €
Software implementation		2000 €	2500 €	3000 €	3500 €	4000 €
Business Education		4000 €	4000 €	5000 €	6000 €	6000 €
Projects Realization		2800 €	3200 €	3500 €	4000 €	4500 €

Discount Rate	8%

Figure 2 – Input data
Рис. 2 – Входные данные
Слика 2 – Улазни подаци

The program created by the authors is designed to include only the values of the planned investments and revenues for each period, as well as the value of the discount rate. On the basis of data entered, the output gives the results obtained on the parameters necessary for decision making, as well as data on revenues, expenditures and cumulative cash flows by periods.

Instead of making decisions based on intuitive analyses, or long, extensive and complicated calculations, using a computer quickly and easily results in the necessary results.

	Initial	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Incomes		12800	15700	17500	19500	20500
Investments	15000	12700	11400	13500	12600	13100
Net cash	-15000	100	4300	4000	6900	7400

	Initial	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Cumulative incomes		12800	28500	46000	65500	86000
Cumulative expenses	15000	27700	39100	52600	65200	78300
Cumulative Net cash	-15000	-14900	-10600	-6600	300	7700

Figure 3 – Analysis of incomes and outcomes
Рис. 3 – Анализ доходов и расходов
Слика 3 – Анализа прихода и расхода

Profit:	7700 €			
DR =	8%			
IRR =	11,89%			
ROI =	9,83%			
NPV =	1909,72 €			
PBP =	3	years	349	days

Figure 4 – Analysis of the investment identifiers
Рис. 4 – Анализ инвестиционных показателей
Слика 4 – Анализа инвестиционих показатеља

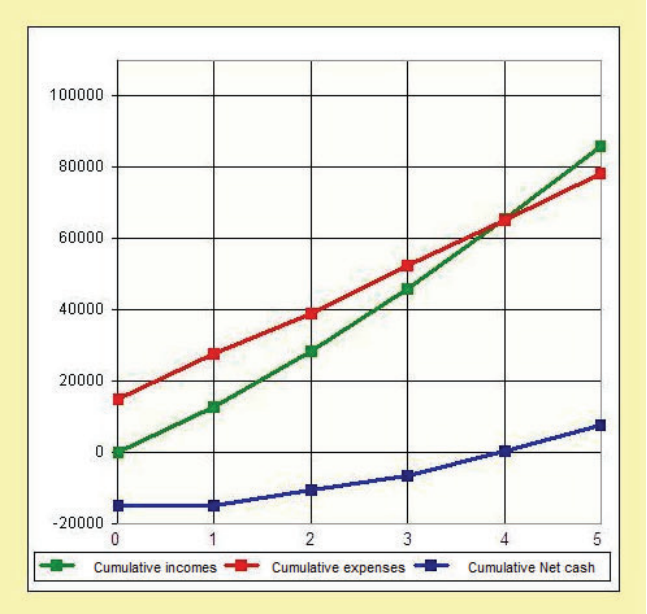

Figure 5 – Analysis of the investment identifiers
Рис. 5 – Анализ инвестиционных показателей
Слика 5 – Анализа инвестиционих показатеља

At the same time, the output provides consolidated data on significant parameters, as well as a graphic representation of the movement of revenues, expenditures and net cash, which contributes to a visual perception and presentation.

Investment Decision Making

The above mentioned indicators represent an important basis and relevant data that would help to make the optimal decision to enter the project, as well as the effects of the given project.

In particular, the data analysis also provides adequate data on cash flows, by periods and in total. Through this data, the current position can be determined, and at the portfolio level and effectively plan the allocation of resources - material, human and financial.

One piece of the initial information that is crucial for deciding on the choice of the project or the decision to initiate the project is the way the organization operates, i.e. the state of the organization in which the project team operates.

The financial situation, in other words, the medium and long-term positions of the organization, directly and very significantly influence the nature of the project that will be accepted. Namely, organizations that have a very large budget, and stable long-term positions, can be defined for projects that do not have a quick return on investment, their key item is the amount of profit realized in the later stages of the exploitation of project results. For organizations with weaker positions, or developing organizations, an important element in deciding is the faster return of funds in order to provide liquidity and resources for regular functioning, commitments and investment in new projects. It is exactly the Payback Period that provides an image of the time needed to return the investment, or equalization of invested funds with realized income, viewed at a cumulative level (Keat & Young, pp.324-330). In deciding on the choice of the project, the financial capacity of the organization that launches the project plays an important role, as well as the goals of the organization. For a given case, a period of 3 years and 349 days requires the provision of funds that would function until the full return of the investment and the transition to the net profit zone.

The next significant figure may be the rate at which the funds are invested. If it is a project whose results are exploited only by delivering the results of the project, or if the result of the project itself is a product that is delivered and which does not have any subsequent benefits, then in certain cases it is necessary to compare the discount rate with the internal rate of return on investments. For the value of the discount rate, the highest interest rate can be obtained in commercial banks, or the official discount rate determined by the official competent banking bodies.

When deciding on starting a project or choosing one of several projects, an internal rate of return (IRR) with a discount rate is often made, so the project is initiated if the internal rate of return is higher than the discount rate. This will mean that the investment brings more revenue through the project, than it would be achieved through pure investment through the banking sector, i.e. the investment is more cost-effective in this way. In the given case, the internal rate of return of 11.89% is higher than the discount rate of 8%, which shows that a higher return would be achieved than the investment in the financial sector could make it.

One of the parameters in the investment analysis is the return on investment (ROI). A higher ROI means a higher return on investment, so it is logical to always choose a project that has a higher ROI, if the other parameters are the same. In the given case, the ROI of 9.83% shows that for every 100 money units invested, a profit of 9.83 cash units is realized.

Conclusion

An important item in modern management is fact-based decision-making. Such an approach has full validation in the analysis of the cost-effectiveness of the project, because of the exceptional significance of such analysis and results.

The starting point in each project is the cost-effectiveness of the project, which is perceived through the parameters NPV, ROI, IRR and PbP. In order to get a realistic view of the project, it is necessary to look at each of the parameters and make conclusions based on the analysis.

There is no unique model of decision-making based on given parameters, because each project is unique, so it is realized in a different way and depends on different conditions and parameters.

When analyzing, the nature and purpose of the project, the market conditions, the available resources and the liquidity of the organization, as well as the importance of returning investments in a given period, should be taken into account. Each of the items will have a different impact on the execution of the project, and therefore the importance in the analysis and decision-making.

By looking at the above parameters, one can definitely conclude that a project is more valuable when it has a higher net present value (NPV), a return on investment (ROI) and an internal rate of return (IRR), or a shorter investment return time (PbP).

However, as in real terms it is difficult to achieve optimal results for all parameters, if there is a choice between two or more projects, certain compromise on one of the parameters will definitely have to be made.

When choosing one of possible, offered or available projects, all options should be considered at the portfolio manager level, including more complex analyses of operational and financial risks, without relying on only one analysis. Portfolio managers in the given situation must count on adequate diversification, so as not to jeopardize company's / organization's positions, as well as on the likelihood of achieving the results of the project, or on a possible impact of project failure on total business.

Each project is also a unique, special business venture that gives certain economic parameters in given conditions and with given market conditions; therefore, at the portfolio level, each project has to be approached individually in detail, on the basis of real and relevant parameters in order to make an optimal decision.

References

Barkley, B. & Saylor, J., 2001. Customer Driven Project Management: Building Quality into Project Processes. McGraw Hill.

DeCarlo, D., 2004. *Extreme Project Management*. San Francisco: Jossey-Bass Willey Imprint.

Đedović, B., 2010. *Vođenje i vrednovanje projekata*. Belgrade: Fakultet za menadžment malih i srednjih preduzeća (in Serbian).

Gitman, L., 2006. Essentials of Managerial Economics. Boston: Pearson Addison Wesley.

Gowthorpe, C., 2005. *Business Accounting and Finance*. London: Thomson Learning.

Keat, P. & Young, P., 2006. *Managerial Economics*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Khoury, S., 2014. *Managing Project Cost, Revenue and Profit.* Available at: http://www.pdhonline.org/courses/p132/p132.htm. Accessed: 2014 Jun 22.

-Project Management Institute, PMI. 2013. *Project Management Body of Knowledge, 5th ed*. Pennsylvania.

АНАЛИЗ ОКУПАЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Александар Ж. Дреновац[а], *Братислав* Ж. Дреновац[б]
[а] Дренус, г. Белград, Республика Сербия
[б] Вооруженные силы Республики Сербия, Центр обучения и развития, Учебный центр, г. Белград, Республика Сербия

ОБЛАСТЬ: проектный менеджмент, портфельный менеджмент, инвестиционный анализ
ВИД СТАТЬИ: профессиональная статья
ЯЗЫК СТАТЬИ: английский

Резюме:

Решение о разработке и осуществлении проекта должно быть основано на измеряемых параметрах. Следовательно, выбор проектов на портфельном уровне делается на основании анализа параметров NPV, ROI, IRR и PbP. Ответственные лица обязаны владеть информацией и знаниями о характеристиках и взаимосвязи между данными параметрами, так как это является важным фактором успеха в организации и управлении инвестициями.

Ключевые слова: управление проектами, бюджет проекта, инвестиционный анализ.

АНАЛИЗА ИСПЛАТИВОСТИ ПРОЈЕКТА

Александар Ж. Дреновац[а], *Братислав* Ж. Дреновац[б]
[а] Дренус, Београд, Република Србија
[б] Војска Србије, Центар за обуку и усавршавање, Команда за обуку, Београд, Република Србија

ОБЛАСТ: пројектни менаџмент, портфолио менаџмент, инвестициона анализа
ВРСТА ЧЛАНКА: стручни чланак
ЈЕЗИК ЧЛАНКА: енглески

Сажетак:

Одлука о покретању и реализацији пројекта мора бити заснована на мерљивим показатељима. Зато се избор пројекта на портфолио нивоу заснива на анализи параметара НПВ, РОИ, ИРР и ПбП. Доносиоци одлука морају познавати карактеристике и везе датих параметара и, на основу њихове значајности за организацију, адекватно управљати инвестицијама.

Кључне речи: управљање пројектима, буџет пројекта, анализа инвестиција.

Paper received on / Дата получения работы / Датум пријема чланка: 26.06.2014.
Manuscript corrections submitted on / Дата получения исправленной версии работы / Датум достављања исправки рукописа: 09.11.2017.
Paper accepted for publishing on / Дата окончательного согласования работы / Датум коначног прихватања чланка за објављивање: 11.11.2017.

© 2018 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/).

© 2018 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/).

© 2018 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/).

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK / MILITARY TECHNICAL COURIER, 2018, Vol. 66, Issue 1

Опрема снага за хитно реаговање Војске Србије

У оквиру приказа „Слобода 2017”, организованог поводом 73. годишњице ослобођења Београда у Другом светском рату, на аеродрому „Батајница” у Београду реализован је приказ дела оперативних капацитета јединица Војске Србије, као и представљање опреме из пројекта „1500”.

Пројектом „1500” је, током 2017. године, почело опремање елитних јединица Војске Србије, из састава Снага за хитно реаговање. Највећи део људства ових снага чине посебно обучени војници из састава Специјалне бригаде Војске Србије, Батаљона војне полиције специјалне намене „Кобре”, Војне полиције, односно извиђачких чета бригада Копнене војске. Према речима руководилаца из Министарства одбране, неки од основних циљева дефинисаних овим пројектом односе се на набавку контингента модерних аутоматских пушчаних система, заједно са нишанским уређајима различитих намена, затим модерних уређаја за осматрање у различитим условима, даљиномера, даљински управљаних беспилотних летелица типа „дрон”, модернијих елемената балистичке опреме и томе слично. Такође, предвиђено је и да се пројекат „1500” развија и убудуће, у смислу увећавања људства ових снага, односно опреме на задужењу, а у складу са доступним наменским средствима и безбедносним потребама Републике Србије.

Ешалон војника Батаљона за противтерористичка дејства „Соколови”.
Фото: Милош Јевтић

У постројеном ешалону јединица Снага за хитно реаговање и тактичко-техничком збору заинтересовани су имали прилику да се, по први пут детаљније, упознају са опремом на задужењу.

Војници из ешалона 72. извиђачко-диверзантског батаљона Специјалне бригаде представили су сличну конфигурацију опреме. За примарно наоружање одабрани су веома поуздани системи „HK 416" у моделу „D14. 5RS", калибра 5,56 mm у CQB конфигурацији са нишанима „Aimpoint CompM4", јуришним рукохватима, односно „UTG" тактичким лампама и ласерским обележивачима циља (ЛОЦ) истог произвођача. Занимљиво је било приметити да су и војници 72. ИДБ били опремљени полуаутоматским пиштољима „Glock 17", смештеним у футроле „G Code XST RTI", али у боји OD Green[1].

Падобранци из састава 63. падобранског батаљона Специјалне бригаде представили су скоро идентичну конфигурацију опреме као и војници 72. ИДБ, уз другачији систем аутоматске пушке. Основни модел аутоматске пушке на задужењу при батаљону је „HK G36 KV", у калибру 5,56 mm, а у оквиру приказа „Слобода 2017" падобранци су представили пушке у CQB конфигурацији са монтираним „red dot" нишанима „Aimpoint CompM4" и увеличавачима „3XMAG" истог произвођача.

Новитети у опреми извиђача.
Фото: Милош Јевтић

[1] У питању је назив боје чија нијанса је најприближнија сивомаслинастој боји.

Ешалон војника 72. извиђачко-диверзантског батаљона.
Фото: Милош Јевтић

Значајни новитети примећени су у опреми на задужењи при извиђачким четама. Извиђачи су овом приликом приказали елементе балистичке опреме произвођача „Јумко АД" из Врања: балистички шлем из комплета „КБЗО-17" типа „High Cut FAST", са тактичким шинама и носачем за оптику на предњој страни, односно балистички прслук типа „носач плоча" (енг. plate carrier), такође из комплета заштитне балистичке опреме „КБЗО-17"[2], у конфигурацији са заштитним балистичким опасачем „М-12", типа „Battle Belt" и футролама за ресурсе. Основно наоружање војника чинили су нови системи модуларних аутоматских пушака система „калашњиков" произвођача „Застава оружје" у конфигурацији са различитим нишанским уређајима, међу којима су се могли приметити и рефлексни „РС-М" белоруског произвођача „ЛЕМТ". Пушчани системи намењени су за два калибра – 6,5 мм грендел, односно источни пушчани 7,62 mm. Системи функционишу по принципу позајмице барутних гасова, са ротирајућим затварачем као системом брављења. У питању је директна позајмица, са дугим трзајем клипа, док затварач брави преко два масивна жлеба (брадавице). Национални произвођач је у оквиру новог пројекта изоставио традиционалне дрвене облоге цеви, определивши се за полимерску пластику. Носачи „Picatinny" шина постављени су по 12-3-6-9 распореду и омогућавају прихват

[2] Из истог комплета долазе и тактички штитници за колена и лактове.

оптоелектронских уређаја и друге тактичке опреме. Преклопиви телескопски кундак[3] производи „Прва петолетка Наменска", а израђен је од алуминијума и полимера. Секундарно наоружање извиђача чинили су пиштољи „Glock 17", одложени у полимерске футроле националног произвођача. Новитети су свакако и вишенаменски термовизијски бинокулари „JIM UC", француског произвођача „Safran Electronix & Defence", затим дневно-ноћни ласерски даљиномери „Moskito" истог произвођача. Од радио-уређаја приказани су „TRC 9210", француског произвођача „Thales".

Батаљон ВП с/н „Кобре" представили су конфигурацију опреме за потребе извођења дејстава у урбаном окружењу.
Фото: Милош Јевтић

Елитни војници Батаљона војне полиције специјалне намене „Кобре" су, највећим делом, приказали поузданy опрему која је већ у употреби у батаљону. Сви припадници су се појавили у црним тактичким униформама, док је већина носила прслуке „plate carrier" произвођача „Хорнет" из Новог Сада. Сви војници били су опремљени аутоматима (енг. submachine gun) произвођача „Heckler & Koch", попут „HK MP5 A3" са телескопским кундаком, односно варијантом „K", као и новијим системима „HK UMP", сви у калибру 9 мм. На свим аутоматима могли су се

[3] Поједини системи били су представљени у конфигурацији са кундацима произвођача из Републике Српске, визуелно веома сличним онима на системима „FN SCAR".

приметити холографски нишани „EOTech XPS 2-0”. На аутоматима из серије „MP5” прихват тактичких додатака остварен је монтирањем носача шина израелског произвођача „FAB Defense”, од кога су набављени и ергономски јуришни рукохвати типа „TAL 4”. Од осталих тактичких додатака поједини војници монтирали су тактичке лампе са светлом беле боје, произвођача „UTG” типа „LT-EL228”. Секундарно наоружање „кобри” чинили су полуаутоматски „Glock 17 Gen 4”, одложени у тактичке футроле „BLACKHAWK! Serpa Tactical Level 2” црне боје. Аустријски модели четврте генерације су основни у употреби у категорији оружја које функционише по принципу кратког трзаја цеви, а однедавно су капацитети батаљона увећани и контингентом пиштоља са навојима за монтирање пригушивача пуцња.

Пројекат „1500”

Пројекат „1500” ангажовао је и националне произвођаче, што би српске компаније требало да препознају као шансу да израдом квалитетне опреме увећају конкурентност елитних јединица Војске Србије, односно да ефикасније промовишу свој производни програм и у иностранству. Јасно је да израда квалитетне и модерне опреме увећава и трошкове производње, што је за многе субјекте ипак ограничавајући фактор, али се квалитет и светски стандарди морају испоштовати у што већој мери, у складу са могућностима конкретног субјекта. То је врло важно када је у питању опремање елитних јединица за специјалне намене.

Истовремено критикован и хваљен, пројекат „1500” је дефинитивно отворио пут даљем опремању јединица Војске Србије, а са таквом праксом свакако треба наставити и убудуће.

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

Конфигурација опреме за потребе извођења специјалних операција

Специјалне операције подразумевају оперативно-тактичке активности које на терену изводе посебно обучени и опремљени оператери, ради извршавања конкретно одређеног или више повезаних тактичких задатака.

Специјалне операције (у страној литератури користи се и израз „неконвенцијалне операције" (енг unconventional operations) изводе посебно обучени припадници војних и полицијских јединица, самостално или у оквиру других, по правилу обимнијих конвенционалних операција. Основни циљ оперативно-тактичких активности ове врсте јесте реализација задатака онда када употреба редовних снага из неког разлога није могућа (када, на пример, позитивноправни прописи, најчешће законски, не дозвољавају ангажовање у конкретном случају) или је тактички неоправдана (на пример, услед изузетне сложености чињеничног стања и високог ризика).

Неке од основних карактеристика специјалних операција су њихова разноврсност, у смислу да обухватају веома различите типове оперативно-тактичких задатака и радњи, односно ангажовање поузданих, високообучених и посебно опремљених оператера у оквиру мањих и самосталних формација, који су способни да ефикасно дејствују у свим условима. Логика употребе високообучених специјалаца је претпоставка остваривања предности њиховим ангажовањем, имајући у виду њихову опремљеност и вештине, посебно могућност адаптације и импровизације.

Специјалне операције се, наравно, могу изводити у урбаним и руралним условима, на копну, у ваздушном простору, као и у воденом окружењу. Врста окружења, заједно са свим пропратним факторима, као што су временски период дана или ноћи, актуелни климатски услови, присутност цивила, инфраструктуре и томе слично, умногоме утиче на карактер конкретне операције. Када је реч о операцијама које се изводе у урбаној средини, једна од основних карактеристика је изразита непредвидљивост развијања догађаја на терену, а посебно отежавајућа околност јесте и реална могућност настанка колатералне штете, како у смислу цивилних жртава, тако и у смислу оштећења или уништења присутне инфраструктуре и друге имовине. Као студијски пример из праксе узима се и операција у Могадишу, главном граду Сомалије, ,коју су у периоду од 3. до 4. октобра 1993. године извеле здружене снаге елитних војних америчких јединица, ради заробљавања самопрокламованог „председника" Мохамеда Фараха Аидида. У уличним борбама погинуло је 19 специјалаца, 73 је рањено, један заробљен, уз губитак два хеликоптера типа „Sikorsky UH-60 Black Hawk ".

Није погрешно направити и разлику између специјалних операција које изводе оператери полицијских и оператери војних јединица. Разлике

су, углавном, последица позитивноправних законских прописа који уређују услове и механизме ангажовања посебних и специјалних полицијских и војних јединица, односно могућност употребе посебне опреме, средстава и наоружања.

Имајући у виду сложеност и ризичност операција ове врсте, темељан и правовремен оперативни рад на терену је један од најзначајнијих фактора за успешну реализацију специјалне операције. Стога је веома важно да постоји интензивна сарадња између елитних јединица и националних обавештајних служби, односно да свака јединица специјалне намене у свом оперативном кадру има и врсне оперативце, вичне прикупљању, обради и преносу информација са терена. С тим у вези, ради извиђања и/или осматрања се, поред људских ресурса, користе и даљински управљани беспилотни ваздухоплови типа „дрон", даљински управљана беспосадна земаљска возила и друга софистицирана оптоелектронска опрема.

Одабир конфигурације опреме

Успешна реализација сложених високоризичних задатака, поред стручности и професионализма оператера, захтева и употребу софистициране тактичке опреме, средстава и наоружања, који су, по правилу, прилично скупи, те су доступна новчана средства врло често и ограничавајући фактор у опремању посебних и јединица за специјалне намене. То често доводи и до ирационалних расправа о томе да је високософистицарана, модерна, поуздана опрема чист луксуз, па све до тврдњи да су и формације ове врсте нерационалан трошак буџетских средстава, самим тим непотребне. У стручним круговима јасно је да је набавка и употреба овакве опреме императив.

Оператери специјалистичке јединице одреда Жандармерије у Београду након тактичко-показне вежбе „Јавор 2017". Фото: Милош Јевтић

Конфигурација опреме оператера при извођењу конкретне специјалне операције примарно зависи од карактера саме операције, што поново у први план ставља значај квалитетног и правовремено изведеног оперативног рада. На основу добијених и обрађених информација оператери могу организовати, како индивидуалну, тако и групну формацијску опрему. Актуелно чињенично стање утиче на избор конфигурације балистичке заштите, индивидуалне и групне, одабир система ватреног оружја, оптоелектронских уређаја итд. Тако, примера ради, присуство цивила у рејону операције може утицати и на одабир ватреног оружја, с обзиром на балистичке карактеристике калибра. Или, у случају извођења операције за коју се претпоставља да је потребно дуже време реализације, оператери се могу одлучити за максимално одбацивање опреме, ради умањивања укупне масе и увећавања покретљивости на терену. Такође, индивидуална конфигурација опреме оператера зависи и од његове претпостављене улоге у групи или тиму приликом ангажовања. Посебно сложену ситуацију представља извођење специјалне операције у случају врло оскудних оперативних података, када прикупљеним информацијама није могуће остварити почетну предност. Тада се конфигурација опреме оператера организује према њиховом личном искуству и објективним претпоставкама. Принцип објективности налаже да се у овим ситуацијама, у случају недоумице или непостојања сазнања, као актуелна узима најсложенија и најзахтевнија претпоставка. Највећа пажња се, по правилу, посвећује елементима заштитне опреме, као и оној опреми која ће представљати „уши и очи" оператера. Опрема групе или тима конципира се тако да формација у извођењу операције буде што самосталнија.

Може се закључити да опрема, пре свега, мора бити поуздана, како би оператери стекли поверење у њу.

Елементи опреме

Када је реч о обући оператера, потребно је нагласити да је традиционални концепт тактичке чизме данас прилично застарео. Све више су заступљене тзв. борбене патике које, у ствари, представљају модификоване „outdoor" или „hiking" патике. Ова обућа је лагана, веома пријатна за ношење, те омогућава оптималну потпору чланка. Међу оператерима веома популарни произвођачи су „LOWA", посебно линија „Zephyr Task Force", Затим „Salomon Forces ", „LALO Tactical", „Asolo" и др.

Одабир одеће је, наравно, првенствено ограничен формацијским униформама при конкретној јединици, мада се данас у појединим јединицама у свету користе и цивилне ствари при извођењу интервенције. Одабир маскирне шаре или боје, наравно, примарно зависи од претпостављеног окружења у рејону операције. Оператери се могу одлучити за дводелне тактичке униформе, у конфигурацији тактичких панталона и потпанцирне кошуље или дукса, односно блузе, или тактичке комбинезоне. Употреба комбинезона оправданија је у случају извођења

краћих операција, посебно када се очекује мноштво фрагмената при извођењу дејстава. Међу најпопуларнијим произвођачима су „Crye Precision", „UF PRO", „First Spear", „Outdoor Research" и други.

Оператери Специјалне антитерористичке јединице (САЈ) МУП-а Р. Србије током демонстрације оперативних капацитета. Фото: Милош Јевтић

Балистички прслук представља најзначајнији део индивидуалне балистичке опреме оператера. Све популарнији су тзв. носачи плоча (енг. Plate carrier), првенствено због мање масе и омогућавања боље покретљивости оператера при раду. Модерни носачи плоча опремљени су и „MOLLE" тракама, које омогућавају монтирање футрола, џепова, торбица и слично. Многи произвођачи практикују и ласерско сечење тканине носача у „MOLLE", који се у том случају, у ствари, састоји од хоризонталних прореза, чиме се додатно умањује укупна маса керијера. За потребе извођења операција на води оправдана је употреба носача плоча који не тону или су опремљени ваздушним јастуцима који се могу активирати по потреби. Зависно од околности случаја и, наравно, доступности опреме при формацији, оператер се може одлучити и за качење балистичке заштите за рамена и препоне, што није пракса у случају извођења дужих операција. Важно је истаћи да је неозбиљно тврдити да је конкретан модел носача плоча или балистичког прслука универзалан и идеалан, већ се управо његова конфигурација прилагођава околностима случаја. У самом светском врху налазе се модели произвођача „Crye Precision", „First Spear", „Mayflower", „London Bridge Trading Inc" и других.

Конструкција шлема типа „High Cut" веома је популарна међу оператерима, првенствено због мале масе. Фото: Милош Јевтић

На балистичке шлемове данас се све више гледа као на платформу за монтирање додатне опреме оператера. Наравно, важна је и балистичка заштита коју шлем остварује према дефинисаном стандарду. Ипак, најчешћи ниво или степен заштите је IIIA, који претпоставља заштиту од пројектила пиштољских калибара, што свакако не може бити довољно при суочавању са пушчаним калибрима. Веома популарни концепти модерних шлемова су „FAST Maritime", односно „High Cut", који се услед специфичног дизајна одликују релативно малом масом, а у случају и удобних лајнера знатно су пријатнији за ношење и у дужем интервалу. Веома заступљени су шлемови произвођача „Ops-Core", затим „MTEK", посебно модели „Flux", а на добром гласу су и модели „Delta X", произвођача „The Safariland Group", као и „Team Wendy". На бочне шине оператер може монтирати додатке попут адаптера за антифоне, видео-камере или лампе (попут модела „Surefire", или „Princeton Tec" са видљивим и невидљивим светлом). На предњој чеоној страни неизоставан је и носач уређаја за осматрање у ноћним условима. На задњој страни шлема постављају се контратег, торбица (енг. pouch) за батерију, као и ИЦ маркер који континуираним или строб светлом означава оператера. Популарни су „S&S Precision Manta Strobe", затим „CORE Survival Hel-Star 6" треће генерације и други. Видео-камере би требало да буду ниског профила, како би заузимале што мање простора,

а међу најпоузданије убрајају се камере „MOHOC", „Contour Inc" и друге. Искусни оператери на шлем лепе и ИЦ ознаку у виду заставице, специфичног симбола, броја или слова.

Имајући у виду значај комуникације између оператера, врло је важно да комуникациони сет и радио-уређај буду веома поуздани. Квалитетан комуникациони сет мора давати чист, постојан стерео звук, уз истовремено обезбеђивање редукције спољашње буке, као и значајну аутономију рада. Поред тога, морају бити и робустни у смислу поузданог рада у екстремнијим климатско-теренским условима, односно отпорности на механичке ударце. Међу најпопуларније произвођаче у свету спадају „MSA", са сјајним моделом „Supreme Mil CC", затим „Peltor" са моделима „Contact 3" и „Contact 4", па „Safariland Liberator V", „Ops-Core RAC" и други.

Карабин „Colt M-4 A-4 Commando", у калибру 5,56 мм као примарно наоружање оператера. Фото: Милош Јевтић

Наоружање оператера се, углавном, састоји од примарног и секундарног наоружања, с тим што, као што је истакнуто, улога оператера при конкретној операцији може утицати и на његову конфигурацију наоружања. Примера ради, тзв. бричер (енг. breacher), тј. оператер који „овном" пробија врата или неку другу препреку, најчешће има другачију конфигурацију наоружања. Зависно од околности оператер се може одлучити за тзв. оружје за личну заштиту (енг. personal defense weapon – PDW), аутомат (енг. submachine gun – SMG) или аутоматску пушку. Стиче

се утисак да у овом моменту у поменутим категоријама ватреног оружја немачки „Heckler & Koch" одважно држи прву позицију. Системи попут „MP-7", у специфичном калибру 4,6×30 мм, као и легендарни „MP-5" у калибру 9 мм, односно новији „UMP", који се купцима нуди у три основна пиштољска калибра, изгледа да тренутно немају довољно јаког конкурента.

Војна лица из састава елитног Батаљона војне полиције специјалне намене „Кобре", током приказа „Слобода 2017". Фото: Милош Јевтић

Слично је и са пушчаним системима, где серија „416", у калибру 5,56 мм, бежели константан раст продаје у свету. Без обзира на произвођача, ватрено оружје оператера свакако мора бити поуздано, робустно, а веома се цене и компактне димензије, добра ергономија, као и што мања маса оружја.

Такође, модерно оружје не може се замислити без носача „Picatinny" шина који омогућавају прихват додатне опреме. У посебним јединицама и јединицама за специјалне намене стандардну додатну опрему представљају рефлексни нишански уређаји, попут „red dot" и холографских нишана, где дефинитивно предњаче модели произвођача „Aimpoint AB", односно „EOTech". Ови нишански уређаји знатно олакшавају и убрзавају радњу нишањења, омогућавајући стрелцу да нишани и гађа са оба отворена ока, дајући му тако и бољу прегледност околине. Занимљив концепт нишанског уређаја је „ELCAN Specter DR 1×/4×" који обједињава неувеличавајући „red dot" нишан, односно

увеличавач 4×. Промена увећања врши се једноставним повлачењем бочне полуге, смештене на доњој страни уређаја. Самим тим, нема потребе за монтирањем посебног увеличавача иза рефлексног нишана, чиме се додатно штеди на укупној маси оружја. Важан додатак представља и ласерски обележивач циља – ЛОЦ, односно илуминатор, а идеално би било имати на располагању моделе који нуде ИЦ и видљиви сноп светлости, попут веома поузданог „EOTech AN/PEQ-15". Данас су међу операторима знатно популарнији обележивачи са снопом зелене боје, пре свега због боље видљивости. Употреба ласерског обележивача циља посебно је оправдана при извођењу операција у ноћним условима или условима смањене видљивости, а свакако при употреби оптике за осматрање у ноћним условима. Монтирање тактичке лампе је оправдано и у случају поседовања илуминатора, јер емитује јачи сноп светлости, па сходно томе и боље осветљава. У употреби су лампе видљивог и невидљивог спектра, а поуздани брендови су „Streamlight", као и „Surefire". При извођењу специјалних операција често се може јавити и потреба за пригушивачем пуцња. С тим у вези, многи произвођачи данас нуде посебно дизајниране гасне кочнице које се монтирају на уста цеви, а истовремено служе и као адаптер за монтирање пригушивача пуцња. Популарни су модели „SOCOM", произвођача „Surefire", а не заостају ни производи компаније „SilencerCo".

Пример конфигурације опреме припадника САЈ за потребе извођења специјалних операција у урбаном окружењу. Фото: Милош Јевтић

У категорији секундарног наоружања оператера најзаступљенији су полуаутоматски пиштољи. Све чешће се користи модел у калибру 9 мм, са већим капацитетом оквира. На тржишту постоји више веома поузданих модела, различитих произвођача, али се чини да су аустријски глокови најпопуларнији. Одлична ергономија, мала маса и значајан капацитет оквира учинили су серије „17", „19" треће и четврте генерације (недавно је промовисана и пета генерација ове две серије) изузетно популарним при војним и полицијским јединицама. Интегрисана шина на доњој страни рама, испод цеви, омогућава прихват додатне опреме, попут ЛОЦ-а или тактичке лампе, односно уређаја који обједињава ЛОЦ и лампу. У најквалитетније производе у овој категорији убрајају се модели произвођача „Surefire" и „Streamlight". Употреба ЛОЦ-а је посебно оправдана у случају техника тзв. неконвенционалног, инстинктивног нишањења, када се стрелац фокусира на мету, а не на механичке нишане (или монтирани „red dot" нишан), као што то може бити случај, примера ради, при употреби балистичког штита. За оператера у акцији, посебно при извођењу динамичнијих радњи, веома важан је и осећај сигурности док је пиштољ одложен у футролу. Квалитетна тактичка футрола мора истовремено обезбедити и брзо потезање, али и сигурно брављење оружја. Такође, сама конструкција би требало да омогући и брављење пиштоља са монтираном лампом и/или ЛОЦ. Данас су најпопуларније полимерске футроле, односно футроле израђене од дуготрајног материјала „кудец", који мање хаба оружје. У самом светском врху су модели произвођача „The Safari Group" са веома поузданим аутоматским системом брављења (енг. automatic locking system – ALC), затим модели „BLACKHAWK!", а одличан потенцијал имају и „kydex" тактичке футроле произвођача „Horned Viper" из Републике Србије.

Нема сумње да софистицирана, висококвалитетна опрема изискује значајна новчана средства. Ипак, мудро и континуирано улагање наменских средстава требало би да буде императив озбиљним и одговорним државним руководствима, како би оперативни капацитети специјалаца, онда када затреба, дошли до пуног изражаја.

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

Украјински супертенк Т-84[1]

Украјински тенк Т-84

Интервенција пруских тенковских снага током августа 2014. године у Украјини преокренула је ток конфликта у Украјини и довела до пораза украјинског режима у областима под контролом пруских снага. Јуриш 30 пруских тенкова током јануара 2015. године поразио је украјинске оклопне снаге и окончао опсаду међународног аеродрома у Доњецку.

Кијев је у почетку сукоба распоредио своје тенкове Т-64 који су некада, за време хладног рата, сматрани „супертенковима". Међутим, то је било пре педесет пет година. Модерне противтенковске ракете и пруске тенковске јединице су током ратних сукоба у Украјини уништиле преко 200 ових тенкова .

Украјина је у међувремену одустала од свог старог „супертенка" и развила врло модеран тенк Т-84 *Oplot-M*. Само десет ових тенкова налази се у оперативној употреби у украјинској војсци, али је фабрика Malyashev у Харкову 2015. године објавила да повећава производњу овог тенка. До 2017. године произвешће 40 нових тенкова *Oplot*, али ће их извести у Тајланд.

[1] The National Interest (September 2016)

Посебности тенка Oplot

Тенк Т-84 *Oplot* представља, у ствари, украјинску верзију тенка Т-80 који је некада представљао окосницу совјетских оклопних снага. Нажалост, Т-80 стекао је лошу репутацију због рата у Чеченији када су Чечени уништили неколико стотина ових тенкова, углавном ручним ракетним бацачима. Лоша репутација није у потпуности оправдана с обзиром на то да је уништење оволиког броја тенкова углавном проузроковано очајном тактиком руских официра који су послали колоне тенкова у маршевском поретку директно у центар Грозног. Тенковима су управљале лоше обучени резервисти, неки тенкови су послати без предвиђеног експлозивно-реактивног оклопа, као и без подршке пешадије. Тенкови су масакрирани у центру града. Тада су откривене слабости мотора Т-80, као и могућност следа секундарних експлозија граната које се налазе у каруселу аутоматског пуњача. Ове слабости су, нажалост, дошле до изражаја и у другим конфликтима у којима су коришћени руски тенкови са аутоматским пуњачем. Наведене последице довеле су до повлачења тенка Т-80 у корист јефтинијих варијанти Т-72, а касније и Т-90.

Украјина се труди да након распада Совјетског Савеза, и независно од Русије, развије своју домаћу индустрију наоружања. Развила је своју варијанту тенка Т-80 са моћнијим мотором и новом куполом под називом Т-84. Развијено је неколико варијанти овог тенка, од којих се издваја верзија Т-84 *Oplot-M* која има куполу рађену у западном стилу са најновијим украјинским сензорима и дефанзивним системима.

Oplot-M је врло покретан, има одличне сензоре и добро је заштићен активним и пасивним дефанзивним системима. Најважније је што је његова цена од 5 милиона долара много нижа од цене западних тенкова типа *Leclerc* и унапређеног америчког тенка *M1* који се продају за око 8 милиона долара.

Поређење тенка Oplot-M са руским тенком Т-90

Oplot-M може се поредити са руским Т-90, који представља побољшану верзију тенка Т-72. Тренутно, Т-90 је најновији тенк у руском арсеналу, док се чека увођење новог Т-14 у оперативну употребу. Извезен је у одређен број земаља, пре свега у Индију и Алжир (по неколико стотина комада). За разлику од тенка Т-72, Т-90 није употребљен у украјинском рату. Поређење ће бити рађено на основу модела Т-90А уместо на основу модела Т-90АМ.

Оба тенка имају посаду од три члана, али је *Oplot-M* виши – 2,8 метара, док је Т-90 задржао висину од 2,2 метра.

Oplot-M и Т-90 имају сличне топове од 125 мм са аутоматским пуњачем. Топ 2А46 са тенка Т-90 не може пробити фронтални оклоп америчког тенка *Abrams*, што се потврдило током рата у голфу 1991. године, али су Руси накнадно развили нову противтенковску муницију са пенетраторима од волфрама и осиромашеног уранијума који имају 50

Vučković, D., SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA / MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT, pp.184-206

посто већу пробојност и пробијају 650 милиметара ваљаног ојачаног челика. То значи да би такви тенкови могли пробити фронтални оклоп западних тенкова на мањим даљинама. Украјинци нису добили приступ овој муницији.

Оба тенка имају могућност лансирања вођених противтенковских ракета из тенковског топа који служе за напад на циљеве на великим даљинама и на нисколетеће хеликоптере (иако се то врло ретко дешава). Такође, оба тенка имају митраљезе калибра 12.7 мм и 7.62 мм као секундарно наоружање.

Новији модели тенкова Т-90 користе термалне камере *Caterine* на основу француске лиценце, док је *Oplot-M* опремљен домаћим системом PNT-2 упареним са масивним панорамским осматрачким уређајем PNKS-6. Тенковске дуеле обично добија онај који први уочи и погоди противника, тако да су осматрачке, нишанске справе и сензори врло важан фактор, али је тешко упоредити њихову ефикасност.

У погледу заштите композитни оклоп тенка Т-90 одговара дебљини од 600 мм ваљаног ојачаног челика у погледу заштите од поткалибарних граната са пенетратором и преко 800 мм ваљаног ојачаног челика у погледу заштите од кумулативних пројектила. Није било могуће наћи одговарајуће податке за оклоп тенка *Oplot-M,* иако се претпоставља да је сличан ниво заштите с обзиром на сличну тежину.

Тенк Т-90 опремљен је активним системом заштите (soft kill) *Shtora*-1 који детектује непријатељски ласерски вођени систем, омета га својим инфрацрвеним емитерима и затим избацује димне гранате којима омета вођену ракету. Тенк *Oplot-M* такође поседује активни систем заштите (soft kill) *Varta* који изгледа функционише на сличан начин као и руски систем *Shtora-1*.

Новији модели тенкова Т-90А опремљени су експлозивно-реактивним оклопом типа *Kontakt-5*, системом који се састоји од експлозивних плоча постављених по тенку, а који узрокују прерану детонацију долазећих бојевих глава. Оклоп *Kontakt-5* разликује се од претходних система реактивног оклопа тако што се плоче са експлозивним оклопом померају ка унутра приликом експлозије, па представља већу препреку надолазећем пројектилу. Руски извори тврде да овај оклоп повећава релативну густину оклопа тенка Т-90А за 33 процената или и више ако је питању противтенковска ракета са кумулативним пуњењем. Снимљен је сиријски тенк Т-90А који је преживео погодак противтенковском ракетом захваљујући оклопном пакету *Kontakt-5*.

Са друге стране, *Oplot-M* користи реактивни оклоп *Duplet Nozh-2,* који се састоји од слојева експлозивних пуњења у облику ножа који су наслагани једни преко других и тако усмереном експлозијом делују против долазећих пројектила. Овај систем реактивног оклопа има масу од преко 500 кг по квадратном метру покривања, па се верује да је ефикаснији од реактивног оклопа типа *Kontakt-5*. *Oplot-M* има три слоја оклопа *Duplet* на фронталном и на бочним странама куполе и два слоја на предњем делу

трупа и горњем делу куполе. Ова врста оклопа је, пре свега, намењена онеспособљавању противтенковских ракета са тандем-пуњењем.

Oplot-M је, такође, опремљен и системом активне заштите (hard kill) *Zaslon* који се састоји од радара који открива долазеће пројектиле и лансира експлозивни пројектил. Систем *Zaslon* карактерише време реакције од само 0,1 секунде и ефикасан је против ракета из ручних бацача и противтенковских вођених ракета. Али, није ефикасан у заустављању тенковских граната.

Русија је, такође, развила нови систем (hard kill) активне заштите *Avghanit* за свој нови тенк Т-14 који је наводно ефикасан и против тенковских поткалибарних пројектила. Тенк Т-90 А није опремљен овим системом.

Oplot-M има 25 процената већу мобилност у сегменту мобилности, односно максимална брзина му је 70 км на сат, а Т-90 А развија брзину 60 км на сат. Може се закључити да је тенк *Oplot-M* једнак ако није и незнатно бољи од руског тенка Т-90 А. Међутим, било која војска може имати користи од тенкова само уколико их има у већем броју, а по том питању долазимо до поразног сазнања. Руска војска има око 500 тенкова Т-90 у оперативној употреби, а украјинска војска укупно десет тенкова *Oplot-M*.

Тајланд тражи украјински супертенк

Тајланд не спада у велике кориснике тенковских јединица, али су ипак доживели ватрено крштење. Током 2001. године тајландски тенкови америчког порекла M60A3 *Patton* ушли су у размену ватре са тенковима војске Мијанмара кинеског порекла *Type 69*. Током жестоког сукоба који се дешавао близу граничне базе 9631 у Тајланду тенковске јединице Мијанмара доживеле су пораз.

Касније, током 2008. године, тајландске трупе ушле су у сукоб са камбоџанским војницима око храма Preah Vihear који се налази на самој граници између две земље. Сукоб је ескалирао, па су у борбу уведени и тенкови. Није било прецизних података о губицима.

Краљевска тајландска армија поручила је 49 тенкова типа *Oplot-M* током 2011. године, вероватно због комбинације повољне цене и добре оклопне заштите. Међутим, до 2014. године фабрика у Харкову испоручила је само пет тенкова. Извештаји наводе да је потребно између 14 и 17 месеци за комплетирање једног тенка. Неки коментатори коментарисали су такве податке и као разлог навели неефикасност и корупцију у украјинској индустрији.

Зашто Кијев не тражи тенкове за своје потребе?

С обзиром на ситуацију у Украјини, односно на губитак источног дела земље, поставља се логично питање зашто војне снаге Украјине нису тражиле тенкове *Oplot-M* за своје потребе.

Године 2015. Сергеј Пинкас, представник министарства одбране, изјавио је да је разлог финансијске природе. За цену једног тенка *Oplot-M,* од пет милиона долара, могуће је модернизовати десет тенкова Т-64 на врло ефикасни стандард *BULAT*. Са друге стране, цинични коментатори то виде као доказ да Кијев тражи искључиво профит на рачун (не)преживљавања својих тенковских посада.

Могуће је наћи и финансијску логику у оваквом приступу. Украјинска војска имала би веће користи од модернизовања и поправке своје велике флоте тенкова Т-64 уместо великог трошка набавке мање количине нових тенкова. Пакет модернизације *BULAT* обухвата опремање тенка Т-64 новим реактивним оклопом и модернизованим топом.

Чини се да украјинска влада покушава да стабилизује своје финансијске токове и модернизује своје тенковске снаге током дужег периода уместо да тражи нека моментална решења.

Украјина је започела и нове амбициозније пројекте, као што је програм TIREX који предвиђа производњу тенка са беспосадном куполом Т-64BV, а планирана је и производња и испорука серије од 50 тенкова *Oplot-M* након што буду испоручени примерци за тајландску војску.

Драган М. Вучковић (*Dragan* M. Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1620-5601

Русија развија напредну ваздушно-распрскавајућу муницију[2]

У вези с руским развојем ваздушно-распрскавајуће муниције за топове 30 и 57 мм појавили су се нови детаљи. Ради се о пројектилу (HEAB – high explosive air-bursting), односно високо експлозивно-распрскавајућој гранати, што Запад назива ABM Air-Bursting Munition, односно ваздушно-распрскавајућа муниција.

До сада је било информација о развоју напредне муниције за топ 57 мм S-60 који се налази на даљински управљаној куполи AU-220M *Baikal*, али је то први пут да се помиње иста врста муниције за топ мањег калибра од 30 мм.

Ваздушно-распрскавајућа муниција намењена је за употребу борбених возила пешадије које су наоружане топовима 2А42 и 2А72 од 30 мм. Ради поједностављења интеграције нове муниције промене ће обухватити само систем за управљање ватром, као и нишански систем, али неће бити никаквих адаптација постојећег оружног система.

[2] Jane's International Defence Review (June 2017)

Спољашност борбених возила неће бити измењена, осим када је у питању сама нишанска справа. Неће бити никаквих измена топа нити постоља.

BTR-82A наоружан топом 2A72 од 30 мм

Нишански систем који функционише у спрези са новом ваздушно-распрскавајућом муницијом има ознаку TKN-4GA-02 компаније JSG ROMZ и представља модификацију система TKN-4GA-01. Ова врста нишанског уређаја може бити монтирана на следећа возила: BTR-80, BTR-82, BTR-82A BMP, BMD, MT-LBM, и на борбена возила класе PT. Нишански систем са уграђеном термалном камером носи ознаку TKN-4GA-03.

Нишански уређај TKN-4GA-02 састоји се од два примарна подсистема – оптичког нишана и система за програмирање пројектила. Оптички нишански систем састоји од два канала, обичног оптичког и канала за интензификацију слике. Оба канала могу се користити одвојено или заједнички. Систем за програмирање KDY VPS састоји се од програмабилног упаљача пројектила, означивача бљеска пројектила и балистичког компјутера. Програмабилни упаљач пројектила, ознаке LPI KDY VPS, употребљава ласер за програмирање упаљача ваздушно-распрскавајућег пројектила који функционише на таласној дужини блиској инфрацрвеном спектру од 900 nm, док су димензије снопа 2X2 степена.

Ласер ради на 500 пулсева у секунди (слично максималној каденци ватре топа), а дужина сваког пулса је од 200 до 350 ns са енергетском вредношћу једнаком једном џулу. Велика снага и таласна дужина ласера значи да систем може лако оштетити незаштићено око.

Обележивач бљеска пројектила, ознаке BRVP, користи електрооптички систем за детектовање бљеска приликом детонације пројектила. Детектор бљеска покрива видно поље од 15X15 степени и прати експлозију пројектила у инфрацрвеној таласној дужини. Обележивач бљеска открива детонације на даљинама до 6.000 метара.

Детаљи у вези с балистичким компјутером нису доступни, али се претпоставља да се уносе подаци о даљини мете, покрету возила/топа, позицији возила са метеоролошким подацима, па се израчунава нишанска тачка и временски размак детонације. Није јасно да ли је ласерски даљиномер део система или не, али је он интегрисан у приказаним верзијама нишанских справа.

Ваздушно-распрскавајућа муниција носи ознаку 3OF23 и део је породице муниције 30X165 која се користи за употребу у акцијама на копну, мору и ваздушном простору. Ова граната састоји се од пројектила масе 390 г и челичне чауре. Чаура се пуни експлозивним пуњењем која омогућује брзину пројектила до 960 м/с при изласку из цеви топа дужине до 2,4 м. Врх пројектила је прекривен малим балистичким заштитником и садржи програмабилни упаљач. Граната је напуњена са 40 г високоексплозивног пуњења. Упаљач има мали прозор од сафирног стакла који му омогућава примање ласерског сигнала за програмирање.

Није познато да ли је врх пројектила заштићен приликом испаљивања из цеви топа или је директно изложен пропулзивним гасовима. Упаљач може бити програмиран за експлозију у интервалима од 0,1 до 13 секунди. Уколико програмабилни систем закаже долази до самоуништења пројектила након 13 секунди. Временски интервал од 0,1 секунде једнак је минималној даљини дејствовања од 100 м, док време од 13 секунди представља максимални домет до 4.000 м. Пројектил је обојен у тамносиву боју, док је заштитни прекривач обојен у светлију нијансу сиве боје.

Приликом употребе мери се даљина мете и израчунава време лета. Ова информација користи се за програмирање упаљача путем кодираног ласерског сигнала. Након што је програмиран, упаљач врши детонацију у тражено време изнад мете ради постизања максималног ефекта.

Драган М. Вучковић (*Dragan* M. Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1620-5601

Процена новог кинеског разарача[3]

Несумњиво је да ће нови кинески разарач класе Type 055 бити најмоћнији ратни брод кинеске морнарице. Питање је како се он носи са својим америчким, јапанским и јужнокорејским супарницима?

Поринуће првог разарача класе Type 055 представља значајну прекретницу у развоју морнарице кинеске народноослободилачке војске.

Поринуће првог разарача класе Type 055

Type 055 представља увећану верзију најмодернијег кинеског разарача класе *Luyang III* (Type 052D) којих има пет у оперативној употреби, а још је девет у изградњи.

Оба модела наоружана су топом 130 мм, вишецевним топовима за блиско пресретање 30 мм, противваздушним ракетним системом HHQ-10, радаром Type 346A *Dragon Eye* као и сонаром уграђеним у трупу брода. Обе класе имају исте троструке лансере торпеда, као и вучене активне и пасивне сонарне системе.

Кинески медији наводе да је носивост нове класе разарача 10.000 тона, што је 40% више од разарача класе Type 052D. Нови разарач има већи капацитет хеликоптерског хангара, односно два одвојена хангара за два хеликоптера, као што је хеликоптер средње носивости *Harbin* Z-20. Врло је значајно да је број ракетних спремишта за вертикални систем лансирања разарача повећан.

Иако још нису инсталирани сви сензорски системи већ су очигледне разлике у односу на разарач класе Type 052D. Није инсталиран радар Type 517B *Knife Rest* који ради у режиму VHF/A. Иако се ради о старијем дизајну радара он је и даље у оперативној употреби с обзиром на то да може открити „невидљиве" авионе.

[3] Jane's Defence Weekly, 12 July 2017

Такође, није инсталиран ни радар за претраживање ваздушног и поморског простора Type 364 који ради у режиму G/H-Band (IEEE C/X-band), као ни активно/пасивни радар дугог домета Type 366 *Mineral*са радом у режиму ME/„Bandstand“.
Измењени су и дизајни пасивних и активних електронских система за противмере.

Са друге стране, евидентно је да је инсталиран одређен број нових електронских система на новом разарачу који ће вероватно потпуно заменити старију опрему. Један део ове опреме налази се на новом интегрисаном торњу на белим панелима испод командног моста, као и на хеликоптерским хангарима.

Четири панела налазе се на интегрисаном торњу, али су мањи од јединица радарских фазираних решетки које се налазе у оквиру радарског система 346A које су инсталиране око и испод командног моста, што веома личи на радарски систем инсталиран на најновијем америчком носачу авиона *Gerald R. Ford*.

Иако нови разарач Type 055 има два пута већи број вертикалних лансера ракета у односу на разарач класе Type 052D, ради се о истим универзалним лансерима, без обзира на то што ће, по наводима кинеских медија, бити опремљени новом генерацијом противваздушних, противбродских, као и противракетних ракета.

Амерички разарач класе Arleigh Burke

Поставља се питање како ће се нови разарач носити са супарницима у које спадају амерички разарач класе *Arleigh Burke,* америчка крстарица класе*Ticonderoga*, јапански разарач класе *Atago,* као и јужнокорејски

разарач класе *Sejong Daewang* KDX-3 који су опремљени борбеним системима *Aegis*.

Америчка крстарица класеTiconderoga

Сви ови бродови имају велики број вертикалних ракетних лансера, што је врло важно с обзиром на то да их је немогуће допунити на отвореном мору. Корејски разарач класе *Sejong Daewang* има 128 лансера, америчка крстарица класе*Ticonderoga* има 122 лансера, док разарачи класе *Atago* и *Arleigh Burke* имају по 96 лансера. Иако још није потврђено, спекулише се да ће кинески разарач Type 055 имати 112 лансера.

Јапански разарач класе Atago

Осим корејског разарача који је ограничен на лансирање локално произведених ракета из 48 лансера, сви остали разарачи имају универзалне лансере који могу испаљивати било коју ракету коју борбени систем може водити.

За бродове којима управља борбени систем *Aegis* основна ракета за противваздушну борбу је ракета типа SM-2 која пресреће ваздушне мете на даљинама до 129 и 370 км и на висинама до 20, односно до 32 км висине. Очекује се да ће разарач класе Type 055 лансирати ракете типа HHQ-9B, као што су оне којима је наоружан разарач класе Type 052D, односно на максималним даљинама до 185 км и на висинама до 27 км.

Приоритет разарача је лансирање противбродских ракета, као што су вертикално лансиране ракете типа YJ-18A које имају домет до 537 км. Јужнокорејски разарач класе *Sejong Daewang* наоружан је ракетама типа SSM-700K *Haesong*, америчка крстарица класе*Ticonderoga* наоружана је са осам ракета брод-брод типа *Harpoon*, јапански разарач класе *Atago* наоружан је, такође, са осам ракета типа *Mitsubishi* Type 90 SSM-1N, док амерички разарач класе Flight IIA *Arleigh Burke* није наоружан ракетама брод-брод.

Јужнокорејски разарач класе Sejong Daewang

У складу са јапанским уставним ограничењем, разарачи класе *Atago* немају могућност напада на копнене циљеве, али је зато јужнокорејски разарач класе *Sejong Daewang* опремљен крстарећим ракетама типа *Hyunmoo-3*, амерички бродови крстарећим ракетама типа *Tomahawk,* док

ће нови кинески разарач Type 055 бити опремљен домаћом верзијом крстарећих ракета типа CJ-10.

Приоритет америчких разарача класе *Arleigh Burke* јесте борба против балистичких ракета, па је брод опремљен ракетним пресретачима типа SM-3. Америчке крстарице класе *Ticonderoga,* као и јапански разарач класе *Atago,* такође су опремљени овим типом ракета, а очекује се да ће и јужнокорејски разарач имати исте ракете у неко догледно време. С тим у вези, још увек се не зна да ли ће и нови кинески разарач бити опремљен ракетама за одбрану од балистичких пројектила или ће у једном тренутку имати и ракете за обарање противничких сателита.

Топови за блиско пресретање противничких ракета на јужнокорејском и кинеском разарачу спрегнути су са лансерима противваздушних ракета кратког домета.

Амерички бродови класе *Arleigh Burke* и *Ticonderoga* наоружани су противваздушним ракетама кратког и средњег домета RIM-162 *Evolved Sea Sparrow* које су ефикасне на даљинама до 55 км. Четири ракете овог типа спаковане су у један вертикални лансер. Јапански разарач класе *Atago* није опремљен овим системима.

Разарачи класе *Flight I u II Arleigh Burke* опремљени су једним полетно-слетним местом, али немају хангар, па и не носе сваки пут хеликоптер. Јапански разарач класе *Atago* носи један хеликоптер, док крстарица класе *Ticonderoga*, разарач класе *Sejong Daewang,* као и Type 055 могу носити по два хеликоптера. У случају кинеског разарача ради се о хеликоптерима типа Z-20 и Z-9 који су опремљени сонаром или торпедима.

Сви поменути бродови опремљени су сонарима монтираним у трупу. Јапански разарач класе *Atago* нема вучни сонар за разлику од других бродова ове класе, а потврђено је да кинески разарач има сонар варијабилне дубине. Претпоставља се да је боље опремљен за противподморничку борбу у односу на остале бродове ове класе.

Кинески разарач Type 055 наоружан је противподморничком ракетом Yu-8 *Sejong*, корејски разарач *Daewang* противподморничком ракетом типа *Red Shark* K-ASROC, док су остали бродови наоружани ракетама типа RUM-139 ASROC.

Борбени систем *Aegis* израђен је на основу радара са фазираном решетком AN-SPY1, тако да је главно питање како ће се овај радар носити са радаром Type 346 Type 055

Прва верзија радара SPY1A уведена је у оперативну употребу 1988. године на америчкој крстарици *Ticonderoga*. Нови бродови из ове класе опремљени су радаром SPY1B који је имао бољу електронику и боље перформансе.

Разарачи класе *Arleigh Burke, Atago* и *Sejong Daewang* опремљени су радарима типа SPY1D који су први пут били инсталирани на америчком разарачу класе DDG-51. Све верзије радара SPY-1 користе пасивно електронско скенирање (passive elecronically scanned array – PESA), док

радар типа 346 на кинеском разарачу Type 052C користи систем активног електронског скенирања (active electronically scanned array – AESA).
Иако радар типа AESA не обезбеђује јасне предности у односу на радар типа PESA, ипак се ради о имплементацији модерне технологије са већом употребом модернијих компоненти и пружа многе предности у команди и контроли ракете.

Још један критичан фактор у поређењу перформанси борбених система је њихова потенцијална интеграција компонената из отворених софтверских извора. Медијски извештаји указују на то да су Кинези остварили значајан напредак у овој области, тако да тврдња да је кинески разарач класе Type 055 један од најмодернијих разарача више није тако невероватна.

Драган М. Вучковић (*Dragan* M. Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1620-5601

Нови топ за француски тенк Leclerc[4]

У лето 2016. године француски магазин „Trucks&Tanks magazine" објавио је интересантне фотографије тенка Leclerc обојеног у нову камуфлажну шему Scorpion са огромним топом од 140 мм.

Велики топ са глатком цеви први пут је уграђен у експерименталну тенковску куполу Т4 коју су 1996. године израдиле француске компаније GIAT и „Bourges arsenal". Међутим, након првих тестирања француска војска је одложила куполу са стране, док 2015. године није одлучено да се она инсталира на шасију тенка за извлачење *Leclerc* MARS.

Нови тенк од 60 тона носивости назван је *Terminateur*. Возило носи 22 или 32 огромне дводелне гранате од по 1,5 м дужине. Извршена су тестирања аутоматског пуњача, као и отварања ватре приликом кретања.

Постоје три примарна метода унапређења пробојности тенковских граната: већи дијаметар гранате (што побољшава ефикасност кинетичких пенетратора и кумулативних бојевих глава), дужа топовска цев која омогућава постизање веће брзине кинетичких пенетратора и унапређене муниције. Трећи приступ је и најпопуларнији, јер није потребно вршити било какве измене на самом тенку, а и најјефтинији је.

[4] The National Interest, August 8, 2017

Од краја хладног рата повећани су калибри тенковских топова на 120, односно 125 мм. Међутим, још осамдесетих година и НАТО и Варшавски пакт разматрали су идеју о још већим тенковским калибрима од 140 и 152 мм. У теорији је владало мишљење да би прелазак са калибра 120 на калибар 140 мм дуплирао ефекат кинетичке енергије на циљу.

Пред крај хладног рата Француска, Немачка и САД заједно су разматрале пројекат под називом „Будуће тенковско наоружање" у оквиру којег су разматрана разна експериментална оружја као што су електротермално-хемијски топ, као и електромагнетски топ. Све државе су се сложиле да је повећани калибар тенковског топа од 140 мм најједноставније решење, тако да су три државе одлучиле да покушају инсталацију таквог топа на своје тенкове, што је резултирало појавом експерименталног америчког тенка M1 CATTB *Thumpe*r и немачког тенка *Leopard 2*-140.

Међутим, ипак су војне власти одолеле прихватању већег и много тежег топа на својим тенковима. Веће гранате значе мањи борбени комплет и тежу шасију која би могла боље амортизовати већи трзај, што је значило масу од 60 тона за амерички тенк са топом од 140 мм. Уместо тога, најновији модели америчког поткалибарног пројектила M829, који користе амерички тенкови M1A2, пробијају оклоп од 540 до 800 мм панцирног челика без повећања дијаметра тенковске гранате.

Током голфског рата 1991. показало се да су западни топови од 120 мм били више него довољни за пробијање тада најмодернијих руских тенкова Т-72.

Међутим, појава новог руског тенка Т-14 *Armata* потпуно је променила начин размишљања НАТО стратега. Руски медији тврде да је предњи део тенка једнак заштити до једног метра ваљаног хомогеног челика, док се спекулише да је оклоп безпосадне куполе ипак тањи. Уз руско заузимање Крима то је утицало на значајну промену у размишљању војних стратега који су на прво место ставили одбрану од руских тенкова.

Треба рећи да је *Terminateur* само технолошки демонстратор, а не прототип новог тенка што не значи да је француска војска одлучила да инсталира нове топове од 140 мм на својих две стотине тенкова *Leclerc*. Уместо тога ова возила пролазе кроз програм модернизације који ће трајати до 2020. године и у оквиру којег ће бити инсталирани нови системи за управљање, командни и контролни системи, даљински управљана оружна станица са митраљезом, модуларни оклоп, ометачи импровизованих екслозивних направа и уведена нова тенковска граната са ваздушно-распрскавајућом муницијом. Оваква модернизација спроведена је имајући у виду борбу против побуњеника и градску борбу, а никако борбу против непријатељевих тенкова.

Међутим, јасно је да *Terminateur* наводи на то да се у Европи размишља о тенковском дизајну. Француска и Немачка желеле би да одрже технолошки напредак на својим скромним тенковским флотама,

али се противе употреби америчких поткалибарних пројектила са врхом од осиромашеног уранијума. Компанија *Rheinmetall*је развила је нови моћни топ од 130 мм са цеви дужине 51 калибра која би омогућила 50% већу пенетрацију тенковских оклопа. Овакав топ могао би бити инсталиран на тенк *Leopard 2,* а могао би послужити и као топ нове генерације француско-немачких тенкова под називом *Main Ground Combat System* који би требало да уђе у производњу након 2020. године.

Не очекује се да ће иједна европска земља набавити нове тенковске топове пре те године, што показује и одлука владе новог француског председника Макрона која је одлучила да смањи одбрамбени буџет, што је проузроковало и оставку француског генерала Пијера де Вилијерса. Русија је такође смањила одбрамбени буџет, тако да ће проћи још много времена док се не појаве значајније верзије нових тенкова Т-14, што показује и убрзавање програма модернизације Т-72 на верзије Т-72B3M.

Велика Британија је такође тестирала већи тенковски топ од 140 мм на свом тенку *Chieftain,* као што је и Кина развила нови топ од 140 мм за свој тенк Type 99, али за сада се сматра да су велики топови непрактични и непотребни, па ће и француски тенк *Terminateur* вероватно сачекати нека боља времена.

Драган М. Вучковић (*Dragan* M. Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1620-5601

Српско наоружање у страним медијима

Војна индустрија Србије је током 2017. године постала редован гост познатих и специјализованих војних веб сајтова. Од сајма наоружања „Партнер 2017". који је одржан у јуну 2017. године, производи српске војне индустрије пуне стране веб сајтове.

Веб сајт http://worlddefencenews објавио је 28. јуна 2017. године вест о артиљеријском систему Шумадија, у којем се наводи да се ради о новом вишецевном лансеру ракета (ВЛР) и пројектила на шасији камиона *Татра* са четири осовине (8Х8). Нови ВЛР је монтиран на истој шасији на којој је монтирана и хаубица Нора Б-52.

На сајму наоружања „Партнер 2017" приказани систем Шумадија опремљен је четвороцевним ракетним лансером, али постоје два типа лансера, од којих један испаљује невођену ракету *Јерина* 2, калибра 267 мм, са фрагментационом бојевом главом масе до 110 кг, максималног домета до 75 км, док други испаљује пројектил Јерина 2 са сателитским навођењем, фрагментационом бојевом главом масе до 20 кг и дометом до 285 км.

Артиљеријски систем Шумадија

Лансирно возило опремљено је кабином из које се може водити лансирање, а сама кабина оклопљена је и штити од ватре пешадијског наоружања и парчади граната.

Исти артиљеријски систем поменут је и на веб сајту http://defence-blog.com.

Под насловом „Светска премијера" веб сајт http://worlddefencenews објављује вест о приказу нове самоходне хаубице 155 мм Александар са потпуно аутоматизованим системом пуњења. Возило је базирано на породици самоходних хаубица Нора Б-52, а пројектовано је у државној компанији „Југоимпорт" СДПР.

У тексту се наводи да је *Александар* сличан систему Нора Б-52, да се налази на истој шасији камиона *Татра* са погоном на све четири осовине (8Х8), али да је задња купола скинута и замењена потпуно аутоматизованим системом пуњења са 12 граната спремним за паљбу.

Нова самоходна хаубица 155 мм Александар

Ради повећања брзине пуњења, 12 додатних граната смештено је у магацин који се налази на задњој страни кабине посаде, а пуњење се врши у року од неколико секунди.

Артиљеријски систем *Александар* има максималну даљину гађања до 32,5 км са стандардном муницијом и 52 км са новом генерацијом артиљеријских пројектила HE ERFB RA/BB (VLAP) врло великог домета, који се производе за модерне вучне и самоходне топ-хаубице дужине цеви од 39, 45 и 52 калибара.

Исти сајт објављује вест и о ракетном систему обалске одбране ALAS-S на возилу NIMR у конфигурацији 6x6, произвођача из Уједињених Арапских Емирата.

Ракетни систем обалске одбране ALAS-S

У чланку се наводи да су оружане снаге Уједињених Арапских Емирата заинтересоване за нови ракетни систем обалске одбране, па је компанија „Југоимпорт" СДПР развила поморску верзију ракете ALAS под називом ALAS-S .

Ракету ALAS покреће комбинација ракетног мотора са чврстим горивом и турбоџет мотор TMM-040. Ракета се испаљује под елевацијом не мањом од 60 степени уз помоћ ракетног мотора, која доводи ракету на висину од 300 м, након чега се активира турбоџет мотор. Максимални домет ракете је 25 км, а могуће је да се повећа до 60 км. Максимална брзина ракете је 180 м/с.

Лансирно возило ALAS-S базирано је на платформи возила NIMR 6x6 са шест контејнера са два реда по три ракете.

Батерија система ALAS-S састоји се од командног возила и четири лансирна возила. Командно возило такође је засновано на платформи NIMR 6x6 са заштићеном кабином на задњем крају возила које је опремљено радаром, радио-уређајем и комуникационим системом.

Систем ALAS-S спреман је за производњу и ускоро се припрема тестирање за потребе оружаних снага УАЕ.

Исти веб сајт објавио је вест о новом српском вучном вишецевном лансеру невођених ракета М16 од 107 мм за напад на мете високе вредности на копну и на мору.

Вишецевни лансер ракета (ВЛР) 107 мм има укупно 32 лансирне цеви у четири реда по осам цеви. Системом управља посада од шест чланова и може се преместити на другу ватрену позицију у року од два минута.

Празно лансирно оруђе има масу до 1.258, а са ракетама 1.850 кг. Превођење система из маршевског у борбени положај траје седам минута, а поново се пуни за три минута.

Једна од основних одлика ВЛР 107 мм М16 је полуаутоматски систем окретања и елевације, што је омогућено аутоматским механизмом и независним погонским системом који омогућују окретање и елевацију ВЛР путем џојстика са прецизношћу до 1 мм.

ВЛР 107 мм М16

Опремљен је и електронским окидачем који омогућава бирање рафалне или јединачне паљбе и увећава безбедност транспорта напуњеног лансера. Приликом јединачне паљбе ВЛР испаљује три до пет ракета у минути, док у рафалној паљби 32 ракете могу бити испаљене у времену од 0, 3 до 1,5 секунде.

Максимални домет ВЛР М16 је 8.600 м, дужина ракете је 827 мм, маса до 18,6 кг и бојева глава до 1,25 кг.

Vučković, D., SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA / MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT, pp.184-206

Сајт http://worlddefencenews објавио је чланак о новом противваздухопловном систему кратког домета PASARS.

Нови противваздухопловни систем кратког домета PASARS

PASARS је базиран на камиону FAP 2026 у конфигурацији 6x6 са оклопљеном двоседном кабином која штити од зрна калибра до 12.7 мм и парчади граната. На задњем крају возила налази се купола наоружана аутоматским топом L/70 Bofors 40mm и са две ракете земља-ваздух RLN-1C.

Ракета RLN-1C је базирана на руској ракети ваздух-ваздух R-13M кратког домета којом је наоружан ловац Mig-21. Ракета је модернизована новом инфрацрвеном самонавођеном главом са новом бојевом главом опремљеном ласерским близинским упаљачем и додатним ракетним мотором.

Аутоматски топ L/70 Bofors 40mm има каденцу гађања од 320 граната у минути и ефикасни домет до 4.000 м против земаљских циљева и циљева у ваздушном простору.

Систем PASARS има посаду од четири војника, а командир и возач налазе се у кабини. Оружана станица на куполи има два члана посаде који контролишу топ и лансирање ракета. Купола се окреће за 360 степени са елевацијом од -3 до 90 степени.

Ракета RLN-1C има максимални домет до 12.000 м, масу до 125 кг и бојеву главу до 11 кг. Оператер закључава ваздушну мету и лансира ракету која се наводи путем инфрацрвеног трагача.

Поменути веб сајт објавио је и чланак о модернизованом вишецевном лансеру ракета *Огањ.*

Модернизовани вишецевни лансер ракета (ВЛР) Огањ

Модернизовани Огањ монтиран је на камион FAP 2026 у конфигурацији 6x6 са новом оклопљеном кабином отпорном на муницију до 12.7 мм и парчад граната.

У кабини се налазе четири члана посаде. Кабина је опремљена прозорима који пружају заштиту од муниције калибра до 12.7 мм, док је на крову монтиран тешки митраљез 12.7 мм.

Задњи крај камиона опремљен је лансирном станицом која се окреће за 360 степени. Модернизовани *Огањ* употребљава ракете *Кошава 1* и *Кошава 2* домета до 50 км, а може бити опремљен и вођеним противтенковским ракетама ALAS. Нови *Огањ* може користити и ракетни контејнер *Морава*.

Возило је опремљено и најновијом генерацијом нишанских уређаја укључујући инерцијалну навигацију, сателитску навигацију и систем за управљање ватром. Нова командна јединица укључује дигиталну контролу уместо аналогних серво уређаја.

Сајт http://worldefencenews објавио је чланке о још неколико нових производа српске војне индустрије, као што су: брод M-RIB 17, борбено возило пешадије *Лазар 3,* преносиви радар за осматрање копна PR-15, нова модуларна аутоматска пушка у калибру 6.5x39mm и 7.62x39mm, којом ће бити наоружани припадници специјалних јединица,

Vučković, D., SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA / MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT, pp.184-206

модернизовани BVP M-80AB1 са топом од 30 мм, модернизована верзија тенка M-84AS1 и други производи војне индустрије.

Сајт у http://defence-blog.com објавио је и нове информације које се односе на српске ракете Кошава 1, планирање опремања српских копнених снага беспилотним копненим возилом Милош, намеру српског министарства одбране да набави снајперске пушке M07, док је познати специјализовани војни веб сајт http://www.janes.com објавио податке о пројекту опремања 1.500 војника новим униформама, модуларним пушкама, уређајима за ноћно осматрање, новим комуникационим уређајима, новим личним заштитним оклопима и другим новинама у српској војној индустрији који су већ обрађени на другим веб сајтовима који се баве овом проблематиком.

Драган М. Вучковић (*Dragan* M. Vučković),
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs,
ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1620-5601

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА
ПРИГЛАШЕНИЕ И ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ РАБОТ
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

ПОЗИВ И УПУТСТВО АУТОРИМА О НАЧИНУ ПРИПРЕМЕ ЧЛАНКА

Упутство ауторима о начину припреме чланка за објављивање у *Војнотехничком гласнику* урађено је на основу Акта о уређивању научних часописа, Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, евиденциони број 110-00-17/2009-01, од 09. 07. 2009. године. Примена овог Акта првенствено служи унапређењу квалитета домаћих часописа и њиховог потпунијег укључивања у међународни систем размене научних информација. Засновано је на међународним стандардима ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 и ISO 5122, односно одговарајућим домаћим стандардима.

Војнотехнички гласник / Vojnotehnički glasnik / Military Technical Courier (втг.мо.упр.срб, www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – штампано издање, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) јесте мултидисциплинарни научни часопис Министарства одбране Републике Србије, који објављује научне и стручне чланке, као и техничке информације о савременим системима наоружања и савременим војним технологијама. Часопис прати јединствену интервидовску техничку подршку Војске на принципу логистичке системске подршке, области основних, примењених и развојних истраживања, као и производњу и употребу средстава наоружања и војне опреме, 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 2016. годину:

за област технолошки развој:

– на листи часописа за материјале и хемијске технологије:

категорија водећи научни часопис националног значаја **(М51)**,

– на листи часописа за електронику, телекомуникације и информационе технологије:

категорија научни часопис националног значаја **(М52)**,

– на листи часописа за машинство:

категорија научни часопис националног значаја **(М52)**,

за област основна истраживања:

– на листи часописа за математику, рачунарске науке и механику:

категорија научни часопис националног значаја **(М52)**.

Усвојене листе домаћих часописа за 2016. 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 2017. 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 (категорија М51) и 1,5 бод (категорија 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 АСИСТЕНТ, 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 АСИСТЕНТ 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 – АСИСТЕНТ.

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, руском и енглеском језику (arial, српска ћирилица или српска латиница, величина слова 11 pt, проред Single).

Поступак припреме, писања и уређивања чланка треба да буде у сагласности са **Изјавом о етичком поступању** (http://www.vtg.mod.gov.rs/izjava-o-etickom-postupanju.html).

Чланак треба да садржи сажетак са кључним речима, увод, разраду, закључак, литературу и резиме са кључним речима на енглеском језику (без нумерације наслова и поднаслова). Обим чланка треба да буде око једног ауторског табака (16 страница формата А4 са проредом Single), а највише 24 странице.

Чланак треба да буде написан на обрасцу за писање чланка, који се у електронској форми може преузети са сајта на страници Образац за писање чланка.

Наслов

Наслов треба да одражава тему чланка. У интересу је часописа и аутора да се користе речи прикладне за индексирање и претраживање. Ако таквих речи нема у наслову, пожељно је да се придода и поднаслов. Наслов треба да буде преведен и на енглески језик.

Ови наслови исписују се испред сажетка на одговарајућем језику.

Текући наслов

Текући наслов се исписује са стране сваке странице чланка ради лакше идентификације, посебно копија чланака у електронском облику. Садржи презиме и иницијал имена аутора (ако аутора има више, преостали се означавају са „et al.“ или „и др.“), наслове рада и часописа и колацију (година, волумен, свеска, почетна и завршна страница). Наслови часописа и чланка могу се дати у скраћеном облику.

Име аутора

Наводи се пуно име и презиме (свих) аутора. Веома је пожељно да се наведу и средња слова аутора. Имена и презимена домаћих аутора увек се исписују у оригиналном облику (са српским дијакритичким знаковима), независно од језика на којем је написан рад.

Назив установе аутора (афилијација)

Наводи се пун (званични) назив и седиште установе у којој је аутор запослен, а евентуално и назив установе у којој је аутор обавио истраживање. У сложеним организацијама наводи се укупна хијерархија (нпр. Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Катедра природно-математичких наука). Бар једна организација у хијерархији мора бити правно лице. Ако аутора има више, а неки потичу из исте установе, мора се, посебним ознакама или на други начин, назначити из које од наведених установа потиче сваки од наведених аутора. Афилијација се исписује непосредно након имена аутора. Функција и звање аутора се не наводе.

Контакт подаци

Адреса или е-адреса свих аутора даје се на првој страници чланка.

Категорија (тип) чланка

Категоризација чланака обавеза је уредништва и од посебне је важности. Категорију чланка могу предлагати рецензенти и чланови уредништва, односно уредници рубрика, али одговорност за категоризацију сноси искључиво главни уредник.

Чланци у часописима се разврставају у следеће категорије:

Научни чланци:

1. оригиналан научни чланак (рад у којем се износе претходно необјављивани резултати сопствених истраживања научним методом);

2. прегледни чланак (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 чланак (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, руски или енглески.

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 поднаслова, 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 АСИСТЕНТ 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 поменутим упутством.

Систем АСИСТЕНТ у сврху контроле навођења (цитирања) у тексту користи специјалну алатку CiteMatcher: откривање изостављених цитата у тексту рада и у попису референци.

Напомене (фусноте)

Напомене се дају при дну стране на којој се налази текст на који се односе. Могу садржати мање важне детаље, допунска објашњења, назнаке о коришћеним

изворима (на пример, научној грађи, приручницима), али не могу бити замена за цитирану литературу.

Листа референци (литература)

Цитирана литература обухвата, по правилу, библиографске изворе (чланке, монографије и сл.) и даје се искључиво у засебном одељку чланка, у виду листе референци. Референце се не преводе на језик рада и набрајају се у посебном одељку на крају чланка.

Војнотехнички гласник, као начин исписа литературе, примењује Харвардски систем референци, односно Харвардски приручник за стил (Harvard Referencing System, Harvard Style Manual).

Литература се обавезно пише на латиничном писму и набраја по абецедном редоследу, наводећи најпре презимена аутора, без нумерације.

Детаљно упутство о начину пописа референци, са примерима, дато је на страници сајта Упутство за Харвардски приручник за стил. Потребно је да се попис литературе на крају чланка уради у складу са поменутим упутством.

Нестандардно, непотпуно или недоследно навођење литературе у системима вредновања часописа сматра се довољним разлогом за оспоравање научног статуса часописа.

Систем АСИСТЕНТ 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.

Главни и одговорни 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 развтия Республики Сербия, № 110-00-17/2009-01 от 09.07.2009 г. Применением этого Акта, в первую очередь, обеспечивается совершенствование качества отечественных жуналов 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 межвидовой технической поддержкой вооруженных сил, основанной на принципах системной логистики, за прикладными и инновационными научными исследованиями, в том числе, в области производства вооружения и военной техники, и за прочими теоретическими и практическими достижениями, которые способствуют профессиональному росту представителей сербского, регионального и международного академического сообщества, и особенно военнослужащих Министерства Обороны и Вооружённых сил Республики Сербия.

Министерство образования, науки и технологического развития Республики Сербия, согласно решению принятому в соотвествии со 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, утверждило категоризацию «Военно-технического вестника» за 2016 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 2016 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 2017 год.).

Более подробную информацию можно найти 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, утвержденного 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 М51) и 1,5 баллов (категория М52).

Журнал соответствует стандартам Сербского индекса научного цитирования (СЦИндекс/SCIndeks) - наукометрической базы данных научных журналов Республики Сербия, а также Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Журнал постоянно подвергается мониторингу и оценивается количественными наукометрическими показателями отражающими его научную ценность, в т.ч. опосредованно в международных индексах цитирования (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 путём online системой e-Ур: Электронное издательство - ASSISTANT, запущенной Центром поддержи развития образования и науки (ЦПРОН).

Права доступа и регистрация в системе оформляются по адресу http://www.vtg.mod.gov.rs/index-ru.html, через страницу «ASSISTANT» 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 ASSISTANT».

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» публикует статьи на сербском, русском или английском 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/etichyeskiy-kodyeks.html).

Статья должна содержать аннотацию с ключевыми словами, введение, основную часть, выводы, список использованной литературы и резюме с ключевыми словами на английском языке (без нумерации заголовков и подзаголовков). Объём статьи не должен превышать один авторский лист (16 страниц формата А4 с пробелом Single).

Статья должна быть набрана на компьютере с использованием подготовленного редакцией макета, который можно скачать на странице сайта «Правила и образец составления статьи».

Заголовок

Заголовок должен отражать тему статьи. В интересах журнала и автора необходимо использовать слова, удобные для индексации и поиска. Если такие слова не содержатся в заголовке, то желательно их добавить в подзаголовок. Заголовок должен быть переведён на английский язык. Название заголовка (подзаголовка) пишется перед аннотацией 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. Желательно, чтобы были приведены инициалы отчеств авторов. Фамилия и имя отечественных авторов всегда пишутся в оригинальном виде (с сербскими диакритическими знаками), независимо от языка, на котором написана работа.

Наименование учреждения автора (аффилиация)

Приводится полное (официальное) наименование и местонахождение учреждения, в котором работает автор, а также наименование учреждения, в котором автор провёл исследование. В случае организаций со сложной структурой приводится их иерархическая соподчинённость (напр. Военная академия, Кафедра военных электронных систем, г. Белград). По крайней мере, одна из организаций в иерархии должна иметь статус юридического лица. В случае если указано несколько авторов, и если некоторые из них работают в одном учреждении, нужно отдельными обозначениями или каким-либо другим способом указать в каком из приведённых учреждений работает каждый из авторов. Аффилиация пишется непосредственно после ФИО автора. Должность и специальность по диплому не указываются.

Контактные данные

Электронный адрес автора указываются рядом с его именем на первой страницы 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 журнале распределяются по следующим категориям:

Научные статьи:

1. оригинальная научная статья (работа, в которой приводятся раньее неопубликованные результаты собственных исследований, полученных научным методом);

2. обзорная статья (работа, содержащая оригинальный, детальный и критический обзор исследуемой проблемы или области, в который автор внёс определённый вклад, видимый на основе автоцитат);

3. краткое сообщение (оригинальная научная работа полного формата, но меньшего объёма или имеющая предварительный характер);

4. научная критическая статья (дискуссия-полемика на определённую научную тему, основанная исключительно на научной аргументации) и научный комментарий.

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. обзор (книги, компьютерной программы, случая, научного события и т.п.).

Язык работы

Работа может быть написана на сербском, русском или английском языке.

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.

Аннотация (абстракт) и резюме

Аннотация (абстракт) является кратким информативным обзором содержания статьи, обеспечивающим читателю быстроту и точнось оценки её релевантности. В интересах редакции и авторов, чтобы аннотация содержала термины, часто используемые для индексирования и поиска статьей. Составными частями аннотации являются цель исследования, методы и заключение. В аннотации должно быть от 100 до 250 слов, и она должна находится между титулами (заголовок, 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 аннотации на сербском (русском, немецком или французском) была бы предоставлена и аннотация в расширенном виде на английском языке – в качестве т.н. резюме (summary). Такое резюме должно 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 аннотация из начала статьи). Началом данного резюме может быть переведенная аннотация (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 оно было пропорционально 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. Ключевые слова необходимо выбирать, опираясь при этом на какой-либо международный источник (регистр, словарь, тезаурус), наиболее используемый внутри данной научной области. Число ключевых слов не может превышать 10. В интересах редакции и авторов, чтобы их частота встречи в статье была как можно большей. Ключевые слова даются на языке, на котором написана статья (аннотация), и на английском языке. В статье они пишутся непосредственно после аннотации (в начале), т.е. после резюме (в конце).

Программа ASSISTANT предоставляет возможность использования сервиса KWASS: автоматическое фиксирование ключевых слов из источников/словарей по выбору автора/редактора.

Дата получения статьи

Дата, когда редакция получила статью; дата, когда редакция окончательно приняла статью к публикации; а также даты, когда были предоставлены необходимые исправления рукописи, приводятся в хронологическом порядке, 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, как правило, внизу первой страницы статьи.

Предыдущие версии работы

В случае если статья в предыдущей версии была изложена устно (под одинаковым или похожим названием, например, в виде доклада на научной конференции), сведения об этом должны быть указаны в отдельном примечании, как правило, внизу первой страницы статьи. Работа, которая уже была опубликована в каком-либо из журналов, не может быть напечатана в «Военно-техническом вестнике» ни под похожим названием, ни в изменённом виде.

Нумерация и название таблиц и графиков

Желательно, чтобы нумерация и название таблиц и графиков были исполнены 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 удобны для репродукции. Рисунки необходимо 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 др.

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: (Petrović, 2010, pp.10-20). Рекомендации о способе цитирования размещены на странице сайта «Инструкция по использованию Гарвардского стиля». При оформлении ссылок, цитат и списка использованной литературы необходимо придерживаться установленных норм.

Программа ASSISTANT 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. Примечания (сноски) могут содержать менее важные детали, дополнительные объяснения, указания об использованных источниках (напр. научном материале, справочниках), но не могут быть заменой процедуры цитирования литературы.

Литература (референции)

Цитированной литературой охвачены, как правило, библиографические источники (статьи, монографии и т.п.) и она представляется исключительно в отдельном разделе статьи, в виде референций.

Литературные источники 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 фамилий 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 ASSISTANT 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 рукописи статей подлежат профессиональному рецензированию.

Список рецензентов «Военно-технического вестника» можно посмотреть на странице сайта Список рецензентов. Процесс рецензирования описан на странице сайта Правила рецензирования.

Почтовый адрес редакции:
«Војнотехнички гласник»,
11000 Београд, ул. Браће Југовића 19,
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.

Главный и ответственный 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.упр.срб, ISSN 0042-8469 – print issue, e-ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) is a multidisciplinary scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia. It publishes scientific and professional papers as well as technical data 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 2016

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 2016 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 2017).

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 ASSISTANT, 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 ASSISTANT 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 - ASSISTANT.

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, Russian or English, 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, Russian or English.

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 ASSISTANT 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 ASSISTANT system uses a special tool CiteMatcher 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 in chief
Nebojša Gaćeša MSc
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
http://orcid.org/0000-0003-3217-6513
tel.: +381 11 3241 311,
+381 64 8080 118

СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА
СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВЕСТНИКА
LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

СПИСАК РЕЦЕНЗЕНАТА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА

Звање, име, средње слово и презиме	**Установа и радно место**	**Област компетенције (научног интересовања)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. др Марко Д. Андрејић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија	логистика одбране	markodandrejic@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0002-6753-9786
Доц. др Милош Ж. Арсић	Пуковник у пензији	менаџмент саобраћајном подршком	misaarsa@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-2003-9880
Ванр. проф. др Војислав Ј. Батинић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војномашинског инжењерства	опште машинске конструкције	beregvojo@yahoo.com, vojislav.batinic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0001-6786-7846
Ванр. проф. др Стеван М. Бербер	Универзитет у Окленду, департман електротехнике и рачунарског инжењеринга, Окленд, Нови Зеланд	телекомуникације, бежичне комуникације, CDMA, OFDM системи, сензорске мреже, рачунарски системи у реалном времену, обрада стохастичких сигнала	s.berber@auckland.ac.nz, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088
Доц. др Радивоје М. Биљић	Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, катедра за телекомуникације	телекомуникације, нападно навигацијски системи ваздухоплова, микроталасна техника, електромагнетика, сателитски системи	biljic@etf.rs
Проф. др Бранислав А. Боровац	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за индустријско инжењерство и менаџмент, катедра за мехатронику, роботику и аутоматизацију	роботика	borovac@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-7446-1027
Проф. др Угљеша С. Бугарић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за индустријско инжењерство	операциона истраживања, масовно опслуживање, теротехнологија-одржавање, транспортни и складишни системи	ubugaric@mas.bg.ac.rs

Звање, име, средње слово и презиме	**Установа и радно место**	**Област компетенције (научног интересовања)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. др Илија Ћосић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, декан факултета	индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент	ftndean@uns.ac.rs
Ванр. проф. др Горан Д. Дикић	Универзитет одбране у Београду	системи аутоматског управљања, праћење циљева, системи вођења и управљања ракета	goran.dikic@mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-0858-1415
Пуковник доц. др Ненад П. Димитријевић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, руководилац последипломских студија	безбедност у саобраћају, заштита ресурса у саобраћају и транспорту	neshadim@mts.rs
Ванр. проф. др Раденко С. Димитријевић	Пуковник у пензији	експлозивне материје, муниција, убојна средства, пиротехничка безбедност	radenkod@beotel.net
Пуковник проф. др Бобан Д. Ђоровић	Универзитет одбране у Београду, проректор	процеси и методе у саобраћају и транспорту, транспортне мреже, организација транспорта	lukema@ptt.rs, http://orcid.org/0000-0001-8133-2389
Проф. др Владо П. Ђурковић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војномашинског инжењерства, начелник одсека заједничких предмета машинства	примењена механика крутог и деформабилног тела	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs, djurkovic.vlado@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5064-4117
Ван. проф. др Предраг М. Елек	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за системе наоружања	балистика на циљу, конструкција пројектила, физика експлозије	pelek@mas.bg.ac.rs http://orcid.org/0000-0002-2927-019X
Доц. др Миљко М. Ерић	Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, катедра за телекомуникације, дописни члан Инжењерске академије Србије	телекомуникације, дигитална обрада сигнала, електронско извиђање, радио-гониометрија, антенски низови, микрофонски низови, аррау процессинг	meric@mts.rs, miljko.eric@etf.rs http://orcid.org/0000-0002-9410-717X
Др Милош Р. Филиповић	научни саветник у пензији	енергетски материјали (експлозиви, пиротехника, барути и ракетна горива, сагоревање, детонација, експлозија)	milosf321@gmail.com

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Доц. др Зоран Љ. Филиповић	Институт Гоша, научни сарадник	електроника и телекомуникације (авионика, метрологија, телекомуникације)	filipovicz@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-4793-4105
Ванр. проф. др Васко Г. Фотев	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за ваздухопловство	погон летелица (авионски и ракетни мотори)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Проф. др Катарина Д. Герић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за производно машинство, катедра за материјале и спајање материјала	наука о материјалима, инжењерство материјала, испитивање материјала	gerick@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-5473-8922
Пуковник доц. др Љубомир Ј. Гиговић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра природно-математичких наука, руководилац групе наставника за војну географију и топографију	геонауке, геодетско инжењерство	ljgigovic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8388-3624
Проф. др Миро Ј. Говедарица	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за рачунарство и аутоматику, катедра за системе, сигнале и управљање, руководилац студијског програма геодезија и геоматика	геодезија, геоматика, геоинформатика	miro@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-1698-0800
Проф. др Јанко Ј. Ходолич	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука	метрологија, квалитет, прибори и еколошко-инжењерски аспекти	hodolic@uns.ac.rs
Пуковник доц. др Слободан С. Илић	Генералштаб, Управа за планирање и развој (Ј-5), Технички опитни центар, директор	системи одржавања, наоружање	slobodan.ilic@vs.rs
Ванр. проф. др Бранислав В. Јакић	Алфа Универзитет Београд, Универзитет за пословне студије Бања Лука (пуковник у пензији)	логистика, квалитет, стандардизација, метрологија, номенклатура, кодификација, технолошки менаџмент, управљање квалитетом	bjakic@yahoo.com

Звање, име, средње слово и презиме	**Установа и радно место**	**Област компетенције (научног интересовања)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. др Слободан С. Јарамаз	Универзитет у Београду, Машински факултет, шеф катедре за системе наоружања	унутрашња балистика, конструкција пројектила, физика експлозије, балистика на циљу, сагоревање барута	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Проф. др Радун Б. Јеремић	Пуковник у пензији	муниција, експлозивне материје	radjer@mts.rs http://orcid.org/0000-0002-1990-2018
Доц. др Данко М. Јовановић	Генерал мајор у пензији	управљање производњом, логистика, одржавање техничких система, квалитет, ризици, стандардизација	danko.jovanovic17@gmail.com http://orcid.org/0000-0001-8813-2267
Доц. др Вукица М. Јовановић	Трајн Универзитет, Факултет за њежењерство и технологију, департман за конструкције и дизајн, Енгола, Индијана, САД	машинство	vukica.jovanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
Пуковник ванр. проф. др Радован М. Каркалић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војнохемијског инжењерства	хемијска технологија (нуклеарно-хемијско-биолошка заштита, детекција, идентификација и деконтаминација)	rkarkalic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8074-7264
Проф. др Владимир А. Катић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, продекан	енергетска електроника, електричне машине, електромоторни погони, квалитет електричне енергије, обновљиви извори електричне енергије	katav@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-0138-8807
Проф. др Срђан Р. Колаковић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, продекан	грађевинарство – хидротехника	kolak@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-6326-1799
Доцент др Мирко С. Козић, виши научни саветник	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт	механика флуида, нумеричка динамика флуида, аеродинамичка оптерећења	mkozic@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-7287-0780
Доц. др Никола Л. Лекић	Пуковник у пензији	радарски циљеви, радарске антене, мерење радарских циљева и антена, радарска техника и системи	lekicn@ptt.rs

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Проф. др Радо М. Максимовић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за индустријско инжењерство и менаџмент, руководилац студијских програма инжењерски менаџмент	производни системи, организација предузећа, развојни процеси у предузећу	rado@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-3551-1639
Научни саветник др Стеван М. Максимовић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт, начелник одељења чврстоће	чврстоћа конструкција, механика лома, замор, нумеричке методе	s.maksimovic@mts.rs
Др Василије М. Мановић	Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK	заштита животне средине, хемијско инжењерство	vmanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717
Потпуковник ванр. проф. др Јаромир Марес	Универзитет одбране у Брну, Чешка Република	логистика, логистичка подршка, заштита животне средине, заштита на раду, процена ризика	jarmes@seznam.cz, http://orcid.org/0000-0002-1337-3821
Проф. др Дејан М. Мицковић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за системе наоружања	конструкција класичног наоружања, аутоматска оружја, унутрашња балистика	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Проф. др Момчило П. Милиновић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за системе наоружања	ракетни системи, лансери, системи управљања ватром	mmilinovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-5361-7544
Проф. др Зоран Ђ. Миљковић	Универзитет у Београду, Машински факултет, катедра за производно машинство	технологија машинске обраде, роботика, вештачка интелигенција, аутономни системи и машинско учење, вештачке неуронске мреже, интелигентни технолошки системи, методе одлучивања	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-9706-6134
Пуковник доц. др Срђан Т. Митровић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војноелектронског инжењерства, начелник одсека за електротехнику и електронику	мобилни роботи, управљање у реалном времену, фази логика, фази управљање, микропроцесорски системи, управљање системима (аутоматика), алгоритми навигације возила, бродски борбени и навигациони системи	srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-1287-2792

Звање, име, средње слово и презиме	**Установа и радно место**	**Област компетенције (научног интересовања)**	**e-mail, ORCID iD**
Пуковник проф. др Славко Р. Муждека	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра војномашинског инжењерства, шеф одсека за борбена возила	моторна возила, борбена возила	mslavko@beotel.net, http://orcid.org/0000-0002-6189-9473
Др Младен Д. Пантић	Пуковник у пензији	борбена возила	emily983@sbb.rs
Пуковник Зоран С. Патић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије	логистика, одржавање, снабдевање, пројектовање организације логистичких система	zpatic@yahoo.co.uk
Пуковник доц. др Сретен Р. Перић	Универзитет одбране у Београду, начелник катедре војномашинског инжењерства	технологија одржавања моторних возила	sretenperic@yahoo.com
Проф. др Славко Ј. Покорни	Висока школа струковних студија за информационе технологије у Београду, помоћник директора (пуковник у пензији)	поузданост, расположивост и одржавање система (хардвер, софтвер, човек), примена инфрацрвеног зрачења, информационе и комуникационе технологије	slavko.pokorni@its.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-3173-597X
Проф. др Мирослав В. Поповић	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, катедра за рачунарску технику	рачунарска техника и комуникације (инжењеринг система заснованих на рачунарима)	miroslav.popovic@rt-rk.com, http://orcid.org/0000-0001-8385-149X
Проф. др Југослав Р. Радуловић	Факултет за менаџмент малих и средњих предузећа, Београд (пуковник у пензији)	муниција, менаџмент, квалитет	jugoslav.radulovic@gmail.com, jugoslav.radulovic@mef.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-4003-7209
Научни саветник проф. др Душан С. Рајић	Пуковник у пензији	противхемијска заштита, оружје за масовно уништавање (НХБ борбена средства), теорија решавања иновативних задатака	rajic.dusan1@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5226-4089
Пуковник доц. др Зоран М. Рајић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, директор Војнотехничког института	аеродинамика	rajic_zoran@yahoo.com

Звање, име, средње слово и презиме	**Установа и радно место**	**Област компетенције (научног интересовања)**	**e-mail, ORCID iD**
Пуковник ванр. проф. др Миодраг Д. Регодић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија	геонауке, геодетско инжењерство	mregodic62@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-4675-4150
Др Милорад Д. Савковић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт	ракетни мотори, ракетна и бестрзајна средства за ПО борбу	savkovic.milorad@gmail.com
Проф. др Драгољуб Ј. Секуловић	Универзитет Унион – Никола Тесла, Факултет за пословне студије и право, катедра за безбедност (пуковник у пензији)	геонауке, геодетско инжењерство	sekulovicdr@yahoo.co.uk, http://orcid.org/0000-0003-1617-1296
Др Срећко С. Стопић	Технички универзитет у Ахену, СР Немачка, Институт за процесну металургију и рециклирање метала, научни саветник, вођа групе за хидрометалургију и нанотехнологију	хидрометалургија, нанотехнологија, хемијске синтезе, рециклирање, заштита животне средине	stopic2003@yahoo.de, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378
Проф. др Томислав Б. Шекара	Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, катедра за сигнале и системе	управљање процесима са концентрисаним и распоређеним параметрима, оптимални индустријски регулатори, фракциони закони управљања са применом у индустрији, карактеризација процеса, адекватна дискретизација и обрада сигнала, сензори и актуатори, компензација и уштеда електричне енергије у дистрибутивним електроенергетским системима	tomi@etf.rs, http://orcid.org/0000-0001-8031-3135

Звање, име, средње слово и презиме	Установа и радно место	Област компетенције (научног интересовања)	e-mail, ORCID iD
Проф. др Драган Д. Шешлија	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за индустријско инжењерство и менаџмент, катедра за мехатронику, роботику и аутоматизацију	мехатроника, роботика, аутоматизација	seslija@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-2133-008X
Пуковник ванр. проф. др Горан П. Шимић	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, начелник Центра за симулације и учење на даљину	информатика и рачунарство	gshimic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-7563-699X
Проф. др Владимир С. Шкиљаица	Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, департман за саобраћај, катедра за технологије транспортних система	технологија водног саобраћаја, бродови, безбедност пловидбе	vlaski@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-9086-4667
Проф. др Љубиша К. Танчић	Пуковник у пензији	унутрашња балистика, наоружање	ljtancic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-1242-9333
Проф. др Бранко М. Тешановић	Пуковник у пензији	општа логистика	brate@verat.net, http://orcid.org/0000-0002-2409-9418
Пуковник доц. др Иван А. Тот	Универзитет одбране у Београду, Војна академија, катедра телекомуникација и информатике, руководилац групе за инфомационе системе	базе података, информациони системи, заштита информационих система	totivan@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5862-9042
Научни саветник проф. др Драгољуб А. Вујић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, Војнотехнички институт	примењена механика, дијагностика, софистицирани системи одржавања техничких система	vujicd@eunet.rs, dragoljub.vujic@vti.vs.rs, http://orcid.org/0000-0001-6999-6828
Генерал мајор ванр. проф. др Младен М. Вуруна	Универзитет одбране у Београду, ректор	војно-хемијско инжењерство (погонска средства, токсиколошка средства, заштита од НХБ оружја, заштита животне средине)	mladenvuruna@yahoo.com http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Генерал мајор проф. др Бојан М. Зрнић	Министарство одбране, Сектор за материјалне ресурсе, Управа за одбрамбене технологије, начелник управе	сензорски системи, стратегијско планирање	bojan.zrnic@vs.rs http://orcid.org/0000-0002-0961-993X

СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ ЖУРНАЛА *«ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»*

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. д.н. Марко Д. Андреич	Университет Обороны в Белграде, Военная академия	логистика обороны	markodandrejic@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0002-6753-9786
Доц. д.н. Милош Ж. Арсич	Полковник в отставке	менеджмент транспортной поддержки	misaarsa@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-2003-9880
Пригл. проф. д.н. Воислав Й. Батинич	Университет Обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-машиностроительной инженерии	общие машиностроительные конструкции	beregvojo@yahoo.com vojislav.batinic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0001-6786-7846
Пригл. проф. д.н. Стеван М. Бербер	Университет в Окленде, департамент электротехники и компьютерного инжиниринга, Окленд, Новая Зеландия	телекоммуникации, беспроводные сети, CDMA, OFDM системы, сенсорные сети, вычислительные системы в реальном времени, обработка стохастических сигналов	s.berber@auckland.ac.nz, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088
Доц. д.н. Радивое М. Билич	Университет в Белграде, Электротехнический факультет, кафедра Телекоммуникации	телекоммуникации, системы пилотажно-навигационного нападения, микроволновая техника, электромагнитное оборудование, спутниковые системы	biljic@etf.rs
Проф. д.н. Бранислав А. Боровац	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, департамент промышленной инженерии и менеджмента, кафедра мехатроники, роботехники и автоматизации	роботехника	borovac@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-7446-1027
Проф. д.н. Углеша С. Бугарич	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра промышленной инженерии	операционные исследования, массовое обслуживание, теротехнология-обслуживание, транспортно-складские системы	ubugaric@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Илия Чосич	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, декан факультета	промышленная инженерия и инженерный менеджмент	ftndean@uns.ac.rs

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Пригл. проф. д.н. Горан Д. Дикич	Университет обороны в Белграде	системы автоматического управления и наблюдения, системы наводки и телеуправления ракетами	goran.dikic@mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-0858-1415
Полковник доц. д.н. Ненад П. Димитриевич	Университет обороны в Белграде, Военная академия, руководитель отдела аспирантуры	безопасность на транспорте, защита ресурсов на транспорте	neshadim@mts.rs
Пригл. проф. д.н. Раденко С. Димитриевич	Полковник в отставке	взрывчатые вещества, боевые припасы, средства поражения, пиротехническая безопасность	radenkod@beotel.net
Полковник проф. д.н. Бобан Д. Джорович	Университет обороны в Белграде, проректор	транспортные процессы и методы, транспортные сети, организация транспорта	lukema@ptt.rs, http://orcid.org/0000-0001-8133-2389
Проф. д.н. Владо П. Джуркович	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-машиностроительной инженерии, начальник департамента общего машиностроительного оборудования	прикладная механика твердых и деформируемых тел	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs, djurkovic.vlado@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5064-4117
Пригл. проф. д.н. Предраг М. Елек	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, Кафедра системы вооружения	баллистика и целевое назначение, конструкция снаряда, физика взрыва	pelek@mas.bg.ac.rs http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Доц. Д.н. Милько М. Ерич	Университет в Белграде, Электротехнический факультет, кафедра телекоммуникаций, член-корреспондент Инженерной Академии Сербии	телекоммуникации, цифровая обработка сигналов, электронная разведка, радиогониометрия, антенные системы, микрофонные системы, array processing	meric@mts.rs, miljko.eric@etf.rs http://orcid.org/0000-0002-2927-019X
Д.н. Милош Р. Филипович	научный советник на пенсии	энергетические материалы (взрывчатые вещества, пиротехника, пороха и ракетные топлива, сгорание, детонация, взрыв)	milosf321@gmail.com

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Доц. д.н. Зоран Л. Филипович	Институт Гоша, Научный сотрудник	электроника и телекоммуникации (авионика, метрология, телекоммуникации)	filipovicz@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-4793-4105
Пригл. проф. д.н. Васко Г. Фотев	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра авиации	приводы летательных аппаратов (двигатели для самолетов и вертолетов)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Катарина Д. Герич	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, департамент машиностроительное производство, кафедра Материалы и соединение материалов	наука о материалах, инженерия материалов, испытание материалов	gerick@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-5473-8922
Полковник доц. д.н. Любомир Й. Гигович	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра естественных наук, руководитель группы преподавателей в области военной географии и топографии	геонауки, инженерная геодезия	ljgigovic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8388-3624
Проф. д.н. Миро Й. Говедарица	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, департамент информатики и автоматики, кафедра Системное управление сигналами, руководитель профильной программы Геодезия и геоматика	геодезия, геоматика, геоинформатика	miro@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-1698-0800
Проф. д.н. Янко Й. Ходолич	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук	метрология, качество, приборы и экологические и инженерные аспекты	hodolic@uns.ac.rs
Полковник доц. д.н. Слободан С. Илич	Генштаб, Управление планирования и развития (J-5), Технички опытно-проектный центр, директор	системы обеспечение, вооружение	slobodan.ilic@vs.rs
Пригл. проф. д.н. Бранислав В. Якич	«Алфа» Университет в Белграде, Университет бизнеса Баня Лука (полковник в отставке)	логистика, качество, стандартизация, метрология, номенклатура, кодификация, технологический менеджмент управление качеством	bjakic@yahoo.com

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. д.н. Слободан С. Ярамаз	Университет в Белграде, Машиностроительныйф акультет, зав.кафедрой Системы вооружения	внутренняя баллистика, конструкция снарядов, физика взрыва, целевая баллистика, сгорание пороха	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Радун Б. Еремич	Полковник в отставке	боеприпасы, взрывчатые вещества	radjer@mts.rs http://orcid.org/0000-0002-1990-2018
Доц. д.н. Данко М. Йованович	Генерал-майор в отставке	управление производством, логистика, обеспечение технических систем, качество, риски, стандартизация	danko.jovanovic17@gmail.com http://orcid.org/0000-0001-8813-2267
Доц. д.н. Вукица М. Йованович	«Трайн» Университет, Факультет инженерии и технологии, департамент Конструкции и дизайн, Энгола, Штат Индиана, США	машиностроение	vukica.jovanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
Полковник Пригл. проф. д.н. Радован М. Каркалич	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-химическая инженерия	Химические технологии (ядерно-химическо-биологическая защита, обнаружение, идентификация и обезвреживание)	rkarkalic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8074-7264
Проф. д.н. Владимир А. Катич	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, зам. декана факультета	энергетическая электроника, электрические машины, электродвигательные приводы, качество электроэнергии, возобновляемые источники энергии	katav@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-0138-8807
Проф. д.н. Срджан Р. Колакович	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, зам. декана	строительство – гидротехника	kolak@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-6326-1799
Доцент др Мирко С. Козич, высший научный советник	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, Военно-технический институт	механика флюидов, вычислительная динамика флюидов, аэродинамическая нагрузка	mkozic@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-7287-0780
Доц. д.н. Никола Л. Лекич	Полковник в отставке	радиолокационные цели, радиолокационные антенны, измерение РЛС целей и антенн, радиолокационные системы и техника	lekicn@ptt.rs

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID iD
Проф. д.н. Радо М. Максимович	Университет в г. Нови Сад, Факультет технических наук, Департамент промышленной инженерии и менеджмента, руководитель профильной программы инженерный менеджмент	производственные системы, организация предприятия, процессы развития на предприятии	rado@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-3551-1639
Научный советник др Стеван М. Максимович	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, Военно-технический институт, начальник отдела твердых тел	прочные конструкции, механика повреждений, усталость, вычислительные методы	s.maksimovic@mts.rs
Д.н. Василий М. Манович	Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK	охрана окружающей среды, химическая инженерия	vmanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717
Подполковник пригл. проф. д.н. Яромир Марес	Университет Обороны в г.Брно, Чехия	логистика, логистическая поддержка, охрана окружающей среды, охрана труда, оценка рисков	jarmes@seznam.cz, http://orcid.org/0000-0002-1337-3821
Проф. д.н. Деян М. Мицкович	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра системы вооружения	конструкция классического вооружения, автоматическое оружие, внутренняя баллистика	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Проф. д.н. Момчило П. Милинович	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра системы вооружения	ракетные системы, ракетные установки, системы управления залповым огнем	mmilinovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-5361-7544

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. д.н. Зоран Дж. Милькович	Университет в Белграде, Машиностроительный факультет, кафедра производственных машин	технология машинной обработки, роботехника, искусственный интеллект, автономные системы и машинное обучение, искусственные нейронные сети, интеллектуальные технологические системы, методы принятия решений	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-9706-6134
Полковник доц. д.н. Срджан Т. Митрович	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военно-электронной инженерии, начальник департамента электротехники и електроники	мобильные роботы, управление в реальном времени, фаззи логика, фаззи управление, микропроцессорные системы, управление системами (автоматика), алгоритмы навигации транспорта, навигационные системы для судов и боевого транспорта	srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs , http://orcid.org/0000-0002-1287-2792
Полковник доц. др.н Славко Р. Муждека	Университет обороны в Белграде, Военная академия, кафедра военного машиностроения, зав. отделением боевого транспорта	транспортные средства, боевые транспортные средства	mslavko@beotel.net, http://orcid.org/0000-0002-6189-9473
Проф. д.н. Младен Д. Пантич	Полковник в отставке	боевые транспортные средства	emily983@sbb.rs
Полковник Зоран С. Патич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии	логистика, обеспечение, снабжение, проектирование организаций логистических систем	zpatic@yahoo.co.uk
Полковник доц. д.н. Сретен Р. Перич	Университет обороны в Белграде, зав. кафедрой военного машиностроения	технология содержания и ремонта транспортных средств	sretenperic@yahoo.com

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. д.н. Славко Й. Покорни	Высшая школа профессионального обучения по информационным технологиям в Белграде, зам. директора (полковник в отставке)	надежность, доступ и обеспечение систем (аппаратное и программное обеспечение, человек), применение инфракрасного излучения, информационные и коммуникационные технологии	slavko.pokorni@its.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-3173-597X
Проф. д.н. Мирослав В. Попович	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, кафедра вычислительной техники	Вычислительная техника и коммуникации (инжиниринг система, основанная на вычислительной технике)	miroslav.popovic@rt-rk.com, http://orcid.org/0000-0001-8385-149X
Проф. д.н. Югослав Р. Радулович	Факультет менеджмента малых и средних предприятий, г. Белград (полковник в отставке)	боеприпасы, менеджмент, качество	jugoslav.radulovic@gmail.com, jugoslav.radulovic@mef.edu.rs , http://orcid.org/0000-0002-4003-7209
Научный советник проф. д.н. Душан С. Раич	Полковник в отставке	химическая защита, оружие массового уничтожения (РХБ боевые средства), теория решений иновационных задач	rajic.dusan1@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5226-4089
Полковник доц. д.н. Зоран М. Раич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, директор Военно-технического института	аэродинамика	rajic_zoran@yahoo.com
Проф. д.н. Миодраг Д. Регодич	Университет обороны в Белграде, Военная академия	геонауки, инженерная геодезия	mregodic62@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-4675-4150
Д.н. Милорад Д. Савкович	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии Военно-технический институт	ракетные двигатели, ракетная и безоткатное оборонная техника	savkovic.milorad@gmail.com

Звание, имя, отчество, фамилия	**Учреждение и занимаемая должность**	**Область компетенции (научные поля)**	**e-mail, ORCID iD**
Проф. д.н. Драголюб Й. Секулович	Университет «Унион – Никола Тесла», Факультет бизнеса и юридических наук, кафедра Безопасность (полковник в отставке)	геонауки, инженерная геодезия	sekulovicdr@yahoo.co.uk, http://orcid.org/0000-0003-1617-1296
Д.н. Сречко С. Стопич	Технический университет в г. Ахен, СР Германия, Институт процессной металлургии и рециклирования металла, научный советник, руководитель группы по гидрометаллургии и нанотехнологиям	гидрометаллургия, нанотехнологии, химический синтез, рециклирование, охрана окружающей среды	stopic2003@yahoo.de, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378
Проф. д.н. Томислав Б. Шекара	Университет в Белграде, Электротехнический факультет, кафедра Сигналы и системы	управление процессами концентрированных и распределенных параметров, оптимальные промышленные регулятори, фракционные методы управления в промышленном секторе, характеризация процессов, соответствующая дискретизация и обработка сигналов, сенсоры и актуаторы, компенсация и сбережение электроэнергии в распределительных электроэнергетических системах	tomi@etf.rs, http://orcid.org/0000-0001-8031-3135
Проф. д.н. Драган Д. Шешлия	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, Департамент промышленная инженерия и менеджмент, кафедра мехатроники, роботехники и автоматизации	мехатроника, роботехника, автоматизация	seslija@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-2133-008X

Звание, имя, отчество, фамилия	Учреждение и занимаемая должность	Область компетенции (научные поля)	e-mail, ORCID iD
Полковник пригл. проф. д.н. Горан П. Шимич	Университет обороны в Белграде, Военная академия, начальник Центра моделирования и дистанционного обучения	информатика вычислительная техника	gshimic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-7563-699X
Проф. д.н. Владимир С. Шкиляица	Университет в г.Нови Сад, Факультет технических наук, Департамент транспорта, кафедра Технологии транспортных средств	технология водного транспорта, суда, безопасность плавания	vlaski@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-9086-4667
Проф. д.н. Любиша К. Танчич	Полковник в отставке	внутренняя баллистика, вооружение	ljtancic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-1242-9333
Проф. д.н. Бранко М. Тешанович	Полковник в отставке	общая логистика	brate@verat.net, http://orcid.org/0000-0002-2409-9418
Полковник доц. д.н. Иван А. Тот	Университет обороны в Белграде, Военная академия, руководитель группы по информационным системам кафедры телекоммуникации и информатика	базы данных, информационные системы, защита информационных систем	totivan@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5862-9042
Научный советник проф. д.н. Драголюб А. Вуич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, Военно-технический институт	прикладная механика, диагностика, софистицированные системы обеспечения технических систем	vujicd@eunet.rs, dragoljub.vujic@vti.vs.rs, http://orcid.org/0000-0001-6999-6828
Генерал-майор пригл. проф. д.н. Младен М. Вуруна	Университет обороны в Белграде, ректор	военно-химическая инженерия (приводные средства, токсикологические средства, защита от РХБ оружия, охрана окружающей среды)	mladenvuruna@yahoo.com http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Генерал-майор проф. д.н. Боян М. Зрнич	Министерство обороны, Сектор по материальным ресурсам, Управление оборонной технологии, начальник управления	сенсорные системы, стратегическое планирование	bojan.zrnic@vs.rs http://orcid.org/0000-0002-0961-993X

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Professor Marko D. Andrejić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy	Military logistics	markodandrejic@hotmail.com, http://orcid.org/0000-0002-6753-9786
Assistant Professor Miloš Ž. Arsić, PhD	Retired colonel	Transportation support management	misaarsa@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-2003-9880
Associate Professor Vojislav J. Batinić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering	General mechanical engineering constructions	beregvojo@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0001-6786-7846
Associate Professor Stevan M. Berber, PhD	The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, Senior Lecturer	Telecommunications, wireless communications, CDMA, OFDM systems, sensor network, computer system in real-time processing of stochastic signals	s.berber@auckland.ac.nz, http://orcid.org/0000-0002-2432-3088
Assistant Professor Radivoje M. Biljić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Department of Telecommunications	Telecommunications, navigation/attack systems, electromagnetics, satellite systems	biljic@etf.rs
Professor Branislav A. Borovac, PhD	University in Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Chair for Mechatronics, Robotics and Automation	Robotics	borovac@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-7446-1027
Professor Uglješa S. Bugarić, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department for Industrial Engineering	Operational research, queuing theory, terotechnology – maintenance, transportation and storage systems	ubugaric@mas.bg.ac.rs
Professor Ilija Ćosić, PhD	University in Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Dean of the Faculty	Industrial Engineering and engineering management	ftndean@uns.ac.rs
Associate Professor Goran D. Dikić, PhD	University of Defence in Belgrade	Automatic control systems, target tracking, missile guidance and control systems	goran.dikic@mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-0858-1415

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Assistant Professor Colonel Nenad P. Dimitrijević, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Director of Postgraduate Studies	Traffic safety, protection of resources in traffic and transportation	neshadim@mts.rs
Associate Professor Radenko S. Dimitrijević, PhD	Retired colonel	Ordnance, ammunition	radenkod@beotel.net
Professor Colonel Boban D. Đorović, PhD	University of Defence in Belgrade, Vice Dean	Processes and methods in traffic and transportation, transportation networks, transport organization	lukema@ptt.rs, http://orcid.org/0000-0001-8133-2389
Professor Vlado P. Đurković, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Faculty Staff Teaching General Subjects in Mechanical Engineering	Applied mechanics of rigid and deformable body	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs, djurkovic.vlado@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5064-4117
Associate Professor Predrag M. Elek, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	Terminal ballistic, Projectile construction, Physics of explosion	pelek@mas.bg.ac.rs http://orcid.org/0000-0002-2927-019X
Assistant Professor Miljko M. Erić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Department of Telecommunications, corresponding member of Engineering Academy of Serbia	Telecommunications, digital signal processing, electronic reconnaissance, radio direction finding, anntena arrays, microphone arrays, array processing	meric@mts.rs, miljko.eric@etf.rs http://orcid.org/0000-0002-9410-717X
Scientific Advisor Miloš R. Filipović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Sector for Materials and Protection	Ordnance (explosives, pyrotechnics, gunpowders and rocket propellants, combustion, detonation, explosion)	milosf321@gmail.com

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Assistant Professor Zoran Lj. Filipović, PhD	Goša Institute Research Fellow	Electronics and telecommunications (avionics, metrology, telecommunications)	filipovicz@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-4793-4105
Associate Professor Vasko G. Fotev, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Aviation	Aircraft propulsion (aircraft and rocket engines)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Professor Katarina D. Gerić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Production Engineering, Chair of Materials and Technology of Connection	Materials science, materials engineering, materials testing	gerick@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-5473-8922
Assistant Professor Colonel Ljubomir J. Gigović, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Natural and Mathematical Sciences, Head of Faculty Staff Teaching Military Geography and Topography	Geosciences, geodetic engineering	ljgigovic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8388-3624
Professor Miro J. Govedarica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Computing and Automatics, Head of the study program Geodesy and Geomatics	Geodesy, Geomatics, Geoinformatics	miro@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-1698-0800
Professor Janko J. Hodolič, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences	Metrology, quality, tools and ecological-engineering aspects	hodolic@uns.ac.rs
Assistant Professor Colonel Slobodan S. Ilić, PhD	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Planning and Development Directorate (J-5), Technical Test Center, Director	Maintenance systems, armament	slobodan.ilic@vs.rs
Associate Professor Branislav V. Jakić, PhD	Retired colonel, Alpha University Belgrade, University of Business studies Banja Luka	Logistics, quality, standardisation, metrology, nomenclature, codification, technology management, quality management	bjakic@yahoo.com

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Professor Slobodan S. Jaramaz, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Head of Department of Weapon Systems	Internal ballistics, projectile construction, physics of explosion, terminal ballistics, gunpowder combustion	sjaramaz@mas.bg.ac.rs
Professor Radun B. Jeremić, PhD	Retired colonel	Ammunition, ordnance	radjer@mts.rs http://orcid.org/0000-0002-1990-2018
Assistant Professor Danko M. Jovanović, PhD	Retired Major General	Production management, logistics, maintenance of technical systems, quality, risks, standardisation	danko.jovanovic17@gmail.com http://orcid.org/0000-0001-8813-2267
Assistant Professor Vukica M. Jovanović, Phd	Trine University, Allen School of Eggineering and Technology, Department of Engineering echnology, Angola, Indiana, USA	Mechanical engineering	vukica.jovanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8626-903X
Associate Professor Colonel Radovan M. Karkalić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Chemical Engineering	Chemical technology (nuclear-biological-chemical protection, detection, identification and decontamination)	rkarkalic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0002-8074-7264
Professor Vladimir A. Katić, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	Power electronics, electric machines, electric power systems and stations, electric power quality, renewable sources of electric power	katav@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-0138-8807
Professor Srđan R. Kolaković, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	Civil engineering, hydrotechnology	kolak@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-6326-1799
Assistant Professor Mirko S. Kozić, PhD, scientific advisor	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Mechanics of fluids, computational fluid dynamics, aerodynamic load	mkozic@mts.rs, http://orcid.org/0000-0002-7287-0780
Assistant Professor Nikola L. Lekić, PhD	Retired colonel	Radar targets, radar antennas, measurement of radar targets and antennas, radar technique and systems	lekicn@ptt.rs
Professor Rado M. Maksimović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Head of	Production systems, organization of industrial systems, development processes in industrial systems	rado@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0003-3551-1639

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
	Engineering Management program of study		
Scientific Advisor Stevan M. Maksimović, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Laboratory for Strength	Structural strength, fracture mechanics, fatigue, numerical methods	s.maksimovic@mts.rs
Senior Research Scientist Vasilije M. Manović, PhD	Combustion and CCS Centre, Cranfield University, Cranfield, UK	Environmental protection, Chemical engineering	vmanovic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-8377-7717
Associate Professor LtColonel Jaromir Mares, PhD	University of Defense in Brno, Czech Republic	logistics, logistics support in technical problematic, protection of environment, operation of equipment and risk analysis	jarmes@seznam.cz, http://orcid.org/0000-0002-1337-3821
Professor Dejan M. Micković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	Construction of classic weapons, automatic weapons, internal ballistics	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Professor Momčilo P. Milinović, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Weapon Systems	Rocket systems, launchers, fire control systems	mmilinovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-5361-7544
Professor Zoran Đ. Miljković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Engineering	Manufacturing technology, robotics, artificial intelligence, autonomous systems and machine learning, artificial neural networks, intelligent technological systems, decision-making methods	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs, http://orcid.org/0000-0001-9706-6134
Assistant Professor Colonel Srdjan T. Mitrović, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Electrical Engineering, Head of the Section of Electrical Engineering and Electronics	Mobile robots, real time control, fuzzy logic, fuzzy control, microprocessing systems, system control (automation), vehicle navigation algorithms, naval combat and navigation systems	srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs, http://orcid.org/0000-0002-1287-2792

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Assistant Professor Colonel Slavko R. Muždeka, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Section for Combat Vehicles	Motor vehicles, combat vehicles	mslavko@beotel.net, http://orcid.org/0000-0002-6189-9473
Professor Mladen D. Pantić, PhD	Retired colonel	Combat vehicles	emily983@sbb.rs
Colonel Zoran S. Patić	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies	Logistics, maintenance, supply, design of logistic system organisation	zpatic@yahoo.co.uk
Assistant Professor Colonel Sreten R. Perić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Department of Military Mechanical Engineering	Technology of motor vehicle maintenance	sretenperic@yahoo.com
Professor Slavko J. Pokorni, PhD	Information Technology School, Retired colonel	Reliability, availability and system maintenance (hardware, software, man) IR application, Information and Communications Technology	slavko.pokorni@its.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-3173-597X
Professor Miroslav V. Popović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Chair of Computer Technology	Computer technology and communications (computer-based system engineering)	miroslav.popovic@rt-rk.com, http://orcid.org/0000-0001-8385-149X
Professor Jugoslav R. Radulović, PhD	Faculty of Management of small and medium-sized enterprises, Belgrade, Retired colonel	Ammunition, management, quality	jugoslav.radulovic@gmail.com, jugoslav.radulovic@mef.edu.rs, http://orcid.org/0000-0002-4003-7209
Scientific Advisor Professor Dušan S. Rajić, PhD	Retired colonel	Chemical protection, veapons of mass destruction (NBC weapons), theory of inventive problem solving	rajic.dusan1@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5226-4089
Assistant Professor Colonel Zoran M. Rajić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Director of Military Technical Institute	Aerodynamics	rajic_zoran@yahoo.com

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Assistant Professor Miodrag D. Regodić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy	Geosciences, geodetic engineering	mregodic62@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-4675-4150
Milorad D. Savković, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Rocket motors, rocket and recoilless AT weapons	savkovic.milorad@gmail.com
Professor Dragoljub J. Sekulović, PhD	University Union - Nikola Tesla, Faculty of Business Studies and Law, Department of Security, Retired colonel	Geosciences, geodetic engineering	sekulovicdr@yahoo.co.uk, http://orcid.org/0000-0003-1617-1296
Scientific advisor Srećko S. Stopić, PhD	RWTH Aachen University, Germany, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Group leader for hydrometallurgy and nanotechnology	Hydrometallurgy, nanotechnology, recycling, environmental science	stopic2003@yahoo.de, http://orcid.org/0000-0002-1752-5378
Professor Tomislav B. Šekara, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Department for Signals and Systems	Control of processes with concentrated and distributed parameters, industrial regulators with optimum performance, fraction laws of control in industrial application, process characterisation, adequate signal discretisation and processing, sensors and actiators, electric energy compensation and saving in electric energy distribution systems	tomi@etf.rs, http://orcid.org/0000-0001-8031-3135
Professor Dragan D. Šešlija, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Chair of Mechatronics, Robotics and Automation	Mechatronics, Robotics and Automation	seslija@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-2133-008X

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail, ORCID iD
Associate Professor Colonel Goran P. Šimić, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Center for Simulations and Distance Learning	Information technology and computing	gshimic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-7563-699X
Professor Vladimir S. Škiljaica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Traffic Engineering, Chair of Technology of Transportation Systems	Technology of water transportation, ships, navigation safety	vlaski@uns.ac.rs, http://orcid.org/0000-0002-9086-4667
Professor Ljubiša K. Tančić, PhD	Retired colonel	Internal ballistics, armament	ljtancic@gmail.com, http://orcid.org/0000-0003-1242-9333
Professor Branko M. Tešanović, PhD	Retired colonel	General logistics, Economics	brate@verat.net, http://orcid.org/0000-0002-2409-9418
Assistant Professor Colonel Ivan A. Tot, PhD	University of Defence in Belgrade, Military Academy, Head of Group for Information Systems at Department of Telecommunications and Information Technology	Data bases, information systems, information systems protection	totivan@gmail.com, http://orcid.org/0000-0002-5862-9042
Scientific Advisor Professor Dragoljub A. Vujić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Applied mechanics, diagnostics, sofisticated systems for technical system maintenance	vujicd@eunet.rs, dragoljub.vujic@vti.vs.rs, http://orcid.org/0000-0001-6999-6828
Associate Professor Major General Mladen M. Vuruna, PhD	University of Defence in Belgrade, Rector	Military chemical engineering (propellants, toxicology, NBC protection, environmental protection)	mladenvuruna@yahoo.com http://orcid.org/0000-0002-3558-4312
Professor Major General Bojan M. Zrnić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Department for Defence Technologies, Head of Department	Sensor systems, strategic planning	bojan.zrnic@vs.rs http://orcid.org/0000-0002-0961-993X

ИЗЈАВА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ
ЭТИЧЕСКИЙ КОДЕКС
PUBLICATION ETHICS STATEMENT

ИЗЈАВА ВОЈНОТЕХНИЧКОГ ГЛАСНИКА О ЕТИЧКОМ ПОСТУПАЊУ

Објављивање чланака након стручне рецензије основна је делатност научног часописа *Војнотехнички гласник*. Неопходно је постићи сагласност о етичким начелима у поступцима свих учесника приликом објављивања чланака, од аутора, Редакције часописа и стручних рецензената до издавача.

Обавезе Редакције *Војнотехничког гласника*

Уредништво *Војнотехничког гласника* не тражи од аутора плаћање накнаде за аплицирање чланка за објављивање. Читав поступак уређивања и објављивања чланка за ауторе је потпуно бесплатан.

Редакција *Војнотехничког гласника* одговорна је за доношење одлуке који ће од приспелих чланака бити одабран за објављивање. Уредник не сме имати сукоб интереса у вези са рукописима које разматрају. Ако такав сукоб интереса постоји, о избору рецензената и судбини рукописа одлучује уредништво. Чланови уређивачког одбора код којих постоји сукоб интереса дужни су да се повуку из процедуре.

Редакција треба да поступа у складу с политиком Уређивачког одбора *Војнотехничког гласника* као и у складу са законским прописима који се односе на клевету, кршење ауторских права и плагијате. Редакција може да се консултује са члановима Уређивачког одбора или рецензентима при доношењу одлуке.

Редакција процењује садржај рукописа независно од расе, пола, полне оријентације, религијских уверења, етничког порекла, политичких уверења и државне припадности аутора.

У свом раду, према препоруци Центра за евалуацију у образовању и науци (ЦЕОН), Редакција користи електронски систем уређивања АСИСТЕНТ, који омогућава транспарентност и јавност рада, подразумевајући пуну одговорност за прихватање и објављивање чланка.

Пре слања на рецензију Редакција проверава да ли је садржај рукописа плагијат, коришћењем сервиса iThenticate (CrossRef и CrossCheck). Према стандардима које часопис примењује, плагирање, односно преузимање туђих идеја, речи или других облика креативног израза и представљање као својих, представља грубо кршење научне и издавачке етике. Плагирање може да укључује и кршење ауторских права, што је законом кажњиво. Плагијат обухвата: дословно или готово дословно преузимање или смишљено парафразирање (у циљу прикривања плагијата) делова текстова других аутора без јасног указивања на извор или обележавање копираних фрагмената (на пример, коришћењем наводника); копирање слика или табела из туђих радова без правилног навођења извора и/или без дозволе аутора или носилаца ауторских права. Рукописи код којих постоје јасне индиције да се ради о плагијату биће аутоматски одбијени.

Часопис примењује „двоструки слепи поступак рецензије“ чланака, који подразумева да аутори не знају ко су им рецензенти, нити су рецензентима познати аутори.

Нико из уређивачке куће не сме да открије ниједну информацију о пристиглом рукопису икоме, осим аутору, рецензентима, потенцијалним рецензентима, другим саветницима уређивачке куће и издавачу, према потреби.

Необјављен материјал из пристиглих рукописа не сме да се користи за истраживачки рад уређивача, осим са изричитим писменим одобрењем аутора.

Редакција се обавезује да ће повући већ објављени чланак у случају накнадног откривања следећих околности у вези рада:

– плагијаризам,

– аутоплагијаризам,

– рад је већ објављен у другом часопису или некој другој публикацији,

– нетачни подаци о ауторству (присвајање туђег рада, навођење аутора који нису учествовали у писању рада, изостављање аутора који су учествовали у писању рада),

– сукоб интереса,

– лажирање или фабриковање резултата,

– недозвољене техничке интервенције на сликама,

– озбиљнија техничка грешка, као што је изостављање делова текста, грешка у репродукцији илустративног материјала.

Стандарди за разрешавање ситуација када мора доћи до повлачења рада дефинисани су од стране библиотека и научних тела, а иста пракса је усвојена и од стране часописа: у електронској верзији изворног чланка (оног који се повлачи) успоставља се веза (HTML линк) са обавештењем о повлачењу. Повучени чланак се чува у изворној форми, али са воденим жигом на PDF документу, на свакој страници, који указује да је чланак повучен (RETRACTED).

Опозиви и исправке се публикују према захтевима ЦЕОН-а (http://www.ceon.rs/pdf/postupanje_s_nelegitimnim_radovima.pdf) као издавача националног цитатног индекса где се метаподаци опозива и опзваних радова морају означити одговарајућим упозорењима и међусобно повезати унакрсним линковима.

Обавезе рецензената

Рецензенти су дужни да стручно, аргументовано, непристрасно и у задатим роковима доставе уреднику оцену научне вредности рукописа. Рецензенти евалуирају радове у односу на усклађеност теме рада са профилом часописа, релевантност истраживане области и примењених метода, оригиналност и научну релевантност података изнесених у рукопису, стил научног излагања и опремљеност текста научним апаратом.

Стручни рецензент помаже Редакцији у доношењу одлуке, а посредством контаката са ауторима преко Редакције може да помаже и ауторима на побољшавању текста рада.

Уколико изабрани рецензент сматра да није довољно квалификована да изврши рецензију истраживања у рукопису или је пак спречен да заврши и достави рецензију у договореном року, о томе треба благовремено да обавести Редакцију.

Сваки рукопис прихваћен на рецензију мора да се третирати као поверљив документ. Не сме се показивати трећим лицима нити дискутовати са њима, осим када то одобри Редакција.

Рецензија треба да буде објективна. Неприхватљива је лична критика аутора. Рецензенти треба јасно да образложе своје ставове и поткрепе их аргументима.

Рецензенти треба да идентификују релевантне постојеће радове које аутор није цитирао. Свака претходно јавно саопштена тврдња или аргумент треба да буду

пропраћени одговарајућим цитатом. Дужност рецензента је да скрене пажњу уреднику на значајна поклапања или сличност рукописа са већ објављеним радом, уколико о томе има лична сазнања.

Информације и идеје до којих се дошло стручном рецензијом поверљивог су карактера и не смеју се користити за сопствене потребе. Рецензенти не би требало да примају рукописе који их доводе у сукоб интереса на основу конкуренције, заједничког рада или других односа с било којим аутором, компанијом или институцијом повезаним с радом.

Обавезе аутора

Аутори гарантују да рукопис представља њихов оригиналан допринос, да није објављен раније и да се не разматра за објављивање на другом месту. Истовремено предавање истог рукописа у више часописа представља кршење етичких стандарда. Такав рукопис се моментално искључује из даљег разматрања.

Када аутори пишу о оригиналном истраживању треба прецизно да прикажу обављени рад и да објективно изложе његов значај. Подаци треба да буду прецизно наведени. Чланак треба да садржи довољно детаља и референци да би могао да се репродукује. Лажне или намерно нетачне тврдње представљају неетичко поступање и неприхватљиве су.

Аутори треба да обезбеде необрађене податке у вези са чланком и пруже их на увид Редакцији, као и јавни приступ тим подацима, ако је то могуће, и да, у сваком случају, буду спремни да сачувају те податке у разумном року после објављивања.

Аутори треба да напишу потпуно оригиналне радове, а ако су користили радове и/или формулације других, онда то треба да наведу на одговарајући начин.

У принципу, аутори би требало да објаве рукопис који се суштински бави истим истраживањем само у једном часопису или примарној публикацији. Слање истог рукописа у више редакција часописа у исто време представља неетичко понашање и неприхватљиво је.

Обавезно је да аутор наведе радове које је користио у писању рукописа, као и да цитира публикације које су утицале на његов рад.

Ауторство треба да буде ограничено на оне који су значајно допринели идеји, њеном обликовању, извођењу или интерпретацији у датом истраживању. Сви који су значајно допринели раду треба да буду наведени као коаутори. Ако су појединци били битни у појединим аспектима истраживачког пројекта, треба им у захвалници одати признање за допринос.

Аутор треба да се постара да сви коаутори буду наведени као такви, као и да међу наведеним нема оних који то не заслужују. Ауторова дужност је да сви коаутори виде и одобре финалну верзију рада, као и да одобре његово објављивање.

Ако се у истраживању појављују хемијска једињења, поступци или опрема који су опасни по здравље људи или животиња, аутор то мора јасно да назначи у рукопису.

Сваки аутор треба да наведе у рукопису све врсте финансијских и осталих значајних конфликата интереса који би могли да утичу на резултате или интерпретацију његовог рада. Сви извори финансијске подршке треба да буду такође наведени.

Када аутор открије материјалну грешку или нетачност у свом објављеном раду, његова је дужност да одмах обавести Редакцију часописа или издавача и да сарађује са Редакцијом при повлачењу или кориговању рада.

Разрешавање спорних ситуација

Сваки појединац или институција могу у било ком тренутку да уреднику и/или уредништву пријаве сазнања о кршењу етичких стандарда и другим неправилностима и да о томе доставе неопходне информације/доказе. Поступак провере изнесених доказа одвијаће се у складу са следећим принципима: уредништво ће донети одлуку о покретању поступка који има за циљ проверу изнесених навода и доказа; током тог поступка сви изнесени докази сматраће се поверљивим материјалом и биће предочени само оним лицима која су директно укључена у поступак; лицима за која се сумња да су прекршила етичке стандарде биће дата могућност да одговоре на оптужбе изнесене против њих; ако се установи да је заиста дошло до неправилности, процениће се да ли их треба окарактерисати ако мањи прекршај или грубо кршење етичких стандарда. Ситуације окарактерисане као мањи прекршај решаваће се у директној комуникацији са лицима која су прекршај учинила, без укључивања трећих лица, нпр.: обавештавањем аутора/рецензената да је дошло до мањег прекршаја који је проистекао из неразумевања или погрешне примене академских стандарда; слањем упозорења аутору/рецензенту који је учинио мањи прекршај. У случају грубог кршења етичких стандарда, уредништво доноси одлуке о даљим акцијама. Мере које ће предузети могу бити следеће (и могу се примењивати појединачно или истовремено): објављивање саопштења или уводника у ком се описује случај кршења етичких стандарда; слање службеног обавештења руководиоцима или послодавцима аутора/рецензента; повлачење објављеног рада у складу са процедуром описаном под Повлачење већ објављених радова; ауторима ће бити забрањено да током одређеног периода шаљу радове у часопис; упознавање релевантних стручних организација или надлежних органа са случајем како би могли да предузму одговарајуће мере. Приликом разрешавања спорних ситуација редакција часописа редакција се руководи смерницама и препорукама Одбора за етику у издаваштву (Committee on Publication Ethics – COPE): http://publicationethics.org/resources/.

Одрицање одговорности

Изнесени ставови у објављеним радовима не изражавају ставове уредника и чланова редакције часописа. Аутори преузимају правну и моралну одговорност за идеје изнесене у својим радовима. Издавач неће сносити никакву одговорност у случају испостављања било каквих захтева за накнаду штете.

КОДЕКС ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЭТИКИ ЖУРНАЛА *«ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК»*

Публикация статьей после их профессиональной рецензии является основной деятельностью научного журнала «*Военно-технический вестник*». В первую очередь необходимо достичь договоренности об этических нормах и принципах, применяемых ко всем участникам в процессе выпуска журнала, начиная с автора, Редакционной коллегии, профессиональных рецензентов до издателя.

Обязанности редакторов «***Военно-технического вестника***»

Редакция журнала «*Военно-технический вестник*» сообщает, что не взымает с авторов плату за публикацию их статей, то есть, все действия, связанные с редактированием и размещением статей в Вестнике являются абсолютно бесплатными.

Редакция «*Военно-технического вестника*» несет ответственность за принятие решений о публикации представленных в адрес журнала статей. При наличии конфликта интересов редактор не принимает участия в процессе рассмотрения рукописи. В таком случае решение о выборе рецензента и публикации рукописи принимает редколлегия. При наличии конфликта интересов члены редколлегии не принимают участия в процессе рассмотрения рукописи.

Редакция обязана соблюдать политику Редакционной коллегии «*Военно-технического вестника*», а также положения действующего законодательства, регулирующие вопросы распространения заведомо ложных сведений, порочащих честь и достоинство другого лица или подрывающих его репутацию и несоблюдения авторских прав. Редакция имеет право проконсультироваться с Редакционной коллегией или рецензентами относительно принятия решений о публикации статьи.

Редакция отбирает и оценивает материалы независимо от пола, религии, расы, национальности, политических убеждений автора.

По рекомендациям Центра поддержки развития образования и науки (ЦПРОН), редакция журнала в своей работе пользуется электронной системой редактирования ASSISTANT, обеспечивающей транспарентность и доступность информации о текущем соотоянии рукописи, а также подразумевает полную ответственность за принятие решения о её публикации.

Путём использоваия системы iThenticate (CrossRef и CrossCheck) редакция до момента представления статьи рецензентам проверяет её содержание на плагиат. В соответствии со стандартами журнала, плагиат, то есть присвоение чужих идей, высказываний либо другой формы творческого выражения и представление их как своих собственных представляет собой грубое нарушение научной и редакционной этики. Плагиат является уголовно наказуемым нарушением авторских прав. С точки зрения редакции, плагиатом является: дословное копирование работы другого лица, либо цитирование работы другого лица без указания его авторства, ссылки на источник; некорректное перефразирование произведения другого лица без ссылки на источник; использование элементов работы (рисунков, таблиц, графиков, диаграмм) другого лица без указания авторства, ссылки на источник; авторы должны получить разрешение владельца авторских прав на использование элементов его работы. В случае возникновения обоснованного сомнения в том, что работа является плагиатом, редакция отказывает автору в публикации.

Редакция журнала проводит конфиденциальное рецензирование, применяя «двойной слепой метод». Авторы статьи и рецензенты не знают друг друга.

Никто из работников издательской компании не имеет право раскрывать любые сведения о представленной научной статье, за исключением случаев, если они по мере потребности нужны автору, рецензентам, возможным рецензентам и другим советникам редакторов и издателя.

Неопубликованными материалами нельзя воспользоваться для исследовательских работ без согласия автора.

Редакция обязуется исключить из публикации принятую статью, в случае следующих нарушений:

– плагиат,

– автоплагиат,

– повторная публикация в данном или другом издании,

– неверные данные об авторе (присвоение чужой работы, указание автора не принимавшего участия в написании работы),

– конфликт интересов,

– фальсификация результатов исследования,

– неправильно оформленные рисунки (графики, иллюстрации) и таблицы,

– крупные технические ошибки в оформлении текста, на-пример, пропуск частей текста.

Стандарты регламентирующие процедуру снятия опубликованной работы с публикации, которые применяет «Военно-технический вестник» предписаны Национальной библиотекой Сербии (НБС) и другими научными учреждениями. За статьей (определённой к снятию) в электронном формате закрепляют HTML ссылку с уведомлением о её снятии с публикации. Изъятая статья хранится в исходном виде, но каждая страница ПДФ формата визируется печатью, свидетельствующей о снятии статьи с публикации (RETRACTED).

Отзывы и исправления публикуются в соответствии с требованиями ЦПРОН – Сербского индекса научного цитирования (СЦИндекс/SCIndex) (http://www.ceon.rs/pdf/postupanje_s_nelegitimnim_radovima.pdf), при этом метаданные отозванных и снятых с публикации статей должны быть обозначены соответствующим предупреждением и соединены между собой ссылками.

Обязанности рецензентов

Рецензенты должны профессионально и объективно аргументировать свою позицию и в указанный срок предоставить редактору оценку научной ценности рукописи.

Рецензенты, рассматривая работы оценивают соответствие темы работы с профилем журнала, релевантность исследуемой области и примененных методов, оригинальность и научную значимость результатов, представленных в рукописи, стиль научного изложения, а также использование в тексте научного аппарата.

Профессиональный рецензент оказывает поддержку Редакции при принятии решений о публикации статьей, а также, оказывает содействие авторам в целях улучшения качества их работы. Взаимодействие рецензента с авторами осуществляется путём контактов с ними через Редакцию.

В случае если рецензент считает, что он в достаточной степени не обладает качествами, необходимыми для осуществления профессиональной рецензии работы, или не сможет её осуществить во время, то ему необходимо об этом проинформировать Редакцию.

Любая работа, представленная на рецензию, является конфиденциальным документом и её нельзя показывать третьим лицам без одобрения Редакции.

Рецензия должна базироваться на объективных условиях. Не допускается личная критика автора. Рецензенты должны обосновать и доказать свои позиции по отношению к статье.

Рецензенты обязаны идентифицировать релевантные существующие работы, которые автор не цитировал. По любому общему сведению или аргументу приведенным в работе должны быть указаны соответствующие цитаты. Рецензент обязан обратить внимание редактору на эвентуальные сходства работы с другими опубликованными работами, в случае если такое будет обнаружено.

Мнение и выводы о рукописи статьи, к которым пришли рецензенты является конфиденциальной информацией и ей нельзя воспользоваться для личных потребностей. Рецензентам рекомендуется не рецензировать работы, которые могут вызвать коллизию интересов (конкуренты, совместная работа, или иные другие отношения с автором, компанией или учреждением связанными с работой).

Обязанности авторов

В своей исследовательской работе авторы должны придерживаться принципов четкости, разборчивости, понятности с целью объективного растолкования значения данной работы. Факты и показатели должны быть четко указаны. Работа должна содержать в достаточной степени фактов и деталей, чтобы она могла репродуцироваться. Неправильные или неточные утверждения являются примером неэтического поведения и не будут приняты.

Авторы должны обеспечит Редакцию первичными, необработанными данными, относящимися к работе, и представить их на рассмотрение Редакции, и обеспечить к ним доступ всем заинтересованным лицам, если это является возможным. Также, авторы должны после публикации статьи хранить в разумные сроки полученные результаты.

Авторы должны в своих работах заниматься полностью оригинальными вопросами. В случае если они в своей работе использовали данные или факты других авторов, то об этом необходимо указать в работе.

Также, авторы должны свои работы публиковать только в одном научном журнале, или размещать публикации на сайте с прямыми ссылками. Публикация одной и той же работы в нескольких научных журналах считается неэтичным поведением и является недопустимой.

Авторы работ обязаны указать в своих работах все материалы, которыми они воспользовались при исследовании, в том числе все публикации, которые повлияли на результаты их исследований.

Авторство должно быть ограничено только теми лицами, которые в значительной степени участвовали в процессе исследования и получения результатов работы. Имена, отчества, фамилии всех лиц, участвующих в значительной степени в процессе исследования и получения результатов работы, должны быть указаны в работе в качестве соавторов, и их необходимо поблагодарить за содействие.

Автор должен обеспечить условия, чтобы имена, отчества, фамилии всех соавторов, действительно участвующих в процессе исследования и содействующих получению результатов, были указаны в работе. Также, обязанностью автора является предоставление окончательной версии работы соавторам на согласование.

В случае появления в процессе исследования необходимости контакта с опасными веществами, т.е. веществами, обладающими потенциальной опасностью в

отношении человека, животных и окружающей среды, то автор об этом должен четко указать в работе.

Каждый автор обязан в работе указать на все виды потенциальных финансовых или других конфликтов интересов, которые могли бы повлиять на результаты исследования или их интерпретацию. Все источники финансовой поддержки должны быть указаны в работе.

В случае обнаружения автором в работе существенные ошибки или какие-либо неточности, он обязан об этом незамедлительно сообщить Редакции журнала или издателю, также оказать содействие в их исправлении.

Разрешение спорных ситуаций

Любое лицо, либо учреждение вправе в любой момент предъявить претензию редактору или редколлегии в связи с нарушением этических стандартов и авторских прав, подкрепив ее достоверными доказательствами.

По получении претензии, подкрепленной доказательствами, редакционная комиссия проведет расследование, в соответствии со следующими принципами: редколлегия принимает решение о проведении проверки по поводу выдвинутых жалоб и доказательств о нарушении редакционной этики; в процессе рассмотрения доказательств, все материалы считаются конфиденциальными и будут предоставлены только тем лицам, которые непосредственно причастны к процессу проверки; подозреваемым лицам в нарушении этических норм будет предоставлена возможность ответить на выдвинутое против них обвинение; в случае выявления нарушения, характеризуется его степень, как грубого или негрубого нарушения этических норм.

В случае негрубого нарушения, редакция напрямую, без содействия третьих лиц, обращается к нарушителю, следующим образом: путем уведомления автора/рецензента о наличии негрубого нарушения, произошедшего вследствие недопонимания, либо несоответственного применения академических стандартов; путем предупреждения автора/рецензента, допустившего негрубое нарушение.

В случае грубого нарушения этических норм, редакция принимает решение о дальнейших мерах. Редакция вправе предпринять следующие меры (одновременно, поочередно или в отдельности): обнародование сообщения, в котором описывается случай нарушения этических стандартов; официальное уведомление руководителей или работодателей автора/рецензента; снятие опубликованной статьи с публикации, в соответствии с предписаниями; авторы-нарушители определенный период времени не будут допускаться к публикации в журнале; уведомление релевантных профессиональных организаций и соответствующих учреждений о случае, в целях привлечения нарушителя к ответственности.

При разрешении спорных ситуаций редакция журнала соблюдает предписания и инструкции Руководства Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics – COPE): http://publicationethics.org/resources/.

Отказ от ответственности

Вынесенные позиции в опубликованных работах не обязательно отражают точку зрения редколлегии журнала. Авторы несут полную юридическую и моральную ответственность за представленные в своих работах идеи. Редакция не несет никакой ответственности в случае возникновения требований по возмещению материального или морального вреда.

PUBLICATION ETHICS STATEMENT

The publication of an article in this peer reviewed journal is an essential model for the scientific journal *Military Technical Courier*. It is necessary to agree upon standards of expected ethical behavior for all parties involved in the act of publishing: the author, the journal editor, the peer reviewer and the publisher.

Duties of the *Military Technical Courier* editor

There are no APCs (author processing charges) or submission charges for the articles submitted to the *Military Technical Courier*. The whole process of article editing and publishing is entirely free of charge for authors.

The editor of the *Military Technical Courier* is responsible for deciding which of the articles submitted to the journal should be published. The Editor must hold no conflict of interest with regard to the articles he/she considers for publication. If an Editor feels that there is likely to be a perception of a conflict of interest in relation to their handling of a submission, the selection of reviewers and all decisions on the paper shall be made by the Editorial Board. If any member of the Editorial Board feels that there is likely to be a perception of a conflict of interest in relation to their handling of a submission, they shall withdraw from the editorial process.

The editor should be guided by the policies of the journal's editorial board and constrained by such legal requirements as shall then be in force regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The editor may confer with the members of the editorial board or reviewers in making this decision.

The editor should evaluate manuscripts for their intellectual content without regard to race, gender, sexual orientation, religious belief, ethnic origin, citizenship, or political philosophy of the authors.

Following the recommendations of the CEON Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES), the editor applies the electronic editing system ASSISTANT which enables transparency and public access to work and accepts a full responsibility for the acceptance and publishing of articles.

Before sending articles for peer reviews, the editor checks the content of the submitted manuscripts for plagiarism using the iThenticate service (CrossRef and CrossCheck). According to the standards applied by the journal, plagiarism, where someone assumes another's ideas, words, or other creative expression as one's own, is a clear violation of scientific ethics. Plagiarism may also involve a violation of copyright law, punishable by legal action. Plagiarism includes the following: word for word, or almost word for word copying, or purposely paraphrasing portions of another author's work without clearly indicating the source or marking the copied fragment (for example, using quotation marks); copying equations, figures or tables from someone else's paper without properly citing the source and/or without permission from the original author or the copyright holder. Any manuscript which shows obvious signs of plagiarism will be automatically rejected.

Journal applies a „double blind peer review process“ for papers. Authors and reviewers are anonymous to each other in the process of review.

The editor and any editorial staff must not disclose any information about a submitted manuscript to anyone other than the corresponding author, reviewers, potential reviewers, other editorial advisers, and the publisher, as appropriate.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in an editor's own research without the express written consent of the author.

The Editorial Office has pledged to remove an already published article in case of the following, subsequently discovered facts regarding the article in question:

– plagiarism,
– self-plagiarism,
– article already published in some other journal or publication,
– inaccurate data on authorship (fake claim of authorship, listing authors who did not participate in the article's creation or omitting authors who did participate),
– conflict of interests,
– fraudulent use of data or fabrication of results,
– unauthorised technical interventions on figures,
– substantial technical error such as omitting parts of the text or an error in reproducing illustrations.

Standards for dealing with retractions have been developed by a number of library and scholarly bodies, and this practice has been adopted for article retraction by our journal: in the electronic version of the retraction note, a link is made to the original article. In the electronic version of the original article, a link is made to the retraction note where it is clearly stated that the article has been retracted. The original article is retained unchanged, save for a watermark on the PDF indicating on each page that it is “RETRACTED”.

Retractions and corrections are published according to the requirements set up by CEON/CEES (http://www.ceon.rs/pdf/postupanje_s_nelegitimnim_radovima.pdf) as the publisher of national citation index, where metadata of retractions and retracted papers have to be marked by appropriate warnings and cross-links.

Duties of reviewers

Reviewers are required to provide written, competent and unbiased feedback in a timely manner on the scholarly merits and the scientific value of the manuscript.

The reviewers assess manuscript for the compliance with the profile of the journal, the relevance of the investigated topic and applied methods, the originality and scientific relevance of information presented in the manuscript, the presentation style and scholarly apparatus.

A peer reviewer assists the editor in making editorial decisions and through the editorial communications with the author may also assist the author in improving the paper.

Any selected referee who feels unqualified to review the research reported in a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should notify the editor and excuse himself from the review process.

Any manuscripts received for review must be treated as confidential documents. They must not be shown to or discussed with others except as authorized by the editor.

Reviews should be conducted objectively. Personal criticism of the author is inappropriate. Referees should express their views clearly with supporting arguments.

Reviewers should identify relevant published work that has not been cited by the authors. Any statement that an observation, derivation, or argument had been previously reported should be accompanied by the relevant citation. A reviewer should also call to the editor's attention any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other published paper of which they have personal knowledge.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in a reviewer’s own research without the express written consent of the author. Privileged information or ideas obtained through peer review must be kept confidential and not used for personal advantage. Reviewers should not consider manuscripts in which they have

conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships or connections with any of the authors, companies, or institutions connected to the papers.

Duties of authors

Authors warrant that their manuscript is their original work, that it has not been published before and is not under consideration for publication elsewhere. Parallel submission of the same paper to another journal constitutes a misconduct and eliminates the manuscript from consideration by the journal.

The reviewers assess manuscript for the compliance with the profile of the journal, the relevance of the investigated topic and applied methods, the originality and scientific relevance of information presented in the manuscript, the presentation style and scholarly apparatus.

Authors of reports of original research should present an accurate account of the work performed as well as an objective discussion of its significance. Underlying data should be represented accurately in the paper. A paper should contain sufficient detail and references to permit others to replicate the work. Fraudulent or knowingly inaccurate statements constitute unethical behavior and are unacceptable.

Authors may be asked to provide the raw data in connection with a paper for editorial review, and should be prepared to provide public access to such data if practicable, and should in any event be prepared to retain such data for a reasonable time after publication.

The authors should ensure that they have written entirely original works, and if the authors have used the work and/or words of others, that this has been appropriately cited or quoted.

An author should not in general publish manuscripts describing essentially the same research in more than one journal or primary publication. Submitting the same manuscript to more than one journal concurrently constitutes unethical publishing behavior and is unacceptable.

Proper acknowledgment of the work of others must always be given. Authors should cite publications that have been influential in determining the nature of the reported work.

Authorship should be limited to those who have made a significant contribution to the conception, design, execution, or interpretation of the reported study. All those who have made significant contributions should be listed as co-authors. Where there are others who have participated in certain substantive aspects of the research project, they should be acknowledged or listed as contributors.

The corresponding author should ensure that all appropriate co-authors and no inappropriate co-authors are included on the paper, and that all co-authors have seen and approved the final version of the paper and have agreed to its submission for publication.

If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the author must clearly identify these in the manuscript.

All authors should disclose in their manuscript any financial or other substantive conflict of interest that might be construed to influence the results or interpretation of their manuscript. All sources of financial support for the project should be disclosed.

When an author discovers a significant error or inaccuracy in his/her own published work, it is the author's obligation to promptly notify the journal editor or publisher and cooperate with the editor to retract or correct the paper.

Procedures for dealing with unethical behaviour

Anyone may inform the editors and/or Editorial Staff at any time of suspected unethical behaviour or any type of misconduct by giving the necessary information/evidence to start an investigation. The investigation shall conform to the following principles: the Editorial Staff will initiate an investigation; during an investigation, any evidence should be treated as strictly confidential and only made available to those strictly involved in investigating; the accused will always be given the chance to respond to any charges made against them; if it is judged at the end of the investigation that misconduct has occurred, then it will be classified as either minor or serious/major. Minor misconduct will be dealt directly with those involved without involving any other parties, e.g.: communicating to authors/reviewers whenever a minor issue involving misunderstanding or misapplication of academic standards has occurred, or a warning letter to an author or reviewer regarding fairly minor misconduct. In case of major misconduct, the Editorial Staff should make decisions regarding the course of action to be taken using the evidence available. The possible outcomes are as follows (these can be used separately or jointly): publication of a formal announcement or editorial describing the misconduct; informing the author's (or reviewer's) head of department or employer of any misconduct by means of a formal letter, the formal, announced retraction of publications from the journal in accordance with the Retraction Policy (see below); a ban on submissions from an individual for a defined period; referring a case to a professional organization or legal authority for further investigation and action. When dealing with unethical behaviour, the Editorial Staff will rely on the guidelines and recommendations provided by the Committee on Publication Ethics (COPE): http://publicationethics.org/resources/.)

Disclaimer

The views expressed in the published works do not express the views of the Editors and Editorial Staff. The authors take legal and moral responsibility for the ideas expressed in the articles. Publisher shall have no liability in the event of issuance of any claims for damages. The Publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

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: dobrila.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
др Карина Авагјан
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
Магистр дизайна, *Небойша* Куюнджич
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Технический редактор
Мария Марич
e-mail: marija.maric@mod.gov.rs

Корректор
Добрила Милетич,
e-mail: dobrila.miletic@mod.gov.rs

Перевод на английский язык
Ясна Вишнич
e-mail: jasnavisnjic@yahoo.com, http://orcid.org/0000-0003-1728-4743

Перевод на русский язык
Д.филол.н. *Карина* Кареновна Авагян
e-mail: karinka2576@mail.ru
Оливера Хайдукович
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

Перевод на немецкий язык
Гордана Богданович
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Перевод на французский язык
Драган Вучкович
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.com, http://orcid.org/0000-0003-1620-5601

CIP – Каталогизация перед публикацией
Национальная библиотека Сербии, г. 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 / главный редактор Небойша Гачеша. – Первый выпуск (1953) – г. Белград (ул. Браче Юговича, д. 19): Министерство обороны Республики Сербия, 1953- (Белград: Военная типография). - 24 см
Размещено на сайте: http://www.vtg.mod.gov.rs
Ежеквартально - Издание в электронном виде: Военно-технический вестник (Online) = ISSN2217-4753
ISSN 0042-8469 = Военно-технический вестник
COBISS.SR-ID 4423938

Цена: 350,00 динаров
Тираж: 150 экземпляров

На основании решения Министерства науки и технологий Республики Сербия, № 413-00-1201/2001-01 от 12. 9. 2001 года, журнал «Военно-технический вестник» объявлен изданием, имеющим особое значение для науки.
УДК: Национальная библиотека Сербии, г. 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
Dobrila 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 PhD
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