ISSN 0042-8469
COBISS.SR-ID 4423938

VOJNOTEHNIČKI glasnik

NAUČNI ČASOPIS
MINISTARSTVA ODBRANE
REPUBLIKE SRBIJE

www.vtg.mod.gov.rs 1 UDC 623 + 355/359

GODINA LX JANUAR-MART 2012.

ISSN 0042-8469
COBISS.SR-ID 4423938

MILITARY TECHNICAL Courier

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

www.vtg.mod.gov.rs 1 UDC 623 + 355/359

VOLUME LX JANUARY-MARCH 2012.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE
MEDIJA CENTAR „ODBRANA“
DIREKTOR
Slavoljub M. Marković, potpukovnik
ODSEK ZA IZDAVAČKU DELATNOST
GLAVNI UREDNIK
Dragana Marković
ODGOVORNI UREDNIK
mr *Nebojša* Gaćeša, potpukovnik
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel.: 011/3349-497, 064/80-80-118

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

Adresa redakcije:
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,
Braće Jugovića 19, Beograd
http:/www.vtg.mod.gov.rs
http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs

Pretplata: e-mail: pretplata@odbrana.mod.gov.rs; tel.-fax: 011/3241-009; tekući račun: 840-312849-56

Rukopisi se ne vraćaju

Časopis izlazi tromesečno

Prvi štampani broj Vojnotehničkog glasnika objavljen je 1. 1. 1953. godine

Prvo elektronsko izdanje Vojnotehničkog glasnika na internetu objavljeno je 1. 1. 2011. godine

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojsta@sezampro.rs

MINISTRY OF DEFENCE OF THE REPUBLIC OF SERBIA
ODBRANA MEDIA CENTRE
DIRECTOR
Lt Col *Slavoljub* M. Marković
PUBLISHING DEPARTMENT
EDITOR-IN-CHIEF
Dragana Marković
MANAGING EDITOR
Lt Col *Nebojša* Gaćeša MSc
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs, tel: +381 11 33 49 497, +381 64 80 80 118
EDITORIAL BOARD
– Brigadier General Bojan Zrnić, PhD, Professor, Head of the Department for Defence Technologies, Material Resources Sector, Ministry of Defence, (Head of the Editorial Board)
– Brigadier General Danko Jovanović, PhD, Assistant Professor, Director of Logistics Directorate (J-4) at the General Staff of the Armed Forces of Serbia (Deputy Head of the Editorial Board)
– Stevan M. Berber, PhD, The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand
– Colonel Mirko Borisov, PhD, Assistant Professor, Head of the Military Geografical Institute, Belgrade
– Professor Dragoljub Vujić, PhD, Military Technical Institute, Belgrade
– Brigadier General Mladen Vuruna, PhD, Associate Professor, Head of the Military Academy, Belgrade
– Colonel Goran Dikić, PhD, Associate Professor, Prorector of the University of Defence, Belgrade
– Professor Željko Đurović, PhD, Faculty of Electrical Engineering, Belgrade
– Professor Željko Žilić, PhD, McGill University, Department of Electrical and Computer Engineering, Montreal, Canada
– Professor Aleksa Zejak, PhD, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
– Professor Slobodan Jaramaz, PhD, Head of the Department of Military Mechanical Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
– Major General Miodrag Jevtić, PhD, Professor, Rector of the University of Defence, Belgrade
– Vukica M. Jovanović, PhD, Trine University, Allen School of Eggineering and Technology, Department of Engineering Technology, Angola, Indiana, USA
– Professor Branko Kovačević, PhD, Rector of the University of Belgrade
– Professor Mirko Komatina, PhD, Head of the Department for Thermomechanics at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
– Scientific Advisor Ana Kostov, PhD, Institute of Mining and Metallurgy, Bor, Serbia
– Vasilije M. Manović, PhD, CanmetENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada
– Professor Gradimir V. Milovanović, PhD, Corresponding member of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Megatrend University, Belgrade
– Scientific Advisor Predrag Petrović, PhD, Executive Director for R&D and Radio Communications, Institute of telecommunications and electronics IRITEL AD, Belgrade
– Colonel Zoran Rajić, PhD, Assistant Professor, Director of the Military Technical Institute, Belgrade
– Scientific Advisor Aleksandar Rodić, PhD, Head of the Robotics Laboratory at the Mihajlo Pupin Institute, Belgrade
– Scientific Advisor Srećko S. Stopić, PhD, RWTH Aachen University, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Aachen, Germany
– Professor Miroslav Trajanović, PhD, Head of the Department for Production IT and Management at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš
– Colonel Obrad Čabarkapa, PhD, Scientific Advisor, Head of the Section for Scientific and Inventive Activities, Strategic Planning Department, Defence Policy Sector, Ministry of Defence of the Republic of Serbia
– Lt Colonel Nebojša Gaćeša, MSc, Managing Editor of the Military Courier (Secretary of the Editorial Board)

Address:
MILITARY TECHNICAL COURIER
Braće Jugovića 19, 11000 Beograd, Serbia
http://www.vtg.mod.gov.rs
http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs
Subscription: 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.
Printed by Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b, e-mail: vojsta@sezampro.rs

S A D R Ž A J

Gaćeša N. *Nebojša*
Šezdeseta godina Vojnotehničkog glasnika – u susret jubileju 7–13

NAUČNI ČLANCI

Pamučar S. *Dragan*, Đorović D. *Boban*
Optimizacija modela za proizvodnju i kontrolu zaliha primenom genetskih algoritama 14–38

Milićević R. *Milić*, Župac Ž. *Goran*
Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma 39–56

Šimić P. *Goran*
Učenje programskog jezika Java rešavanjem problema 57–69

Mladenović D. *Dragan*, Jovanović M. *Danko*, Drakulić S. *Mirjana*
Tehnološki, vojni i društveni preduslovi primene sajber ratovanja 70–98

Protić D. *Danijela*, Antić D. *Vladimir*
Smanjenje uticaja greške u krizi: modelovanje zasnovano na agentima 99–114

Ćuk V. *Danilo*, Essuri *Mostafa*, Mandić D. *Slobodan*
Novi zakon vođenja za taktičku raketu zemlja–zemlja 115–135

Demić D. *Miroslav*
Prilog istraživanju uticaja iskošenosti osovina na potrošnju goriva motornog vozila 136–151

Đurđević B. *Mile*
Izračunavanje karakterističnih temperatura očvršćavanja podeutektičkih Al-Si-Cu legura primenom silicijum ekvivalenta 152–168

Jegdić V. *Bore*, Ristić S. *Slavica*, Polić-Radovanović R. *Suzana*, Alil B. *Ana*
Korozija i konzervacija naoružanja i vojne opreme 169–182

Mrdak R. *Mihailo*
Mikrostruktura i mehaničke osobine nikal-hrom-bor-silicijum slojeva proizvedenih plazma sprej postupkom pri atmosferskom pritisku 183–200

Borisov A. *Mirko*, Banković D. *Radoje*
Nova službena kartografska projekcija Srbije 201–215

STRUČNI ČLANCI

Milojević S. *Ivan*, Guberinić V. *Rade*
Stohastički model prognoze potražnje rezervnih delova 216–234

Vuletić V. *Dejan*
Napadi na računarske sisteme 235–249

Markagić S. *Milorad*
Protokoli i pravci razvoja kvantne kriptografije 250–265

Dautović D. *Jovo*
Mogućnosti regeneracije delova brodskih gasoturbinskih motora primenom metode metalizacije plazma postupkom 266–283

Jeremić B. *Radun*
Ekološki aspekti procesa demilitarizacije i uništavanja ubojnih sredstava 284–298

Pokorni J. *Slavko*
14. međunarodna konferencija ICDQM-2011 (prikaz zbornika radova) 299–306

Đurković P. *Vlado*
Treći internacionalni kongres Srpskog društva za mehaniku (prikaz zbornika radova) 307–311

Gaćeša N. *Nebojša*
Prikaz monografije „Opasne materije“ autora Vlade Radića 312–315

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA 316–341
POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA 342–351
SPISAK RECENZENATA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA 352–367
IZJAVA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA O ETIČKOM POSTUPANJU 368–371

C O N T E N T S

Gaćeša N. *Nebojša*
Sixty years of the Military Technical Courier – a jubilee in sight 7–38

SCIENTIFIC PAPERS

Pamučar S. *Dragan*, Đorović D. *Boban*
Optimizing models for production and inventory control using a genetic algorithm 39–56

Milićević R. *Milić*, Župac Ž. *Goran*
An objective approach to determining criteria weights 57–69

Šimić P. *Goran*
Java problem-based learning

Mladenović D. *Dragan*, Jovanović M. *Danko*, Drakulić S. *Mirjana*
Technological, military and social causes for the application of cyber warfare 70–98

Protić D. *Danijela*, Antić D. *Vladimir*
Reduction of error influence in a crisis: agent-based modeling 99–114

Ćuk V. *Danilo*, Essuri *Mostafa*, Mandić D. *Slobodan*
A new guidance law for a tactical surface-to-surface missile 115–135

Demić D. *Miroslav*
Contribution to research of the influence of axle oblique alignment on motor vehicle fuel consumption 136–151

Djurdjevic B. Mile
Thermal description of hypoeutectic Al-Si-Cu alloys using silicon equivalency 152–168

Jegdić V. *Bore*, Ristić S. *Slavica*, Polić-Radovanović R. *Suzana*, Alil B. *Ana*
Corrosion and conservation of weapons and military equipment 169–182

Mrdak R. *Mihailo*
Microstructure and mechanical properties of nickel- chrome – bor – silicon layers produced by the atmospheric plasma spray process 183–200

Borisov A. *Mirko*, Banković D. *Radoje*
New official cartographic projection of Serbia 201–215

PROFESSIONAL PAPERS

Milojević S. *Ivan*, Guberinić V. *Rade*
Stochastic model of forecasting spare parts demand 216–234

Vuletić V. *Dejan*
Attacks on computer systems 235–249

Markagić S. *Milorad*
Protocols and plan of quantum cryptography 250–265

Dautović D. *Jovo*
Possibility to regenerate parts of ship gas turbine engines using the plasma metallization process 266–283

Jeremić B. *Radun*
Environmental aspects of the demilitarization and destruction of ordnance 284–298

Pokorni J. *Slavko*
International conference on dependability and quality management ICDQM-2011 (proceedings review) 299–306

Đurković P. *Vlado*
The third international congress of the Serbian society of mechanics (proceedings review) 307–311

Gaćeša N. *Nebojša*
Review of the monograph Hazardous materials by Vlado Radić 312–315

MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT 316–341
CALL FOR PAPERS AND INSTRUCTIONS FOR AUTHORS 342–351
LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER 352–367
PUBLICATION ETHICS STATEMENT 368–371

ŠEZDESETA GODINA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA – U SUSRET JUBILEJU

Gaćeša N. *Nebojša*,
Ministarstvo odbrane Republike Srbije,
Medija centar „Odbrana“, Vojnotehnički glasnik, Beograd

VRSTA ČLANKA: istoriografski prilog, uvodnik

Sažetak:

U članku je dat osvrt na jubilej koji naučni časopis „Vojnotehnički glasnik“ obeležava u 2012. godini – šezdesetu godišnjicu postojanja, redovnog i neprekidnog izlaženja. Pored istorijata časopisa, izložene su i faze razvoja njegove programske koncepcije. Analizirane su sadašnje reference časopisa, koji je stekao kategoriju naučnog časopisa nacionalnog značaja. „Vojnotehnički glasnik“ je danas otvoreni forum za publikovanje i stimulisanje inovativnog promišljanja o svim aspektima nauke i tehnike, kako pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane Republike Srbije tako i kompletne nacionalne i međunarodne akademske zajednice.

Key words: *Vojnotehnički glasnik, naučni časopis, godišnjica, 60 godina*.

Vojnotehnički glasnik, naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, navršava u 2012. godini šezdesetu godišnjicu postojanja, redovnog i neprekidnog izlaženja.

Vojnotehnički glasnik osnovan je Naredbom načelnika Generalštaba JNA od 27. avgusta 1952. godine, kao nastavljač tradicije pet dotadašnjih časopisa rodova i službi: *Artiljeriskog glasnika*, *Tenkovskog glasnika*, *Vojno-inžinjeriskog glasnika*, *Glasnika veza JA* i *Pozadine i snabdevanja JA*, koji su izlazili u periodu od 1947. do 1952. godine i objavljivali sadržaje iz taktike i tehnike. Osnivačkim aktom definisani su i osnovni zadaci *Vojnotehničkog glasnika*: „da razmatra i proučava pitanja u vezi sa naoružanjem, tehničkom i ostalom materijalnom opremom rodova i službi u pogledu poznavanja, rukovanja, upotrebe, dejstava, čuvanja, otklanjanja neispravnosti i usavršavanja materijala, kao i da rasvetljava tehnička pitanja organizacije, ratna iskustva pozadinskih službi i vojnog saobraćaja i evakuacije“ [1]. Naredbom načelnika Generalštaba JNA od 16. decembra 1952. godine formiran je i prvi uređivački odbor, „koji u direktivnom smislu rukovodi uređivanjem časopisa“, a prvi broj *Vojnotehničkog glasnika* izašao je iz štampe u januaru 1953. godine.

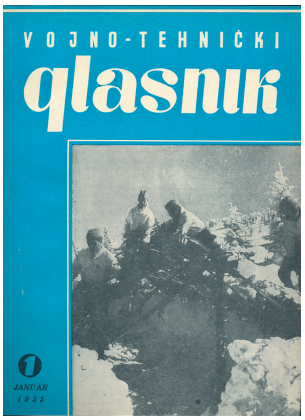
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs

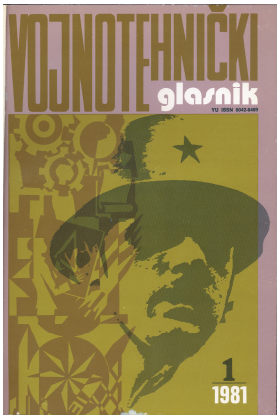
Gaćeša, N., Šezdeseta godina Vojnotehničkog glasnika – u susret jubileju, pp. 7–13

Vojnotehnički glasnik će se sa posebnim pijetetom sećati i publikacija vojnotehničkog karaktera koje su izlazile u našoj zemlji (Kraljevini Srbiji, Kraljevini SHS, odnosno Kraljevini Jugoslaviji) i pre 1945. godine, a koje predstavljaju temelje srpske vojnotehnološke misli: Artilerisko-inžinjerski glasnik (1905–1906), Artiljeriski glasnik (1926–1932), Pešadisko-artileriski glasnik (1933–1941), Inžinjerijski glasnik (1929–1940), Vazduhoplovni glasnik (1927–1941), Mornarički glasnik (1933–1940) [2]. Ovi časopisi su svojim stručnim profilom i kvalitetom nesumnjivo utrli put i današnjem Vojnotehničkom glasniku, a sticajem nesrećnih istorijskih okolnosti bili su nepravedno zapostavljeni u našim sećanjima.

Ponosni smo što smo nastavljači i njihove tradicije.

U proteklom periodu časopis je objavljivao radove iz oblasti tehničkih sredstava vojske, tehničkog obezbeđenja, kao i razvoja, proizvodnje i upotrebe sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO), i u tom pogledu gradio svoj renome, kako u vojnim tako i u civilnim strukturama. Razvijao se od publikacije namenjene edukaciji starešina, u periodu nedostatka adekvatne vojnostručne literature, do stručnog i naučnog časopisa namenjenog za prikaz naučno-tehničkih dostignuća i informacija značajnih za razvoj, proizvodnju i eksploataciju NVO.

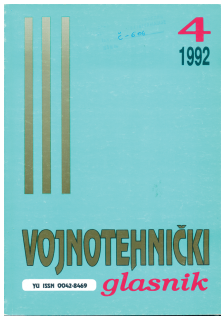


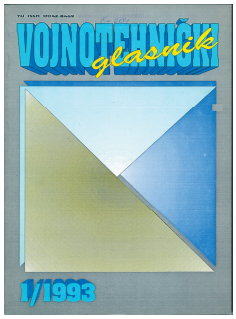


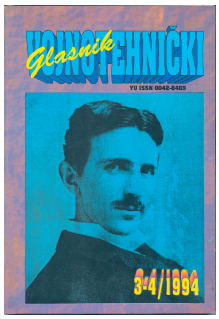
Struktura časopisa, rubrike i područja koji su u njima obrađivani menjali su se u skladu sa razvojem i osavremenjivanjem Vojske u organizacionom i tehničkom pogledu, i u skladu sa zadacima postavljanim programskom koncepcijom i uređivačkom politikom časopisa.

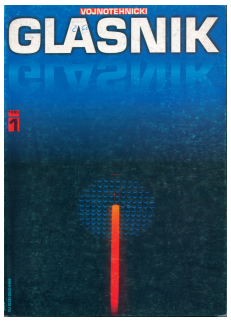
Tako je, u šezdesetogodišnjem periodu, časopis menjao svoja obeležja, formu i sadržaj, nastojeći da ispunjava zahteve prakse i nauke. Od 1952. do 1961. godine bio je stručni časopis za tehniku naoružanja, opreme i snabdevanja; do 1966. godine – stručni časopis rodova i službi JNA, a zatim stručni časopis JNA.

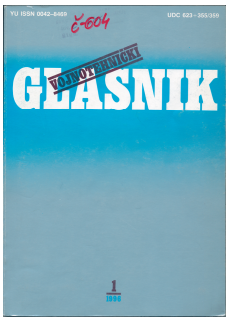
Zahvaljujući uređivačkoj politici, programska koncepcija i orijentacija stalno su usavršavane, tako da je *Vojnotehnički glasnik* izrastao u naučni i stručni časopis koji je cenjen ne samo u vojnoj sredini već i kod civilnih nastavnih i naučnih institucija u zemlji. Od 1989. godine časopis poprima karakter stručnog i naučnog.

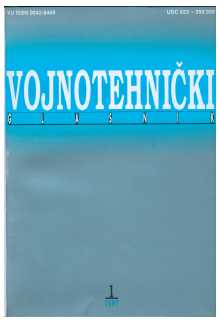












Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, od 12. septembra 2001. godine, časopis *Vojnotehnički glasnik* predstavlja publikaciju od posebnog interesa za nauku.

Danas je *Vojnotehnički glasnik* naučni časopis koji objavljuje naučne i stručne članke iz oblasti za koje je kategorisan od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije kao naučni časopis od nacionalnog značaja: matematika, računarske nauke i mehanika, elektronika i telekomunikacije, mašinstvo, materijali i hemijske tehnologije, industrijski softver i informatika, geonauke i astronomija.

Časopis se prati u kontekstu Srpskog citatnog indeksa – SCindeks i podvrgnut je stalnom vrednovanju (monitoringu) u zavisnosti od uticajnosti (impakta) u samoj bazi i, dopunski, u međunarodnim (Thompson-ISI) citatnim indeksima. Na adresi www.vtg.mod.gov.rs, od 2011. godine, dostupno je i elektronsko izdanje *Vojnotehničkog glasnika* na srpskom, ruskom, engleskom, nemačkom i francuskom jeziku. Od 2012. godine uredništvo primenjuje onlajn sistem e-Ur: Elektronsko uređivanje (http://scindeks-eur.ceon.rs/index.php/vtg), koji je razvio Centar za evaluaciju u obrazovanju i nauci (CEON). Primena servisa e-Ur potvrđuje rešenost Vojnotehničkog glasnika da sa osloncem na računarsko-informatičku tehnologiju, zajedničkim naporom sa autorima i CEON-om, ostvaruje stalni napredak u uticajnosti, kvalitetu i internacionalizaciji radova, časopisa i baze SCIndeks, uključujući i napredak u poštovanju međunarodnih etičkih i publističkih normi.

Na stranici sajta Indeks autora, članaka i urednika (bibliografija) nalazi se pregled autora i njihovih radova objavljenih od broja 1/1953. Svi brojevi *Vojnotehničkog glasnika* biće dostupni u digitalnom obliku na stranici sajta Arhiva. *Vojnotehnički glasnik* predstavlja jedinstven i kompetentan časopis, na nacionalnom nivou, u kojem je moguće publikovati i verifikovati naučne i stručne članke, posebno pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, koji tako imaju mogućnost da kvantifikuju individualne naučnoistraživačke rezultate. I ubuduće će ovaj časopis nastojati da predstavlja naučni potencijal Vojske Srbije i Ministarstva odbrane Republike Srbije i da afirmiše napore institucija i pojedinaca usmerene na rešavanje realnih problema i unapređivanje svih celina i područja iz oblasti vojnotehničkih nauka.

Vojnotehnički glasnik danas nije samo institucionalni resurs, koji se u sistemu odbrane razvija od 1952. godine, već je postao i svojevrsni brend od nacionalnog značaja. U tom smislu, postao je otvoreni forum za publikovanje i stimulisanje inovativnog promišljanja o svim aspektima nauke i tehnike, kako pripadnika Vojske i MO tako i kompletne nacionalne i međunarodne akademske zajednice.

Literatura

[1] Kuprešanin, M., *O ulozi i značaju Vojnotehničkog glasnika*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 1, No. 1, pp. 1–2, Generalštab JNA, Beograd, 1953.

[2] Mijatović, B. I., *Koreni vojne pisane reči*, NIC Vojska, Beograd, 2006.

SIXTY YEARS OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER - A JUBILEE IN SIGHT

ARTICLE TYPE: Historical Item, Editorial

In 2012, the Military Technical Courier, a scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia, marks the 60th anniversary of its regular and continuous publishing.

The Military Technical Courier was founded by a decree of the Chief of the General Staff of the Yugoslav Army in August 1952 in order to continue the tradition of five reviews of military branches and services (Artillery Courier, Tank Courier, Military Engineering Courier, Courier of Communications in the Yugoslav Army and Logistics and Support of the Yugoslav Army) which had been covering tactics and technique issues from 1947 to 1952. According to the founding act, the main tasks of the Military Technical Courier were "to consider and study issues regarding armament, technical and other material equipment of the branches and services concerning the knowledge of the materials, their handling, application, effects, storage, repair and upgrading as well as to deal with technical issues of the organisation, war experience of logistic services and military traffic and evacuation". Chief of the General Staff's decree of 16th December 1952 founding the first editorial board that "has a directive to be responsible for the review editing" was followed by the first issue of the Military Technical Courier in January 1953.

The Military Technical Courier will pay special tributes to the military technical publications published in our country before 1945 (in the Kingdom of Serbia, Kingdom of Serbs, Croats and Slovenians and later the Kingdom of Yugoslavia). The following reviews represent the foundations of the Serbian military technology reasoning: Artillery and Engineering Courier (1905-1906), Artillery Courier (1926-1932), Infantry and Artillery Courier (1933-1941), Engineering Courier (1929-1940), Aviation Courier (1927-1941) and Nautical Courier (1933-1940). There is no doubt that their quality and professional profiles paved also the way to today's Military Technical Courier; however, unfavorable historical reasons pushed them unfairly into the background of our memories.

We are proud to continue their tradition as well.

The journal has been publishing papers dealing with military technical resources and provisions as well as with development, production and exploitation of weapons and military equipment, enhancing its reputation in both military and civilian structures. The journal has developed from a publication for the education of officers in the period of scarce adequate military technical literature to a professional and scientific journal presenting scientific and technical achievements and information important for the development, production and exploitation of weapons and military equipment.

The journal's structure, sections and areas of interest have changed with respect to the Army's technical and organizational development and modernization, following the journal's conceptual and editorial policy.

During its 60 years of existence, the journal has been changing its characteristics, form and content, aiming to meet the requirements of both practice and science. From 1952 to 1961, it was a professional review for weapo-

nry, military equipment and supply; until 1966, it was a professional review of the YA branches and services and a YA professional journal onwards.

Owing to its editorial policy, the journal continued to improve its conception, orientation, quality and position thus becoming a scientific and professional periodical highly regarded not only in military circles but in academic and scientific circles in the country as well. It has held the title of a professional and scientific journal since 1989.

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.

Being classified as a scientific journal of national interest by the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia, the Military Technical Courier is today a scientific journal publishing scientific and professional papers from the following categories: mathematics, information science and mechanics, electronics and telecommunications, mechanical engineering, materials and chemical technologies, industrial software and information technologies, geosciences and astronomy.

The journal is in the Serbian Citation Index – SC index and is constantly monitored depending on the impact within the base itself and on the international (Thompson-ISI) citation indexes. Since 2011, an electronic edition of the Military Technical Courier has been available at www.vtg.mod.gov.rs in Serbian, Russian, English, German and French. Since 2012 editorial applying the on-line Electronic Editing (e-Ur) system (http://scindeks-eur.ceon.rs/index.php/vtg) developed by the Center for Evaluation in Education and Science (CEES). The application of the e-Ur service shows the readiness of the Military Technical Courier, supported by IT technology, authors and the CEON, to endure in making constant advances in the influence, quality and internationalisation of papers, the journal and the Scindex base, including the progress in adherence to international ethical and publishing principles.

As a unique and competent publication on a national level, the Military Technical Courier publishes and verifies scientific and professional papers, those of the members of the Ministry of Defence and the Army of Serbia in particular, who thus have the opportunity to quantify their scientific and research results.

The Military Technical Courier will continue to represent the scientific potential of the Army of Serbia and the Ministry of Defence of the Republic of Serbia and to support the efforts of institutions and individuals aiming at solving existing problems and making improvement in all areas of military technical science.

Nowadays, the Military Technical Courier is not only an institutional resource being developed within the defence system from 1952, but also a brand of national interest.

It has therefore become an open forum for the publication and stimulation of innovative thinking about all aspects of science and technology, coming from not only the Army and MoD members, but from the national and international community as well.

Key words: *Military Technical Courier, scientific periodical, anniversary, 60 years.*

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, 2012., Vol. LX, No. 1

NAUČNI ČLANCI
SCIENTIFIC PAPERS

OPTIMIZING MODELS FOR PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL USING A GENETIC ALGORITHM

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

FIELD: Mathematics (Operations Research)
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

In order to make the Economic Production Quantity (EPQ) model more applicable to real-world production and inventory control problems, in this paper we expand this model by assuming that some imperfect items of different product types being produced such as reworks are allowed. In addition, we may have more than one product and supplier along with warehouse space and budget limitation. We show that the model of the problem is a constrained non-linear integer program and propose a genetic algorithm to solve it. Moreover, a design of experiments is employed to calibrate the parameters of the algorithm for different problem sizes. In the end, a numerical example is presented to demonstrate the application of the proposed methodology.

Key words: *Genetic algorithm, economic production quantity, opitimizing.*

Introduction and Literature Review

The economic production quantity (EPQ) is one of the most applicable models in production and inventory control environments. This model can be considered as an extension to the well-known economic order quantity (EOQ) model [1]. Regardless of the simplicity of EOQ and EPQ, they are still applied industry-wide today [2].

dpamucar@gmail.com

Traditional EPQ models assume that a production process always produces parts with perfect quality. However, process failures are a fact of any workplace. It is more realistic to assume that production is sometimes imperfect. Such a production process is called imperfect production [3]. Rosenblatt and Lee investigated the influence of process deterioration on optimal EPQ [4].

A multiproduct single-machine system on EPQ problem in which the production defective rates of all items are random variables and all defective items are assumed to be scrapped (rework is not allowed) is considered. Besides, the productions of all items are performed on a single machine such that there is a limited capacity, and that shortages are allowed and are considered to be partially backordered. Furthermore, the service level is another constraint of the system [5]. Goyal et al developed a simple approach for determining an optimal integrated vendor-buyer inventory policy for an item with imperfect quality [6].

Hou and Lin studied the effect of an imperfect production process on the optimal production run length when capital investment in process quality improvement is adopted [7].

Leung proposed an EPQ model with a flexible and imperfect production process[8]. He formulated this inventory decision problem using geometric programming. Recently, Hou considered an EPQ model with imperfect production processes, in which the setup cost and process quality are functions of capital expenditure [9,10].

Specifically, Hsu and Yu investigate an EOQ model with imperfective items under a one-time-only sale, where the defectives can be screened out by a 100% screening process and then can be sold in a single batch by the end of the 100% screening process [11].

In real manufacturing environments, producing defective items is inevitable. These defective items must be rejected, repaired, reworked, or, if they have reached the customer, refunded. In all cases, substantial costs are incurred. Therefore, it is more appropriate to take the quality related cost into account in determining the optimal ordering policy. In the literature, Porteus initially studied the effect of process deterioration on the optimal production cycle time [12]. Tapiero links optimal quality inspection policies and the resulting improvements in the manufacturing cost [13].

With the assumption that imperfect items are removed from inventory, the production cycles are no longer identical (rather renewable points are defined at the beginning of every cycle), and the expected cost depends on both the mean and variance (second moment) of the amount of imperfect quality items in a lot. One contribution of this paper is deriving an expression for the variance of the number of imperfect quality items resulting from a two-state Markov process and incorporating this in the expected cost function [14].

Wahab and Jaber present models [15] based on [3], [16] and [17] with different holding costs for good items and defective items.

An EPQ model is considered, where demand of the item is fuzzy random in nature with known probability distribution and the production process is assumed to be not 100% perfect, i.e. a fraction of the produced items are defective. Further, it is assumed that the defective items are sold at a reduced price and the selling price of fresh units is taken as a mark up over the unit production cost. The model is formulated to maximize the expected average profit. Since demand is fuzzy random in nature, expected profit is a fuzzy number [18].

The optimization of choice by the application of fuzzy logic in practice has been applied many times [19, 20, 21, 22]

In practice, as the production of defective items is inevitable, reworking process is often done. Gopalan and Kannan wrote [23]: "All over the world, industries are concentrating in making quality an inherent in their products. In spite of these efforts, rework is becoming an unavoidable factor in many production systems as in glass manufacturing, food processing, etc."

An integrated EPQ model that incorporates EPQ and maintenance programs is presented. This model considers the impact of restoration action such as imperfect repair; rework and PM on the damage of a deteriorating production system [24]. Jaber et al investigate the production processes that generate defects requiring rework [25]. It does this by using an EOQ model with entropy costs. Chiu et al [26] extend the prior works [27, 28] and study the optimal run time problem of EPQ model with scrap, reworking of defective items, and stochastic breakdowns. Since little attention was taken into the area of investigating joint effects of the aforementioned practical situations on optimal production run time; this paper intends to serve this purpose.

In recent years, several researchers have applied genetic algorithms (GAs) as an optimization technique to solve the production/ inventory problems. For example Rezaei and Davoodi introduce imperfect items and storage capacity in the lot sizing with a supplier selection problem and formulate the problem as a mixed integer programming model [29]. Then the model is solved with a Genetic Algorithm. There are several interesting and relevant papers related to the application of GA in inventory problems such as [30, 31, 9, 10, 32, 33, 34].

Pasandideh et al developed a multi-product EPQ model with limited warehouse space. In addition, they assumed that the rate of imperfect and scrap items is known, and reworking makes the imperfect products perfect. Under these conditions, they formulated the problem as a non-linear integer-programming model and proposed a genetic algorithm to solve it [35].

In this paper, we extend the Pasandideh model assuming a multi-supplier. Also we consider the transportation cost and budget limitation in our model. Other conditions and constraints are the same as in their work.

The rest of the paper is organized as follows. The problem along with its assumptions is defined in Section 2. In Section 3, the problem is mathematically formulated. After a brief introduction in Section 4, a genetic algorithm is proposed to solve the model. In Section 5, a design of experiments (DOE) is used to analyze the performance of the proposed GA. This analysis is important to improve the performance of the proposed GA by identifying the optimal values of its control parameters. Section 6 includes the results of applying the proposed genetic algorithm to a numerical example. The conclusion and recommendations for future research are given in Section 7.

Problem Definition

Consider a production company that works with more suppliers to produce more products. All of the produced items are inspected to be classified as perfect, imperfect (defective but repairable) and scrap (defective and not repairable) products. The situations by which the company and the supplier interact with each other are defined as follows:

– Required time of the inspection task is zero.

– All imperfect products are reworked to be perfect and the scrap products are sold with the reduced price;

– The work in process inventory (WIP) consists of three types of materials around the manufacturing machines: raw material, perfect products and imperfect products;

– The budget and warehouse space of the company for all products are limited;

– Shortage and delay are not allowed;

– All parameters, such as the demand rate, the rate of imperfect and scrap items production, the setup cost, etc. are all known and deterministic;

– Transportation cost is a fraction of the raw material cost per unit;

The objective is to determine the order quantity of the products for each supplier while minimizing the total inventory cost and keeping the constraints satisfied. It means to determine products ordered in certain quantities through certain suppliers.

Problem Modeling

In order to mathematically formulate the problem at hand, we take advantage of the classical EPQ model and extend it to the problem to contain perfect, imperfect and scrap items along with the warehouse and budget capacity. In order to model the problem, first we define the parameters and the variables. Then we demonstrate the situation by inventory graphs and different costs and finally we present the model of the problem.

Variables and parameters

For products $j = 1,...,m$ and suppliers $i = 1,...,n$, we define the variables and the parameters of the model as follows:

n	Number of suppliers,
m	Number of products,
Q_{ij}	Order quantity,
P_{ij}	Production rate,
D_{ij}	Demand rate,
A_{ij}	Setup cost per cycle,
h_{ij}	Holding cost rate,
M_{ij}	The cost of raw material per unit,
S_{ij}	Setup time,
m_{ij}	Machining time per unit,
R_{ij}	Production cost rate per unit time,
c_{ij}	Average production cost per unit,
v_{ij}	Average value added per unit,
$\overline{W}_{ij}$	Average investment per unit of WIP,
$\overline{I}_{ij}$	Average amount of warehouse inventory,
p_{1ij}	Imperfect production percentage,
p_{2ij}	Scrap production percentage,
s_{1ij}	Perfect production cost,
s_{2ij}	Scrap production cost,
T_{ij}	Cycle time,
TP_{ij}	Total time per cycle to produce,
t_{ij}	Average production time per unit,
α	Fraction of raw material cost for transportation cost,
f_{ij}	Required space per perfect unit,
F	Total available warehouse space for all products,
C_{ij}	Providence cost per unit,
X	Maximum capital,
TC_{Pij}	Total procurement cost,
TC_{Oij}	Total set up cost,
TC_{Iij}	Total inspection cost,
TC_{Tij}	Total transportation cost,
TC_{WIPij}	Total holding cost for WIP,
TC_{Hij}	Total holding cost for perfect products,
TC	Total annual cost of all products.

Inventory graph

In order to calculate all inventory costs, it is necessary to survey the work in process and warehouse inventory. For the problem at hand, the graph of raw material quantity versus time is demonstrated in Fig. 1. In addition, the graphs of the perfect and scrap WIP inventory versus time are illustrated in Figs. 2 and 3, respectively. In this problem, the rate of demand is constant and hence a graph of the final product quantity in the warehouse is similar to the EOQ model and is given in Fig. 4.

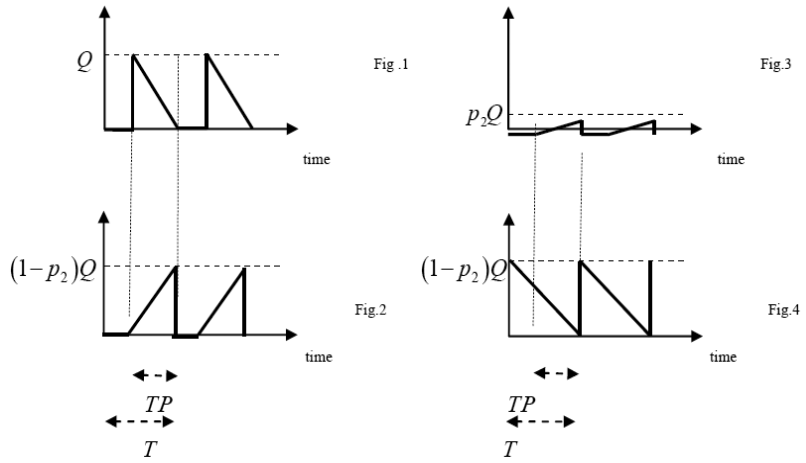


Figure 1-4. Inventory graphs of row material (Figure 1), perfect products (Figure 2), scrap items (Figure 3) and the product in the warehouse (Figure 4)

Costs calculations

The total annual cost of all products (TC) is the sum of total procurement cost (TC_{Pij}), total set up cost (TC_{Oij}), total inspection cost (TC_{Iij}), total transportation cost (TC_{Tij}), total holding cost for WIP inventory (TC_{PWIij}) and the total holding cost for warehouse inventory (TC_{Hij}) for all products. In other words, we have:

$$TC = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (TC_{Pij} + TC_{Oij} + TC_{Iij} + TC_{Tij} + TC_{WIPij} + TC_{Hij}) \qquad (1)$$

In any cycle, since the set up time, the production time and the reworking time are equal to S_{ij}, $m_{ij}Q_{ij}$ and m_{ij} ($p_{1ij}Q_{ij}$), respectively, the total time to produce the product j, (TP_{ij}), is given in (2).

$$TP_{ij} = S_{ij} + m_{ij}Q_{ij} + m_{ij}(p_{1ij}Q_{ij}) = S_{ij} + m_{ij}Q_{ij}(1 + p_{1ij}) \qquad (2)$$

Hence, the average production time for each unit of the product *j* is:

$$t_{ij} = \frac{TP_{ij}}{Q_{ij}} = \frac{S_{ij}}{Q_{ij}} + m_{ij}(1 + p_{1ij}) \tag{3}$$

Based on R_{ij} which is the rate of production cost per unit time, v_{ij} and c_{ij} are obtained as:

$$v_{ij} = R_{ij}t_{ij} = R_{ij}(\frac{S_{ij}}{Q_{ij}} + m_{ij}(1 + p_{1ij})) \tag{4}$$

$$c_{ij} = M_{ij} + v_{ij} = M_{ij} + R_{ij}(\frac{S_{ij}}{Q_{ij}} + m_{ij}(1 + p_{1ij})) \tag{5}$$

Since delays are not allowed, the supply and the demand quantities are equal and we have:

$$(1 - p_{2ij})Q_{ij} = D_{ij}T_{ij} \Rightarrow T_{ij} = \frac{(1 - p_{2ij})Q_{ij}}{D_{ij}} \tag{6}$$

As s_{1ij} and s_{2ij} represent the price of the perfect and the scrap items, respectively, the average revenue in unit time is obtained as:

$$TR_{ij} = \frac{(1 - p_{2ij})Q_{ij}s_{1ij} + p_{2ij}Q_{ij}s_{2ij}}{T_{ij}} = D_{ij}s_{1ij} + \frac{p_{2ij}}{1 - p_{2ij}}D_{ij}s_{2ij} \tag{7}$$

Note that for the problem at hand the revenue in unit time does not depend on the lot size.

Now, based on (2) to (6), the inventory costs of (1) are calculated as follows:

Total procurement cost (TC_{Pij})

Since the annual rate of demand for each product is known, the total procurement cost for the product j per unit time is obtained as:

$$TC_{Pij} = \frac{m_{ij}Q_{ij}}{T_{ij}} = \frac{m_{ij}D_{ij}}{(1 - p_{2ij})} \tag{8}$$

Total setup cost (TC_{Oij})

For each product, the setup process accrues only once and hence the set up cost per unit time of the j^{th} product can be obtained as:

$$TC_{Oij} = \frac{A_{ij}}{T_{ij}} = \frac{A_{ij}D_{ij}}{Q_{ij}(1 - p_{2ij})} \tag{9}$$

Total inspection cost (TC_{Iij})

Assuming 100% inspection and that all of the imperfect products transform to perfect ones after reworks, the inspection of each product occurs once and its associated cost per unit time is obtained as

$$TC_{Iij} = \frac{I_{ij}Q_{ij}}{T_{ij}} = \frac{I_{ij}D_{ij}}{1-p_{2ij}} \tag{10}$$

Total transportation cost (TCTij)

Here, we assume the transportation cost related to a fraction of the raw material cost. Thus

$$TC_{Tij} = \alpha(1-p_{2ij})M_{ij}Q_{ij} \tag{11}$$

Total holding cost for WIP (TCWIPij)

In order to calculate the holding cost of the WIP inventory of the j[th] product, since $\overline{W}_{ij}$ denotes the average investment per unit of the WIP inventory (including raw materials, perfect and imperfect items) and h_{ij} represents the holding cost rate of the j[th] product, then

$$TC_{WIPij} = h_{ij}\overline{W}_{ij} \tag{12}$$

The average raw material inventory of each product is the total amount of raw materials (the surface under its corresponding inventory graph) divided by the cycle time. Accordingly, the average investment value of the raw material is obtained by the product of the average raw material inventory and the price per unit of the raw material. The average investment value ofperfect and imperfect products can be calculated similarly. Hence, the average investment value per unit of the WIP inventory of the product *j* is given in (13).

$$\begin{aligned}\overline{W}_{ij} &= \frac{\frac{1}{2}Q_{ij}TP_{ij}}{T_{ij}}M_{ij} + \frac{\frac{1}{2}(1-p_{2ij})Q_{ij}TP_{ij}}{T_{ij}}c_{ij} + \frac{\frac{1}{2}p_{2ij}Q_{ij}TP_{ij}}{T_{ij}}c_{ij} \\ &= \frac{1}{2}\frac{Q_{ij}TP_{ij}}{T_{ij}}(M_{ij}+c_{ij}) \\ &= \frac{D_{ij}}{2(1-p_{2ij})}[S_{ij}+m_{ij}(1+p_{1ij})Q_{ij}][2M_{ij}+\frac{R_{ij}S_{ij}}{Q_{ij}}+R_{ij}m_{ij}(1+p_{1ij})]\end{aligned} \tag{13}$$

Hence, based on (12) and (13), the average holding cost of the WIP inventory of the product *j* is

$$TC_{WIPij} = \frac{h_{ij}D_{ij}}{2(1-p_{2ij})}[S_{ij} + m_{ij}(1+p_{1ij})Q_{ij}][2M_{ij} + \frac{R_{ij}S_{ij}}{Q_{ij}} + R_{ij}m_{ij}(1+p_{1ij})] \quad (14)$$

Total holding cost for perfect products (TCHij)

In order to calculate the holding cost of the warehouse inventory, we first need to estimate the average warehouse inventory. Regarding Fig. 4, we have

$$\overline{I}_{ij} = \frac{\frac{1}{2}Q_{ij}(1-p_{2ij})T_{ij}}{T_{ij}} = \frac{1}{2}Q_{ij}(1-p_{2ij}) \quad (15)$$

Hence, using (5) and (15), the holding cost of the warehouse inventory for the product *j* becomes

$$TC_{Hij} = h_{ij}c_{ij}\overline{I}_{ij} = \frac{1}{2}h_{ij}\{M_{ij} + R_{ij}[\frac{S_{ij}}{Q_{ij}} + m_{ij}(1+p_{1ij})]\}Q_{ij}(1-p_{2ij}) \quad (16)$$

Finally, the total annual inventory cost of all products described in (1) is given in (17).

$$\begin{aligned} TC &= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(TC_{Pij} + TC_{Oij} + TC_{Iij} + TC_{Tij} + TC_{WIPij} + TC_{Hij}) \\ &= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left[\begin{array}{l} \frac{m_{ij}D_{ij}}{(1-p_{2ij})} + \frac{A_{ij}D_{ij}}{Q_{ij}(1-p_{2ij})} + \frac{I_{ij}D_{ij}}{(1-p_{2ij})} + \alpha(1-p_{2ij})M_{ij}Q_{ij} \\ + \frac{h_{ij}D_{ij}}{2(1-p_{2ij})}\left[S_{ij} + m_{ij}(1+p_{1ij})Q_{ij}\right] \\ \times\left[2M_{ij} + \frac{R_{ij}S_{ij}}{Q_{ij}} + R_{ij}m_{ij}(1+p_{1ij})\right] \\ + h_{ij}\{M_{ij} + R_{ij}\left[\frac{S_{ij}}{Q_{ij}} + m_{ij}(1+p_{1ij})\right]\}\frac{1}{2}Q_{ij}(1-p_{2ij}) \end{array}\right] \end{aligned} \quad (17)$$

Problem formulation

The objective of the model is to determine the optimum value of Q_{ij} for each supplier such that the total annual cost is minimized and the following constraints are satisfied:

1. The warehouse space to store the products is limited and
2. Budget limitation.

Hence, the problem can be formulated as:

$$MinTC = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left[\begin{array}{l}\dfrac{m_{ij}D_{ij}}{(1-p_{2ij})}+\dfrac{A_{ij}D_{ij}}{Q_{ij}(1-p_{2ij})}+\dfrac{I_{ij}D_{ij}}{(1-p_{2ij})} \\ +\alpha(1-p_{2ij})M_{ij}Q_{ij}+\dfrac{h_{ij}D_{ij}}{2(1-p_{2ij})}\left[S_{ij}+m_{ij}(1+p_{1ij})Q_{ij}\right] \\ \times\left[2M_{ij}+\dfrac{R_{ij}S_{ij}}{Q_{ij}}+R_{ij}m_{ij}(1+p_{1ij})\right]+h_{ij} \\ \times\{M_{ij}+R_{ij}\left[\dfrac{S_{ij}}{Q_{ij}}+m_{ij}(1+p_{1ij})\right]\}\dfrac{1}{2}Q_{ij}(1-p_{2ij})\end{array}\right]$$

$$st.:$$

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}(1-p_{2ij})f_{ij}Q_{ij}\le F \tag{18}$$

$$\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}(1-p_{2ij})C_{ij}Q_{ij}\le X \tag{19}$$

$$Q_{ij}\succ 0;\ j=1...m, i=1...n \tag{20}$$

Since the model in (18), (19) and (20) is a constrained non-linear integer program, in the next section a genetic algorithm will be proposed to solve it.

Genetic Algorithm

GAs mimic the evolutionary process by implementing a ‘‘survival of the fittest’’ strategy. GAs are probabilistic search and optimization techniques guided by the principles of evolution and natural genetics. This method provides global near-optimal solutions of an objective or fitness function by striking a remarkable balance between exploration and exploitation in complex, large, and multi-modal landscapes.

A more complete discussion of GAs including extensions to the general algorithm and related topics can be found in books by Davis [36], Goldberg [37], Holland [38] and Michalewicz [39].

In each evolution step of a standard genetic algorithm, a new population is created from the preceding one using the selection, crossover and mutation operators that explain these in the following.

In the next subsections, we demonstrate the steps required to solve the model given in (18), (19) and (20) by a genetic algorithm.

Chromosome representation

The first step of developing a GA is to encode the problem's variables as a finite-length string called chromosome. Traditionally, chromosomes are a simple binary string. This simple representation is not well suited for combinatorial problems; therefore, a chromosome consisting of integers is a solution in this paper. In the GA method, we select a two-dimensional structure to represent a solution. This matrix has n rows and m columns. The elements of each column show the number of products.

$$\begin{bmatrix} 15 & 10 & 67 & 20 & 38 \\ 12 & 7 & 32 & 45 & 50 \end{bmatrix}$$

Figure 5. Structure of a chromosome

In addition, the elements of each row show the number of suppliers. For example, when we have 2 suppliers and 5 products, the chromosome matrix is 2×5. Fig. 5 presents a typical form of a chromosome.

Initialization of the population

For any GA it is necessary to initialize the population. The most common method is to randomly generate solutions for the entire population. Since GAs iteratively improves existing solutions, the beginning population can be seeded by the decision maker with individuals from other algorithms or from an existing solution to the problem. The remainder of the population is then seeded with randomly generated solutions.

In this research, the initial population is randomly generated regarding the population sizes that vary between 1 and a maximum order.

Constraint-handling and fitness evaluation

The fitness value is a measure of the goodness of a solution with respect to the original objective and the ‘‘amount of infeasibility’’. The fitness function is formed by adding a penalty to the original objective function in the MIP model [40, 41].

Since finding a feasible solution (which will satisfy all constraints in the MIP model) is a major problem and there is a difficulty to find even one feasible solution, we use the penalty approach to decrease the fitness of infeasible solutions towards the feasible region.

In this study, we use the additive form of the penalty function (Pen(S)) and the fitness function (fitn(S)) with the following form:

$$\begin{aligned} fitn(S) &= f(S) + Pen(S) \\ Pen(S) &= 0 \quad if\ S\ is\ feasible \\ Pen(S) &> 0 \quad otherwise \end{aligned} \tag{21}$$

Where, *f(S)* is the objective function in (18), (19) and (20) and *S* represents a solution. In this approach, we search for the solution that minimizes *fitn(S)*.

Selection operator

The selection of parents to produce successive generations plays an extremely important role in the GA. The goal is to allow the fittest individuals to be selected more often to reproduce. However, all individuals in the population have a chance of being selected to reproduce the next generation. Each individual is assigned a probability of being selected with better individuals having larger probabilities. There are several schemes for determining and assigning the selection probability, e.g. roulette wheel selection, tournament selection and its extensions scaling techniques and ranking methods [37] and [39].

A ‘‘roulette wheel selection” procedure has been applied for the selection operator of this research. This selection approach is based on the concept of selection probability for each individual proportional to the fitness value. For individual k with fitness f_k, its selection probability p_k is calculated as follows:

$$p_k = \frac{f_k}{\sum_{k=1}^{PopSize} f_k} \tag{22}$$

Then a biased roulette wheel is made according to these probabilities. The selection process is based on spinning the roulette wheel *PopSize* times. The individuals selected from the selecting process are then stored in a mating pool. Moreover, in order to prevent losing the best-found solution, a simple elitist strategy is also used in which the best chromosome of each generation is always copied to the next generation without any modification. This selection approach causes the algorithm to converge faster.

Genetic Operators

There are two types of operators involved in the genetic algorithm proposed: mutation and crossover.

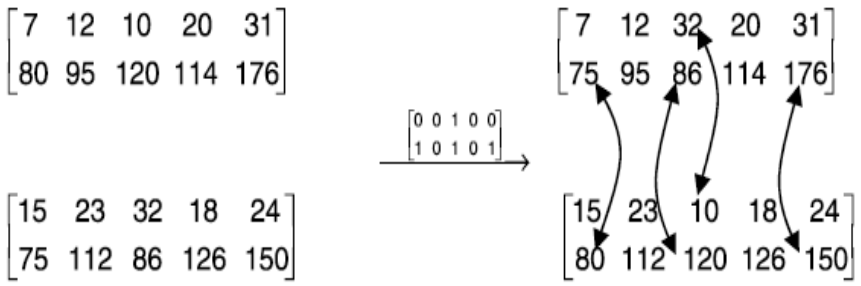


Figure 6. An example of a crossover operation

In this research, we use single point crossover with different values of the P_c parameter ranging between 0.45 and 0.85. We note that an infeasible chromosome that does not satisfy the constraints of the models (18), (19) and (20) does not move to the new population. Fig. 6 demonstrates the crossover operation.

In this research different values between 0.05 and 0.35 are chosen as different values of P_m. We note that an infeasible chromosome that does not satisfy the constraints of the models in (18), (19) and (20) does not move to the new population. Fig. 7 shows an example of the mutation operator for four products in which P_m is chosen to be 0.35.

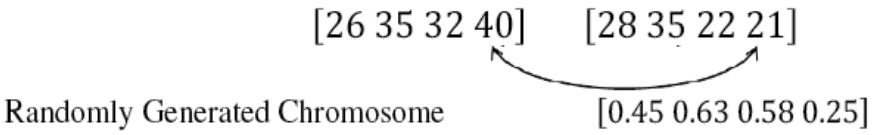


Figure 7. A graphical representation of the mutation operator

Stopping criteria

The last step in the methodology is to check if the method has found a solution that is good enough to meet the user's expectations. Stopping criteria is a set of conditions such that when the method satisfies them, a good solution is obtained. In this paper, the proposed GA is run for a fixed number of generations.

Setting the Parameters of the Genetic Algorithm

The response surface methodology is a collection of mathematical and statistical techniques that are useful for the modeling and analysis of problems in which a response of interest is influenced by several variables and the objective is to optimize this response. The central composite design (CCD) is a response surface method that allows one to keep the size and complexity of the design low and simultaneously obtain some protection against curvature, as described by Montgomery [42].

One important decision to make when implementing a genetic algorithm is how to set the parameters values.

Table 1

The GA input parameter levels of the factorial design

Parameters	***Min***	***Max***
Max Gen	100	500
N	20	60
P_c	0.45	0.85
P_m	0.05	0.35

In order to satisfy this condition a central composite design is selected. Since there are four factors, a fractional factorial design with 2^4 factorial points, 2×4 axial points and seven central points, requiring thirty one experiments, are required.

In this research, the factors that affect the response are the population size (PopSize), the maximum number of generations (MaxGen), the crossover probability (P_c) and the mutation probability (P_m). The selected design factors each with three levels are listed in Table 1. The selected optimum parameters are the ones with the best fitness value obtained by GA.

GA parameters results

In order to evaluate the GA parameters, an example with parameters (F=10000, X=150000, α=0.1, n=2 and m=10) is presented. The data of this example is given in Table 2.

Table 2

Data of the example

Pro-duct	D_1	D_2	A_1	A_2	M_1	M_2	S_1	S_2	m_1	m_2	p_{11}	p_{12}
1.	20	22	21	28	8	10	0.017	0.02	0.01	0.03	0.24	0.1
2.	22	22	26	18	9	5	0.01	0.014	0.14	0.38	0.15	0.25
3.	19	28	23	31	5	7	0.02	0.018	0.15	0.2	0.25	0.09
4.	30	19	31	29	9	6	0.04	0.01	0.1	0.1	0.15	0.26
5.	21	20	18	21	7	4	0.013	0.011	0.18	0.19	0.1	0.19
6.	27	24	29	25	11	9	0.01	0.01	0.01	0.25	0.12	0.16
7.	30	21	26	22	8	10	0.011	0.024	0.1	0.23	0.21	0.15
8.	20	20	21	26	8	8	0.01	0.032	0.11	0.16	0.26	0.13
9.	20	17	28	24	10	9	0.01	0.04	0.05	0.25	0.18	0.21
10.	24	18	27	15	5	8	0.05	0.098	0.11	0.25	0.16	0.14
Pro-duct	p_{21}	p_{22}	R_1	R_2	h_1	h_2	l_1	l_2	f_1	f_2	C_1	C_2
1.	0.05	0.1	15	10	0.1	0.38	15	6	15	9	55	36
2.	0.1	0.02	14	15	0.5	0.10	12	5	18	15	35	26
3.	0.01	0.06	13	9	0.98	0.28	14	7	13	32	40	29
4.	0.06	0.09	12	11	0.52	0.3	12	10	16	8	60	23
5.	0.06	0.12	15	9	0.24	0.16	7	12	10	16	45	28
6.	0.09	0.05	12	13	0.35	0.28	9	10	8	14	65	34
7.	0.05	0.07	14	8	0.16	0.24	26	10	21	10	80	26
8.	0.05	0.045	15	12	0.25	0.32	12	14	14	8	35	27
9.	0.08	0.065	12	9	0.42	0.18	11	4	16	15	50	25
10.	0.11	0.08	11	11	0.25	0.2	13	8	13	17	75	24

The design matrix of the selected central composite design along with the experimental results is shown in Table 2. The PTYPE column of Table 3 represents the type of the design points (‘‘-1” for the axial points, ‘‘0” for the central points and ‘‘1” for the factorial points). The last column of Table 3 represents the best fitness value for each problem obtained in the last generation of GA.

In order to fit the data to a regression model, an independent analysis for response, fitness, is required. Second-order coefficients were generated by regression with stepwise elimination. The first step is to identify significant factors in the model. For this purpose, a multiple re-gression analysis and an analysis of variance (ANOVA) are developed for both responses.

Table 3

Design matrix of the central composite design

Std. Order	*Run Order*	*Pt Type*	*Blocks*	*Pop Size(N)*	*Max Gen*	P_c	P_m	*Fitness*
21	1	-1	1	40	300	0.100	0.550	29286
4	2	1	1	50	400	0.325	0.325	29184
24	3	-1	1	40	300	0.550	1.000	29105
30	4	0	1	40	300	0.550	0.550	29141
15	5	1	1	30	400	0.775	0.775	29048
31	6	0	1	40	300	0.550	0.550	29080
2	7	1	1	50	200	0.325	0.325	29524
12	8	1	1	50	400	0.325	0.775	29032
20	9	-1	1	40	500	0.550	0.550	29117
7	10	1	1	30	400	0.775	0.325	29328
18	11	-1	1	60	300	0.550	0.550	29120
16	12	1	1	50	400	0.775	0.775	29092
14	13	1	1	50	200	0.775	0.775	29251
9	14	1	1	30	200	0.325	0.775	29147
22	15	-1	1	40	300	1.000	0.550	29217
25	16	0	1	40	300	0.550	0.550	29227
13	17	1	1	30	200	0.775	0.775	29174
10	18	1	1	50	200	0.325	0.775	29267
11	19	1	1	30	400	0.325	0.775	29090
19	20	-1	1	40	100	0.550	0.550	29749
26	21	0	1	40	300	0.550	0.550	29088
5	22	1	1	30	200	0.775	0.325	29731
3	23	1	1	30	400	0.325	0.325	29242
29	24	0	1	40	300	0.550	0.550	29240
1	25	1	1	30	200	0.325	0.325	29700
6	26	1	1	50	200	0.775	0.325	29225
23	27	-1	1	40	300	0.550	0.100	29536
28	28	0	1	40	300	0.550	0.550	29145
17	29	-1	1	20	300	0.550	0.550	29406
27	30	0	1	40	300	0.550	0.550	29244
8	31	1	1	50	400	0.775	0.325	29164

The analysis of the variance is a partition of the total variability into its component parts. The regression coefficients, standard error, p-values, and coefficient of determination (R^2) are presented in Table 4.

Table 4

Multiple regression analysis for fitness

Term	***Coefficient***	***SE Coef***	***t-Value***	***p-Value***
Constant	29166.7	32.77	890.136	0.000
Main (linear) effects				
PopSize	-53.9	17.70	-3.045	0.008
MaxGen	-129.3	17.70	-7.306	0.000
P_c	-13.1	17.70	-0.743	0.469
P_m	-119.1	17.70	-6.731	0.000
Squared effects				
PopSize×PopSize	15.0	16.21	0.928	0.367
MaxGen×MaxGen	57.6	16.21	3.556	0.003
$P_c \times P_c$	12.2	16.21	0.755	0.461
$P_m \times P_m$	29.4	16.21	1.816	0.088
Interaction effects				
PopSize×MaxGen	15.5	21.67	0.714	0.486
$PopSize \times P_c$	-23.6	21.67	-1.087	0.293
$PopSize \times P_m$	67.9	21.67	3.134	0.006
$MaxGen \times P_c$	21.3	21.67	0.982	0.341
$MaxGen \times P_m$	42.7	21.67	1.971	0.066
$P_c \times P_m$	14.4	21.67	0.663	0.517

S = 86.6923 ***PRESS*** = 561011 ***R-Sq*** = 89.76%

The ANOVA for fitness is shown in Table 5.

Table 5

Analysis of variance for fitness

Source	***DF***	***Seq SS***	***Adj SS***	***Adj MS***	***F***	***P***
Regression	14	1054135	1054135	75295	10.02	0.000
Linear	4	815512	815512	203878	27.13	0.000
Square	4	112362	112362	28091	3.74	0.025
Interaction	6	126261	126261	21044	2.80	0.047
Residual Error	16	120249	120249	7516		
Lack-of-Fit	10	90327	90327	9033	1.81	0.241
Pure Error	6	29922	29922	4987		
Total	30	1174384				

This analysis was carried out for a level of significance of 5%, that is, for a level of confidence of 95%. The (R^2) value of 89.76% and the F-value for the regression was significant at a level of 5% ($p<0.05$), while the lack of fit was not significant at the 5% level ($p>0.05$), indicating the good predictability of the model. It should be noted that the high value of R^2 is due to the fact that all sources of randomness in a GA algorithm (the population size, the maximum number of generations, the crossover probability and the mutation probability) are taken into account and that a second-order model was used to model the performance.

Discussion

Based on the results of Table 4, the estimated regression function is:

$$\begin{aligned} FitnessFunction = {} & 29166.7 - 53.9N - 129.3MaxGen - 13.1P_c - 119.1P_m \\ & + 15N^2 + 57.6MaxGen^2 + 12.2P_c^2 + 29.4P_m^2 + 15.5N \\ & \times MaxGen - 23.6N \times P_c + 67.9N \times P_m + 21.3MaxGen \\ & \times P_c + 42.7MaxGen \times P_m + 14.4P_c \times P_m \end{aligned} \quad (23)$$

Since the most significant GA parameters have been defined so far, the next step is to determine the best values of these parameters that lead to the best value of the fitness function. The estimated regression function (the objective function) that needs to be minimized along with the constraints within the GA parameter ranges is solved by Lingo software. Table 6 shows the optimum results.

In the next section a numerical example is given to demonstrate the applicability of the proposed parameter-tuned GA.

Table 6

The Lingo optimum solution

N*	MaxGen*	P_c*	P_m*	Cost
60	500	0.85	0.35	14896990

A Numerical Example

Let us consider a multi-product inventory control model with ten products and general data given in Table 2. In this example, F=10000, X=150000, α=0.1 and the initial parameters of GA (PopSize, MaxGen, P_c and P_m) were set according to Table 6. The optimal solution of this problem, gained by the proposed algorithm, is as follows:

$$\begin{bmatrix} 44 & 55 & 40 & 55 & 48 & 52 & 56 & 47 & 53 & 60 \\ 55 & 44 & 58 & 43 & 51 & 46 & 42 & 52 & 45 & 38 \end{bmatrix}$$

Fitness = 29122

This solution indicates that for example; the order quantity for product five by supplier two is 51 or the order quantity for product ten by supplier one is 60. Furthermore, based on the fitness values, the graph of the convergence path is presented in Fig. 8.

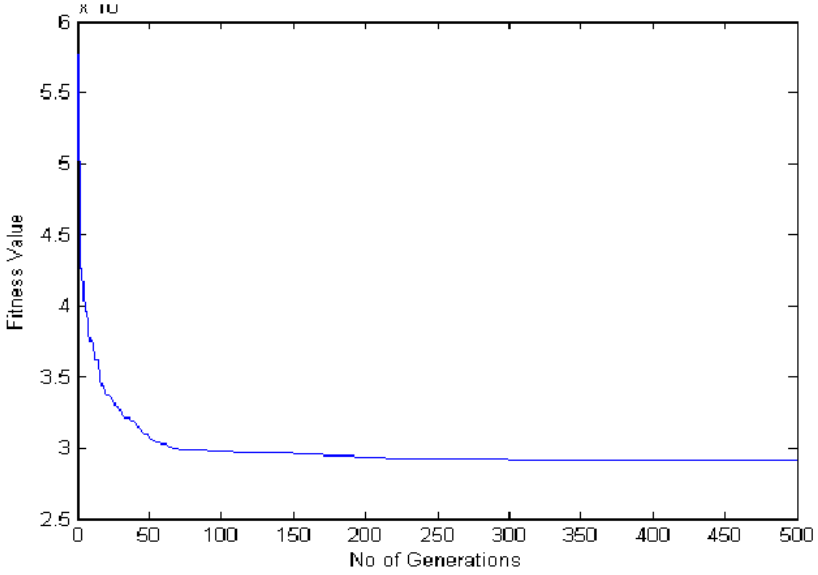


Figure 8. The graph of the convergence path

Conclusions

In this paper a multi-product and multi-supplier EPQ model with limited warehouse space and budget was presented, with defective items and reworking being considered. Under these conditions, the problem was formulated as a non-linear integer-programming model and a parameter- tuned genetic algorithm was proposed to solve it. In the end, a numerical example was presented to demonstrate the application of the proposed methodology. In this example, the optimum values of the GA parameters were obtained using the RSM.

References

[1] Harris, F. W., How many parts to make at once, *Factory Management,* 10, pp. 135–146, 1913.

[2] Jamal, A. M. M, Sarker, B. R., Mondal, S., Optimal manufacturing batch size with rework process at a single-stage production system, *Computers and Industrial Engineering,* 47, pp. 77–89, 2004.

[3] Salameh, M. K., Jaber, M. Y., Economic production quantity model for items with imperfect quality, *International Journal of Production Economics*, 64, pp. 59–64, 2000.

[4] Rosenblatt, M. J., Lee, H. L., Economic production cycles with imperfect production process*, IIE Transactions,* 18, pp. 48–55, 1986.

[5] Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T.A., Najafi, A. A., Multiproduct single machine production system with stochastic scrapped production rate, partial backordering and service level constraint, *Journal of Computational and Applied Mathematics,* 233, pp. 1834-1849, 2010.

[6] Goyal, S. K., Huang, C. K., Chen, K. C., A simple integrated production policy of an imperfect item for vendor and buyer, *Production Planning and Control,* 14 (7), pp. 596–602, 2003.

[7] Hou, K. L., Lin, L. C., Optimal production run length and capital investment with an imperfect production processes, *International Journal of System Sciences,* 35, pp. 133-137, 2004.

[8] Leung, K. N. F., A generalized geometric-programming solution to An economic production quantity model with flexibility and reliability considerations, *European Journal of Operational Research,* 176 (1), pp. 240–251, 2007.

[9] Hou, C. I., Lo, C. Y., Leu, J. H., Use genetic algorithm in production and inventory strategy. In: Proceedings of the 2007 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (IEEM) conference, pp. 963–967.

[10] Hou, K. L., An EPQ model with setup cost and process quality as functions of capital expenditure, *Applied Mathematical Modeling,* 31, pp. 10-17, 2007.

[11] Hsu, W. K. K. Yu, H. F., EOQ model for imperfective items under a one-time only discount, *Omega,* 37, pp. 1018-1026, 2009.

[12] Porteus, E. L., Optimal lot sizing process quality improvement and setup cost reduction, *Operations Research,* 34, pp. 137-144, 1986.

[13] Tapiero, C., Production learning and quality control, *IIE Transactions,* 19, pp. 362-370, 1987.

[14] Maddah, B., Moussawi, L., Jaber, M. Y., Lot sizing with a Markov production process and imperfect items scrapped, *International Journal of Production Economics,* 124, 340–347, 2010.

[15] Wahab, M. I. M., Jaber, M. Y., Economic order quantity model for items with imperfect quality, different holding costs, and learning effects: A note, *Computers & Industrial Engineering,* 58, pp. 186–190, 2010.

[16] Maddah, B., Jaber, M. Y., Economic order quantity for items with imperfect quality:Revisited, *International Journal of Production Economics,* 112, pp. 808–815, 2008.

[17] Jaber, M. Y., Goyal, S. K., Imran, M., Economic production quantity for items with imperfect quality subjected to learning effects, *International Journal of Production Economics,* 115, 143–150, 2008.

[18] Bag, S., Chakraborty, D., Roy, A. R., A production inventory model with fuzzy random demand and with flexibility and reliability considerations, *Computers & Industrial Engineering*, 56, pp. 411–416, 2009.

[19] Božanić, D., Pamučar, D., Evaluating locations for river crossing using fuzzy logic*, Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik*, Vol. 58, No. 1, pp. 129-145, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Belgrade, 2010.

[20] Đorović, B., Ljubojević, S., Dimić, S., Optimizing transportation processes using the route model, *Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik,* Vol. 53, No. 1, pp. 76-85, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Belgrade, 2005.

[21] Ljubojević, S., Possibilities of implementation of contemporary traffic management systems in the defense system, *Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik*, Vol. 55, No. 4, pp. 463-474, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Belgrade, 2007.

[22] Pamučar, D., Using fuzzy logic and neural networks during decision making proces in transport, *Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik*, Vol. 58, No. 3, pp 125-143, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, rade, 2010.

[23] Gopalan, M. N., Kannan, S., Expected number analysis of a two-server queuing network subject to inner-stage inspection and rework, *Computers and Operations Research,* 22, pp. 935–946, 1995.

[24] Liao, G. L., Chen, Y. H., Sheu S. H., Optimal Economic Production Quantity Policy for Imperfect Process with Imperfect Repair and Maintenance, *European Journal of Operational Research,* 195, pp. 348–357, 2009.

[25] Jaber, M. Y., Bonney, M., Moualek, I., An economic order quantity model for an imperfect production process with entropy cost, *International Journal of Production Economics,* 118, pp. 26–33, 2009.

[26] Chiu, S. W., Wang, S-L., Chiu, Y-S. P., Determining the optimal run time for EPQ model with scrap, rework, and stochastic breakdowns*, European Journal of Operational Research,* 180, pp. 664–676, 2007.

[27] Chung, K. J., Bounds for production lot sizing with machine breakdowns, *Computers & Industrial Engineering,* 32, pp. 139–144, 1997.

[28] Chiu, Y. P., Determining the optimal lot size for the finite production model with random defective rate, the rework process and backlogging, *Engineering Optimization 35 (4)*, 427–437, 2003.

[29] Rezaei, J., Davoodi, M., A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality, *Applied Mathematical Modelling,* 32, pp. 2106–2116, 2008.

[30] Stockton, D. J., Quinn, L., Identifying economic order quantities using genetic algorithms, International Journal of Operations & Production Management*,* 13, pp. 92–103, 1993.

[31] Mondal, S., Maiti, M., Multi-item fuzzy EOQ models using genetic algorithm, *Computers & Industrial Engineering,* 44, pp. 105–17, 2002.

[32] Gupta, R. K., Bhunia, A. K., Goyal, S. K., An application of genetic algorithm in solving an inventory model with advanced payment and interval valued inventory costs, *Mathematical and Computer Modelling, 49,* pp. 893–905, 2009.

[33] Lotfi, G., Applying genetic algorithms to dynamic lot sizing with batch ordering, *Computers & Industrial Engineering,* 51, pp. 433–44, 2006.

[34] Pal, S., Maiti, M. K., Maiti, M., An EPQ model with price discounted promotional demand in an imprecise planning horizon via genetic algorithm, *Computers & Industrial Engineering,* 57, pp. 181–187, 2009.

[35] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., Yeganeh, J. A., A parameter-tuned genetic algorithm for multi-product economic production quantity model with space constraint, discrete delivery orders and shortages, *Advances in Engineering Software*, 2009.

[36] Davis, L., *Handbook of genetic algorithms*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

[37] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

[38] Michalewicz, Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, AI Series, Springer, New York, 1994.

[39] Holland, J.H., *Adoption in neural and artificial systems*, Ann Arbor, Michigan (USA): The University of Michigan Press, 1975.

[40] Michalewicz, Z., Schoenauer, M., Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems, *Evolutionary Computation,* 4 (1), pp. 1–32, 1996.

[41] Montgomery, D. C., *Design and analysis of experiments,* New York (USA), John Wiley and Sons, 2001.

[42] Homaifar, A., Lai, S. H-V., Qi, X., Constrained optimization via genetic algorithms, *Simulation,* 62 (4), pp. 242–254, 1994.

[43] Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., Mirhosseyni, S. S., A parameter-tuned genetic algorithm to solve multi-product economic production quantity model with defective items, rework, and constrained space, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 49, pp. 827–837, 2010.

OPTIMIZACIJA MODELA ZA PROIZVODNJU I KONTROLU ZALIHA PRIMENOM GENETSKIH ALGORITAMA

OBLAST: matematika (operaciona istraživanja)
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U ovom radu izvršeno je proširenje (optimizacija) modela za ekonomsko upravljanje proizvodnjom i skladištenjem dobara. Model je proširen imajući u vidu heterogenost proizvoda i dobavljača, kao i ograničenja u vidu magacinskog prostora i budžetska ograničenja. U radu je pokazano da opisani problem ima nelinearna ograničenja i predloženo je rešenje primenom genetskih algoritama. Na kraju rada prikazan je numerički primer koji je obrađen na osnovu opisane metodologije.

Uvod i pregled literature

Ovaj model se može smatrati kao proširenje poznatog modela Ekonomska količina naloga (EKN) [1]. Bez obzira na jednostavnost EKN i EPK modela, oni se i dalje primenjuju u industriji [2].

Tradicionalni EPK modeli pretpostavljaju da proizvodni proces proizvodi proizvode savršenog kvaliteta. Međutim, greške koje se javljaju tokom proizvodnog procesa su *činjenice* koje su neizostavne za *svako radno mesto. Mnogo je realnije pretpostaviti da je proizvodni proces ponekad nesavršen tj. propraćen je greškama. Takav proces proizvodnje naziva se nesavršen proces proizvodnje [3].*

Definisanje problema

U radu je razmatran problem u kojem kompanija proizvodi više proizvoda za više dobavljača. Svi proizvodi koji se proizvedu svrstavaju se kao savršeni, *nesavršeni (*defektni, *ali* se mogu *popraviti*) i potpuno *nesavrše-*

*ni (*defektni, *ali* se ne mogu *popraviti*) proizvoda. Cilj *je da se utvrdi količina proizvoda* koju zahteva svaki *snabdevač, a da se istovremeno ukupna količina zaliha se smanjuje uz zadovoljenje svih ograničenja*.

Modeliranje problema

Da bi se matematički formulisao problem, uzeli smo *prednost klasičnog EPK model i proširili ga na problem* koji sadrži *savršene*, *nesavršene i potpuno nesavršene proizvode zajedno sa ograničenjima u pogledu skladišta i budžetkih kapaciteta. Da bi se modelirao problem*, prvo su *definisani parametri i promenljive. Različiti troškovi su izvedeni u narednom odeljku, a na kraju je* predstavljen *model problema.*

Troškovi kalkulacije

Ukupan godišnji trošak proizvoda predstavlja zbir ukupnih troškova nabavki, ukupni troškovi inspekcija, ukupni transportni troškovi, ukupni troškovi za VIP zalihe i ukupni troškovi održavanja skladištnog prostora za sve proizvode. Drugim rečima, imamo:

$$TC = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} (TC_{Pij} + TC_{Oij} + TC_{Iij} + TC_{Tij} + TC_{WIPij} + TC_{Hij}) \quad (1)$$

Formulacija problema

Cilj modela jeste da se odredi optimalna vrednost za svakog dobavljača, tako da se *ukupan godišnji trošak svede na minimum*, uz zadovoljenje sledećih *ograničenja*:

1. Ograničenje magacinskog prostora za skladištenje proizvoda i
2. Budžetska ograničenja.
Dakle, problem može biti formulisan kao:

$$MinTC = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left[\begin{array}{l} \dfrac{m_{ij} D_{ij}}{(1-p_{2ij})} + \dfrac{A_{ij} D_{ij}}{Q_{ij}(1-p_{2ij})} + \dfrac{I_{ij} D_{ij}}{(1-p_{2ij})} \\ +\alpha(1-p_{2ij}) M_{ij} Q_{ij} + \dfrac{h_{ij} D_{ij}}{2(1-p_{2ij})} \left[S_{ij} + m_{ij}(1+p_{1ij}) Q_{ij} \right] \\ \times \left[2M_{ij} + \dfrac{R_{ij} S_{ij}}{Q_{ij}} + R_{ij} m_{ij}(1+p_{1ij}) \right] + h_{ij} \\ \times \{ M_{ij} + R_{ij} \left[\dfrac{S_{ij}}{Q_{ij}} + m_{ij}(1+p_{1ij}) \right] \} \dfrac{1}{2} Q_{ij}(1-p_{2ij}) \end{array} \right]$$

gde je:

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} (1-p_{2ij}) f_{ij} Q_{ij} \le F \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} (1-p_{2ij}) C_{ij} Q_{ij} \le X \quad (19)$$

$$Q_{ij} \succ 0; j = 1...m, i = 1...n \quad (20)$$

Genetski algoritam

*Genetski algoritmi (GA) imitiraju evolutivni proces primenom strategije koja se često naziva „*opstanak najsposobnijih *jedinki“. Genetski algoritam je heuristički metod optimizacije koji je zasnovan na evoluciji živih organizama. Genetski algoritmi predloženi su od strane Johna H. Hollanda još u ranim sedamdesetim godinama prošlog veka. Osnovna je ideja ovih algoritama je kopiranje rada prirodnog evolucijskog procesa. Optimalna rješenja zadatih problema nije uvek moguće pronaći klasičnim metodama pretraživanja jer je prostor rešenja problema najčešće prevelik da bi računar mogao pretražiti sva rešenja u nekom razumnom vremenu. Ako evoluciju promatramo kao „algoritam“ koji traži optimalno rešenje (cilj je stvoriti što napredniji organizam), možemo reći da je prirodna evolucija vrlo uspešan „algoritam“. Nakon 4,5 milijarde godina izvođenja taj algoritam i dalje pronalazi kvalitetna rješenja. Živa bića danas rešavaju velik broj problema, uključujući mnoge probleme koje današnji računari ne mogu rešiti.*

Osnovni parametri koji određuju evoluciju, pa tako i genetske algoritme, su: način kodiranja svojstava jedne jedinke, način evoluacije dobrote jedinke, način selekcije, ukrštanja i mutacije. Navedeni parametri su objašnjeni u narednom delu rada.

Zastupljenost hromozoma

Prvi korak u *razvoju GA je kodiranje promenljivih u obliku konačnog niza koji se nazivahromozom. Tradicionalno*, *hromozomi su jednostavni binarni string. Ova jednostavna zastupljenost nije pogodna za kombinatorne probleme. Međutim, da bi se navedeni problem eliminisao, u ovom radu su hromozomi predstavljeni celim brojevima. U GA* smo izabrali *dvodimenzionalnu strukturu u predstavljanju rešenja. Ova matrica ima n redova i kolona*. Elementi *svake kolone pokazuju broj proizvoda*. *Pored toga, elementi svakog reda pokazuje broj dobavljača*. *Na primer, kada imamo 2 dobavljača i 5 proizvoda*, *hromozom matrica je 2 × 5*.

Inicijalizaciju populacije

Za bilo GA neophodno je da se definiše početna populacija.Najčešći metod je da se nasumično generišu rešenja za celu populaciju. Nakon toga GA iterativno poboljšava postojeća rešenja. Kreiranje inicijalne populacije je jedan od četirij trenutaka u kojima se u procesu optimizacije koristi slučajni odabir. Osim ovde, slučajni odabir se koristi i pri selekciji jedinki za sljedeću generaciju, odabiru tačke prekida kod ukrštanja i za mutaciju gena jedinke.

Ograničenje za obradu i fitnes evaluaciju

Fitnes vrednost je mera dobrote rešenja u odnosu na originalni cilj. *Pronalaženje izvodljivog rešenja (*koje će *zadovoljiti sva ograničenja u* modelu) je *veliki problem i* postoje *poteškoće u pronalaženju čak i jednog izvodljivog rešenja. Stoga je korišćen navedeni metod da bi se eliminisali opisani nedostaci.*

Izbor operatera

Izbor roditelja za proizvodnju narednih populacija GA igra izuzetno važnu ulogu. Cilj je da se omogući najsposobnijim jedinkama da budu izabrani

i da se češće reprodukuju. Međutim, sve jedinke u populaciji imaju šanse da budu izabrane za reprodukciju sledeće generacije. Svakoj jedinki dodeljena je određena verovatnoća. Time se postiže to da jedinke sa većom verovatnoćom imaju veću šansu da budu izabrane. Postoji nekoliko načina za određivanje i raspoređivanje verovatnoće jedinkama, na primer, rulet selekcija, turnir selekcija i proširenja tehnike skaliranja i metode rangiranja.

Genetski operatori

Postoje dve vrste operatera u genetskim algoritmima: *mutacija i ukrštanje*.

U procesu ukrštanja učetvuju dve jedinke koje se nazivaju roditelji. Dakle, ukrštanje je binarni operator. Ukrštanjem nastaje jedna ili dve nove jedinke koje se nazivaju deca. Najvažnija karakteristika ukrštanja je da deca nasleđuju svojstva svojih roditelja. Ako su roditelji dobri (prošli su proces selekcije), tada će najverovatnije i dete biti dobro, ako ne i bolje od svojih roditelja.

Drugi operator koji je karakterističan za genetski algoritam je mutacija ili slučajna promena jednog ili više gena.

Provera rešenja

Poslednji korak u metodologiji da provera da li je metod našao rešenje koje je dovoljno dobro da ispuni očekivanja korisnika. Provera rešenja podrazumeva proveru ispunjenja postavljenih kriterijuma.

Podešavanje parametara genetskog algoritma

Jedan od važnih postupaka prilikom sprovođenja genetskog algoritma je podešavanje parametara. U tom cilju izabrana je metoda Centralnog kompozitnog dizajna.

Diskusija

Nakon definisanja najznačajnijih GA parametara pristupa se *utvrđivanju najbolje vrednosti ovih parametara koji dovode do najbolje vrednosti fitnes funkcije. Tabela 6 pokazuje optimalne rezultate*.

U sledećem delu na numeričkom primeru prikazana je primenjivost predloženih parametara GA.

Zaključak

U ovom radu prikazan je model koji analizira *više proizvoda i više dobavljača sa* realnim *ograničenjima u pogledu magacinskog prostora i budžeta. Pod ovim uslovima, problem je formulisan kao nelinearan i* definisan je genetski algoritam za rešenje opisanog problema. *Na kraju je dat numerički primer koji demonstrira primenu predložene metodologije*.

Ključne reči: *Genetski algoritam*, *ekonomske proizvodnja dobara*, *opitimizacija.*

Datum prijema članka: 17. 08. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 18. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 19. 10. 2011.

OBJEKTIVNI PRISTUP ODREĐIVANJU TEŽINA KRITERIJUMA

Milićević R. *Milić*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra logistike, Beograd,
Župac Ž. *Goran*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra menadžmenta u odbrani, Beograd

OBLAST: matematika, operaciona istraživanja
VRSTA ČLANKA: naučna kritika

Sažetak:

U radu je dat prikaz metoda objektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma koje se mogu uspešno primenjivati u modelima višekriterijumskog odlučivanja. Prikazane su metode: entropije, CRITIC i FANMA, kao i moguća kombinacija metoda objektivnog i subjektivnog pristupa. Iako se zasnivaju na različitim teoretskim postavkama, a time su im algoritmi realizacije različiti, sve metode za polaznu osnovu imaju matricu odlučivanja. Objektivnim pristupom određivanju težina kriterijuma eliminišu se negativni uticaji donosioca odluke na težine kriterijuma i na konačno rešenje višekriterijumskog problema.

Osnovni cilj rada jeste sistematizovan prikaz procedura provođenja metoda kao svojevrsna pomoć svima koji se sreću sa problemom određivanja težina kriterijuma pri rešavanju višekriterijumskih zadataka.

Mogućnost primene metoda prikazana je na jednom numeričkom primeru.

Key words: *težine kriterijuma, entropija, CRITIC, FANMA*.

Uvod

Određivanje težina kriterijuma jedan je od ključnih problema koji se javlja u modelima višekriterijumske analize. Pored činjenice da ne postoji jedinstveno određenje pojma težine kriterijuma, problem određivanja težina kriterijuma dodatno usložava nedovoljno poznavanje mogućih metoda određivanja težina kriterijuma u konkretnoj situaciji odlučivanja. Uzimajući u obzir činjenicu da težine kriterijuma mogu značajno uticati na rezultat procesa odlučivanja, jasno je da se posebna pažnja mora posvetiti objektivnosti težina kriterijuma, što nažalost nije uvek prisutno pri rešavanja praktičnih problema. Poznavanje pravog značenja kriterijuma ima suštinsku važnost za pravilnu primenu metoda i modela.

milic.milicevic@mod.gov.rs

Generalno je moguće napraviti razliku između dva tipa težina: koeficijenata važnosti i pokazatelja razmene (kompromisa, trade-off). Glavna razlika između težina kao koeficijenata važnosti i težina kao pokazatelja razmene je u načinu na koji se određuju težine, odnosno da li se razmatra kompenzacija između kriterijuma kao mogućnost da dobre performanse po nekim kriterijumima mogu nadoknaditi loše performanse po drugim kriterijumima.

Način na koji se određuju težine kriterijuma mora biti u skladu sa višekriterijumskim modelom koji će biti korišćen. U metodama, koje koriste ordinalnu informaciju o vrednosti kriterijuma, i u kojima težine predstavljaju koeficijente važnosti, doprinos pojedinog kriterijuma ukupnoj performansi neke varijante ne zavisi od intenziteta preferentnosti. U suprotnom, u kompenzacionim metodama, doprinos bilo kog kriterijuma ukupnoj vrednosti varijante je proporcionalan intenzitetu preferentnosti. Postoje i višekriterijumski modeli koji koriste kardinalne informacije o vrednosti kriterijuma i gde težine predstavljaju koeficijente važnosti. U tim slučajevima maksimalan doprinos svakog kriterijuma ukupnoj vrednosti varijante jednak je samoj težini kriterijuma i zato su te metode nekompenzacione (kao npr.: PROMETHEE, ELECTRE III).

Procedure za određivanje težina kriterijuma su već godinama predmet istraživanja i naučnih rasprava. U literaturi je moguće pronaći više razvijenih pristupa određivanja težina kriterijuma. Tradicionalne metode određivanja težina kriterijuma uključuju npr.: trade-off metodu, proporcionalnu (ratio) metodu, swing metodu, conjoint metode i AHP. Pored njih zastupljena je grupa metoda u kojima se težine kriterijuma proračunavaju na osnovu ranga kriterijuma. Takođe su razvijene metode u kojima se težine kriterijuma proračunavaju na osnovu informacije sadržane u matrici odlučivanja. U procesu određivanja težina kriterijuma može biti angažovano više eksperata ili zainteresovanih lica što zahteva primenu metoda grupnog odlučivanja uz matematičku ili socijalnu agregaciju individualnih težina.

Klasifikacija metoda određivanja težina kriterijuma

Na osnovu proučavanja dostupne literature može se izvesti zaključak da ne postoji jedinstvena podela metoda određivanja težina kriterijuma i da je ona vršena po više osnova u skladu sa shvatanjima i potrebama autora za rešavanje konkretnog praktičnog problema.

Tako je u literaturi [1] izvršena podela metoda za određivanja težina kriterijuma na: statističke i algebarske, holističke i dekomponovane, direktne i indirektne i kompenzacione i nekompenzacione. U algebarskim načinima proračunava se n težina na osnovu skupa n–1 rasuđivanja (zaključaka) korišćenjem jednostavnog sistema jednačina. Statističke procedure ko-

riste regresionu analizu zasnovanu na redundantnom skupu zaključaka. Dekomponovane procedure su zasnovane na poređenju jedan na jedan parova kriterijuma, dok u holističkim metodama donosilac odluke, prilikom izražavanja svojih preferenci, razmatra i kriterijume i varijante i vrši ukupnu ocenu varijanti. U direktnim metodama donosilac odluke poredi dva kriterijuma koristeći relacionu (ratio) skalu, dok se u indirektnim metodama na osnovu preferencija donosioca odluke proračunavaju težine kriterijuma.

Kompenzacione metode se koriste za agregaciju parcijalnih vrednosti u metodama višeatributske teorije vrednosti, dok se nekompenzacione koriste za agregaciju parcijalnih vrednosti u metodama višeg ranga (outranking methods). Prva grupa metoda podrazumeva strogu kompenzaciju između kriterijuma i težine kriterijuma se koriste kao proračunski faktori, dok se kod druge grupe ne vrši kompenzacija i težine kriterijuma se koriste kao koeficijenti važnosti u agregacionim formulama.

U osnovi, većina pristupa određivanju težina kriterijuma može se podeliti na subjektivne i objektivne. Subjektivni pristupi su zasnovani na određivanju težina kriterijuma na osnovu informacije dobijene od donosioca odluke ili od eksperata uključenih u proces odlučivanja. Subjektivni pristupi odražavaju subjektivno mišljenje i intuiciju donosioca odluke i time donosilac odluke utiče na rezultat procesa odlučivanja. Objektivni pristupi su zasnovani na određivanju težina kriterijuma na osnovu informacije sadržane u matrici odlučivanja primenom određenih matematičkih modela. Objektivni pristupi zanemaruju mišljenje donosioca odluke.

Metode objektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma

U metodama objektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma težište je na analizi matrice odlučivanja, odnosno razmatraju se vrednosti varijanti u odnosu na skup kriterijuma, da bi se potom izvela informacija o vrednostima težina kriterijuma. Opštost prilaza kao i pojma matrica odlučivanja se ne narušavaju ni kod tzv. višenivoiskih hijerarhija odlučivanja, jer se tada na svakom nivou generišu matrice odlučivanja, a principi dominantnosti i dalje važe.

U objektivnom pristupu određivanju težina kriterijuma kriterijumi se posmatraju kao izvori informacija i relativna važnost kriterijuma reflektuje količinu informacija sadržanu u svakom od njih.

Objektivne težine kriterijuma, merene preko srednje vrednosti unutrašnje (svojstvene) informacije generisane datim skupom varijanti u odnosu na svaki kriterijum, odražavaju prirodu konflikta između kriterijuma.

Količina informacije sadržana u svakom kriterijumu dovodi se u vezu sa intenzitetom kontrasta svakog kriterijuma. Standardna devijacija i en-

tropija su moguće mere intenziteta i načini izvođenja objektivnih težina kriterijuma [2].

Najpoznatije objektivne metode su: metoda entropije, metoda CRITIC i metoda FANMA.[1]

Metoda entropije

Određivanje objektivnih težina kriterijuma prema metodi entropije se zasniva na merenju neodređenosti informacije koju sadrži matrica odlučivanja i direktno generiše skup težinskih vrednosti kriterijuma na osnovu međusobnog kontrasta pojedinačnih kriterijumskih vrednosti varijanti za svaki kriterijum i zatim istovremeno za sve kriterijume [3].

Neka je data matrica odlučivanja:

$$A = \begin{array}{c} \\ w \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_m \\ a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \end{array} \tag{1}$$

u kojoj je poznato:

– varijante A_i, i=1,2,...,n,

– kriterijumi C_j, j=1,2,...,m,

– kriterijumske vrednosti varijanti a_{ij}.

Određivanje težina kriterijuma w_j provodi se kroz tri koraka. U prvom koraku vrši se normalizacija kriterijumskih vrednosti varijanti a_{ij} primenom obrasca:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{2}$$

[1] Pored navedenih metoda, za objektivno određivanje težina kriterijuma može se iskoristiti metoda DEA (Data Envelopment Analysis). Budući da određivanje težina kriterijuma nije primarni cilj metode DEA, već se one dobijaju kao međurezultat rangiranja varijanti po efikasnosti, ona u ovom radu neće biti obrađena.

Na taj način dobija se normalizovana matrica odlučivanja:

$$R = \begin{array}{c} \\ w \\ A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{array} \\ \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_m \\ r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \end{array} \quad (3)$$

Količina informacije sadržana u normalizovanoj matrici odlučivanja (3) i emitovana od svakog kriterijuma C_j može biti merena kao vrednost entropije e_j:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^{n} r_{ij} \ln r_{ij} \qquad j = 1,2,...,m \quad (4)$$

Uvođenjem konstante k=1/ln$n$ obezbeđeno je da se sve vrednosti e_j nalaze u intervalu [0,1].

U drugom koraku određuje se stepen divergencije d_j u odnosu na prosečnu količinu informacije sadržanu u svakom kriterijumu:

$$d_j = 1 - e_j \qquad j = 1,2,...,m \quad (5)$$

d_j predstavlja svojstven intenzitet kontrasta kriterijuma C_j. Što je veća divergencija početnih kriterijumskih vrednosti a_{ij} varijanti A_i za dati kriterijum C_j, vrednost d_j za dati kriterijum je veća, pa se zaključuje da je važnost kriterijuma C_j za dati problem odlučivanja veća. Ako sve varijante imaju slične vrednosti stepena divergencije za određeni kriterijum, onda je taj kriterijum manje važan za dati problem odlučivanja. Takođe, ako su sve vrednosti stepena divergencije varijanti za određeni kriterijum iste, dati kriterijum može biti izostavljen jer on ne donosi novu informaciju donosiocu odluke.[2]

Budući da vrednost d_j predstavlja specifičnu meru intenziteta kontrasta kriterijuma C_j, konačna relativna težina kriterijuma, u trećem koraku metode, može da se dobije jednostavnom aditivnom normalizacijom:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{m} d_j} \quad (6)$$

[2] Zeleny M., *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York, 1982.

Metoda se može smatrati objektivnom jer generiše težinske vrednosti kriterijuma direktno iz kriterijumskih vrednosti varijanti i eliminiše problem subjektivnosti, nekompetentnosti ili odsustva donosioca odluke. Takođe, nisu bitni ni priroda i tip kriterijuma.

Metoda CRITIC

Konflikt između različitih kriterijuma jedna je od osnovnih pojava u višekriterijumskom odlučivanju koja predstavlja suštinu svake situacije odlučivanja. U višekriterijumskim problemima kod kojih su kriterijumske vrednosti varijanti po svim kriterijumima u potpunoj saglasnosti rešenje je očigledno. Međutim, kada su kriterijumi međusobno konfliktni, rešenje višekriterijumskog problema zahteva primenu složenih postupaka izbora jedne preferirane varijante ili utvrđivanja poretka varijanti.

Metoda CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) [4] je metoda za određivanje objektivnih vrednosti težina kriterijuma koja uključuje intenzitet kontrasta i konflikt koji je sadržan u strukturi problema odlučivanja. Ona spada u klasu korelacionih metoda i zasniva se na analitičkom ispitivanju matrice odlučivanja radi utvrđivanja informacija sadržanih u kriterijumima po kojima se ocenjuju varijante.

Za utvrđivanje kontrasta kriterijuma koriste se standardna odstupanja normiranih kriterijumskih vrednosti varijanti po kolonama, kao i koeficijenti korelacije svih parova kolona.

Polazeći od opšte definicije višekriterijumskog problema:

$$\max\left\{f_1(a), f_2(a), ..., f_m(a) \middle| a \in A\right\} \tag{7}$$

za svaki kriterijum f_j definiše se funkcija pripadnosti x_j koja sve vrednosti kriterijuma f_j prevodi u interval [0,1].

$$x_{aj} = \frac{f_j(a) - f_j^-}{f_j^+ - f_j^-} \tag{8}$$

Ova transformacija zasnovana je na konceptu idealne tačke. Vrednost x_{aj} izražava koliko je varijanta a blizu idealne vrednosti f_j^+, koja predstavlja najbolju vrednost kriterijuma j, i koliko je udaljena od antiidealne vrednosti f_j^-, koja je najlošija vrednost kriterijuma j. Obe vrednosti postignute su kod bar jedne od posmatranih varijanti.

Na taj način je početna matrica konvertovana u matricu sa generičkim elementima x_{ij}. Vektor kriterijuma moguće je posmatrati izolovano:

$$x_j = \left(x_j(1), x_j(2), ..., x_j(n)\right) \tag{9}$$

Svaki vektor ima standardno odstupanje σ_j[3], koje predstavlja meru odstupanja vrednosti varijanti za dati kriterijum od neke srednje vrednosti. To je mera intenziteta kontrasta posmatranog kriterijuma. Standardno odstupanje datog kriterijuma je veličina koja se razmatra u daljem procesu odlučivanja.

U nastavku metode potrebno je konstruisati simetričnu matricu dimenzija *m*x*m* sa elementima r_{jk}, koji predstavljaju koeficijente linearne korelacije vektora x_j i x_k. Što je veće neslaganje između kriterijumskih vrednosti varijanti za kriterijume *j* i *k*, to je manja vrednost koeficijenta r_{jk}. Izraz

$$\sum_{k=1}^{m}(1-r_{jk}) \tag{10}$$

predstavlja meru konflikta kriterijuma *j* u odnosu na ostale kriterijume u datoj situaciji odlučivanja.

Umesto koeficijenta r_{jk} može se primeniti Spirmenov koeficijent korelacije ranga R^s_{jk} da bi se postiglo uopštenije kvantifikovanje saglasnosti rangova elemenata sadržanih u vektorima x_i i x_k.

Količina informacije C_j sadržana u kriterijumu *j* određuje se kombinacijom prethodno navedenih veličina σ_j i r_{jk} na sledeći način:

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^{m}(1-r_{kj}) \tag{11}$$

Na osnovu prethodne analize može se zaključiti da veća vrednost Cj podrazumeva veću količinu informacije koja se dobija od datog kriterijuma, a time je i relativna važnost posmatranog kriterijuma za dati proces odlučivanja veća.

Objektivne težine kriterijuma dobijaju se normalizacijom veličina C_j:

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^{m} C_k} \tag{12}$$

Težine kriterijuma moguće je odrediti samo na osnovu vrednosti standardnog odstupanja vektora x_j:

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{k=1}^{m} \sigma_k} \tag{13}$$

[3] Umesto standardnog odstupanja σ_j, prema mišljenju autora rada, bolje je koristiti empirijsku vrednost standardnog odstupanja s_j, jer se radi o ograničenom broju kriterijuma koji se mogu posmatrati uzorkom populacije kriterijuma.

Metoda FANMA

Određivanje težina kriterijuma metodom FANMA zasniva se na korišćenju principa rastojanja od idealne tačke i tzv. rane težinske normalizacije [5].

Prvo je potrebno izvršiti skalarizaciju elemenata matrice odlučivanja A i formirati matricu X =$[x_{ij}]_{n\times m}$ na sledeći način:

a) za kriterijume koji se maksimiziraju:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^{\min}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}, \quad i = 1,2,...,n; \quad j = 1,2,...,m; \qquad a_j^{\max} = \max\{a_{1j}, a_{2j},..., a_{nj}\}, \quad a_j^{\min} = \min\{a_{1j}, a_{2j},..., a_{nj}\} \tag{14}$$

b) za kriterijume koji se minimiziraju:

$$x_{ij} = \frac{a_j^{\max} - a_{ij}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}, \quad i = 1,2,...,n; \quad j = 1,2,...,m; \tag{15}$$

Matrica odlučivanja X se dalje transformiše u novu, otežanu matricu Y=$[y_{ij}]_{n\times m}$, gde je: $y_{ij}=w_j x_{ij}$, i=1, …, n; j=1, …,m.

„Idealno rešenje“ može se definisati kao veštačka varijanta A*={y_1*,y_2*,...,y_m*}, gde je: y_j*=$w_j x_j$*, a x_j*=max{x_{1j},x_{2j},..,x_{nj}} predstavlja idealnu vrednost kriterijuma C_j.

Kao meru rastojanja svake alternative u odnosu na idealnu, može se iskoristiti kvadratno rastojanje:

$$g_i = \sum_{j=1}^{m} (y_j * - y_{ij})^2 = \sum_{j=1}^{m} w_j^2 (x_j * - x_{ij})^2, \qquad i = 1,2,...,n \tag{16}$$

Jasno je da je za manje g_i, varijanta A_i bolja.

Težinski koeficijenti w_j određuju se rešavanjem višekriterijumskog optimizacionog modela:

minimizirati:

$$G* = \{g_1, g_2,..., g_n\} \tag{17}$$

uz ograničenja: $e^T w$=1 i w≥0,

gde su: w =(w_1,w_2,...,w_m)^T i e =(1,1,...,1)^T.

Skalarizacijom vektorske kriterijumske funkcije dobija se uprošćen jednokriterijumski model:

minimizirati:

$$\sum_{i=1}^{n} g_i = w^T H w \tag{18}$$

uz ograničenja: $e^T w$ =1 i w≥0.

H je dijagonalna matrica sa elementima:

$$h_{jj} = \sum_{i=1}^{n} (x_j^* - x_{ij})^2, \qquad j = 1,2,...,m \tag{19}$$

Uvođenjem Lagranžijana $L=w^T Hw+2\lambda(e^T w-1)$ i diferenciranjem po w, a zatim po λ dobijaju se dve jednačine:

$$\begin{aligned} Hw + \lambda e &= 0 \\ e^T w &= 1 \end{aligned} \tag{20}$$

čijim se rešavanjem dobija:

$$\begin{aligned} w^* &= \frac{H^{-1}e}{e^T H^{-1} e} \\ \lambda^* &= \frac{-1}{e^T H^{-1} e} \end{aligned} \tag{21}$$

Ako se u prethodni izraz uvrste vrednosti inverzne matrice H^{-1} i izvrše potrebna preračunavanja, dobija se traženi vektor w^*:

$$w_j^* = \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^{n} (x_j^* - x_{ij})^2\right]\left[\sum_{j=1}^{m} \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} (x_j^* - x_{ij})^2}\right]} \tag{22}$$

Kombinacija subjektivnog i objektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma

Određivanje težina kriterijuma kombinovanim pristupom primenjuje se s ciljem obezbeđenja uticaja subjektivnih i objektivnih faktora na težine kriterijuma. Postoji više mogućnosti kombinovanja subjektivnih i objektivnih metoda određivanja težina kriterijuma. Jedan interesantan primer predstavlja kombinacija metode otežanih najmanjih kvadrata (subjektivni pristup) i metode FANMA (objektivni pristup) formiranjem dvokriterijumskog modela matematičkog programiranja [6]:

$$\min \begin{pmatrix} z_1 = w^T Fw \\ z_2 = w^T Hw \end{pmatrix} \tag{23}$$

uz ograničenja:

$$\begin{aligned} e^T w &= 1 \\ w &\geq 0 \end{aligned} \tag{24}$$

Matrica F se formira u metodi otežanih najmanjih kvadrata (The Weighted Least Squares Method – WLS) koja minimizira funkciju L_2 Euklidskog rastojanja definisanu za elemente nepoznatog vektora prioriteta *w* i poznate ocene $a_{ij}=w_i/w_j$.

Da bi odredio težine kriterijuma, donosilac odluke vrši parna poređenja kriterijuma. Rezultati poređenja kriterijuma (skup poređenja parova kriterijuma) prikazuju se u formi matrice $A=[a_{ij}]_{nxn}$. Elementi matrice a_{ij} zadovoljavaju ograničenja: $a_{ij}>0$, $a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$ i predstavljaju relativnu važnost kriterijuma C_i u odnosu na kriterijum C_j.

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

Metode za određivanje *w* iz date matrice poređenja *A* nazivaju se zajedničkim imenom prioritizacione metode. Postoji više metoda prioritizacije, a ovde će biti prikazana metoda otežanih najmanjih kvadrata.

Težine kriterijuma dobijaju se rešavanjem sledećeg ograničenog nelinearnog problema optimizacije:

$$\min z = w^T F w = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(w_i - a_{ij}w_j)^2 \tag{25}$$

uz uslov:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \tag{26}$$

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

$$\begin{aligned} f_{kk} &= n-2+\sum_{i=1}^{n} a_{ik}, \quad k=1,2,...,n, \\ f_{kj} &= -(a_{kj}+a_{jk}), \quad k,j=1,2,...,n, \quad k\neq j \end{aligned} \tag{27}$$

Matrica F je, tzv. M–matrica [7], isključivo je pozitivna ako za bilo koje $i,j,k\in\{1,\ldots,n\}$ postoji bar jedno $a_{kj}\neq a_{ki}a_{ij}$. Pretpostavlja se da se gornji problem može rešiti tako da se dobije da je $w>0$ bez postavljanja ovog ograničenja. Navedeni model spada u klasu nelinearnih.

Uvođenjem Lagranžijana: $L_1=w^TFw+2\lambda_1(e^Tw-1)$ i njegovim diferenciranjem po *w* i λ_1 dobija se sistem od (*n*+1) nehomogenih linearnih jednačina sa (n+1) nepoznatom:

$$\begin{aligned} Fw+\lambda_1 e &= O \\ e^T w &= 1 \end{aligned} \tag{28}$$

Rešavanjem navedenog sistema jednačina dobija se:

$$w^* = \frac{F^{-1}e}{e^T F^{-1}}, \qquad \lambda_1^* = \frac{-1}{e^T F^{-1} e} \tag{29}$$

Za primenu kombinovanog pristupa određivanju težina kriterijuma nije potrebno provoditi proceduru metode otežanih najmanjih kvadrata u potpunosti, već je dovoljno odrediti matricu F. Ovde je ona prikazana u potpunosti radi sagledavanja metode u potpunosti.

Matrica H u modelu (33) definisana je u metodi FANMA i njeno određivanje neće biti ponovo prikazano.

Za rešenje kombinovanog problema datog modelima (33) i (34) može se koristiti otežani linearni aditivni metod višeciljnog programiranja. Procedura je sledeća:

$$\min\left(z_3 = w^T Q w\right) \tag{30}$$

uz ograničenja:

$$\begin{aligned} &e^T w = 1 \\ &w \geq 0 \end{aligned} \tag{31}$$

gde je Q=αF+βH, a elementi matrice Q su:

$$\begin{aligned} &q_{ii} = \alpha(n-2+\sum_{k=1}^{n} a_{ki}) + \beta\sum_{k=1}^{n}(x_i^* - x_{ki})^2, \quad i = 1,2,...,n \\ &q_{ij} = -\alpha(a_{ij} + a_{ji}), \quad i,j = 1,...,n, \quad i \neq j \end{aligned} \tag{32}$$

α i β odražavaju relativnu važnost subjektivnog i objektivnog pristupa respektivno i zadovoljavaju: 0<α, β<1 i α+β=1.

Da bi postavljeni problem bio rešen, potrebno je ignorisati ograničenja w≥0 i uvesti Lagranžijan L_3=$w^T Q w$+2λ_3($e^T w$−1). Diferenciranjem po *w* i λ_3 dobija se sledeći sistem jednačina:

$$\begin{aligned} &Qw + \lambda_3 e = 0 \\ &e^T w = 1 \end{aligned} \tag{33}$$

Rešavanjem sistema jednačina dobija se:

$$w^* = \frac{Q^{-1}e}{e^T Q^{-1}}, \qquad \lambda_1^* = \frac{-1}{e^T Q^{-1} e} \tag{34}$$

gde *w** predstavlja vektor težina kriterijuma određen subjektivnim i objektivnim pristupom. Vektor težina kriterijuma *w** ima praktično značenje ako su zadovoljena ograničenja *w*≥0.

Pored prikazane izabrane kombinacije subjektivnog i objektivnog pristupa, u opštem slučaju, kombinovanje bilo koje metode objektivnog i subjektivnog pristupa može se izvršiti na sledeći način:

– primenom izabrane metode subjektivnog pristupa odrediti težine kriterijuma $w_j(^s)$,

– izabranom metodom objektivnog pristupa odrediti težine kriterijuma $w_j(^o)$,

– konačne težine kriterijuma w_j odrediti pomoću izraza:

$$w_j = \frac{w_j^{(s)} w_j^{(o)}}{\sum_{j=1}^{m} w_j^{(s)} w_j^{(o)}} \tag{35}$$

Primer određivanja težina kriterijuma objektivnim metodama

Način određivanja težina kriterijuma primenom navedenih metoda biće prikazan na jednom ilustrativnom primeru. Budući da je osnovna namena primera prikaz primene metoda objektivnog određivanja težina kriterijuma, u radu neće biti detaljnije razrađivana priroda problema koji se rešava. Pretpostavlja se da je analizom konkretne situacije odlučivanja formirana matrica odlučivanja A data u tabeli 1. Potrebno je izvršiti rangiranje osam varijanti na osnovu sedam kriterijuma, od kojih je pet kriterijuma tipa maksimuma, a dva su tipa minimuma. Za svaki kriterijum određene su kriterijumske vrednosti varijanti.[4] Postoje svi potrebni podaci za određivanje težina kriterijuma.

Tabela 1
Table 1

Matrica odlučivanja A
A decision matrix

i \ j		Kriterijumi						
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Varijante	V1	80	2688	50	65	65	1524.6	15
	V2	100	4044.8	25	10	25	1224	10
	V3	50	2252.8	25	65	65	1836	65
	V4	35	2252.8	65	100	80	2448	25
	V5	1	3584	50	100	80	3051	90
	V6	5	3584	80	100	100	3051	70
	V7	80	4480	100	15	100	2754	40
	V8	80	2688	10	65	35	2134.8	55
		min	max	max	max	max	max	min

[4] Kvalitativne kriterijumske vrednosti varijanti se pogodnim transformacijama pretvaraju u kvantitativne.

Određivanje težina kriterijuma metodom entropije

Korak 1: primenom obrasca (2) izvršena je normalizacija vrednosti početne matrice odlučivanja. Normalizovana matrica odlučivanja R data je u tabeli 2.

Tabela 2
Table 2

Normalizovana matrica odlučivanja R
Normalized R decision matrix

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
V1	0.186	0.105	0.123	0.125	0.118	0.085	0.041
V2	0.232	0.158	0.062	0.019	0.045	0.068	0.027
V3	0.116	0.088	0.062	0.125	0.118	0.102	0.176
V4	0.081	0.088	0.160	0.192	0.145	0.136	0.068
V5	0.002	0.140	0.123	0.192	0.145	0.169	0.243
V6	0.012	0.140	0.198	0.192	0.182	0.169	0.189
V7	0.186	0.175	0.247	0.029	0.182	0.153	0.108
V8	0.186	0.105	0.025	0.125	0.064	0.118	0.149

Primenom izraza (4), za k=0,481 dobijene su sledeće vrednosti entropije e_j:

e_j=(0,864; 0,985; 0,919; 0,918; 0,962; 0,979; 0,913)

Korak 2: vrednosti stepena divergencije d_j, određenih na osnovu izraza (5), su sledeće:

d_j=(0,136; 0,015; 0,081; 0,082; 0,038; 0,021; 0,087)

Korak 3: aditivnom normalizacijom stepena divergencije dobijene su vrednosti težina kriterijuma:

w_j=(0,297; 0,032; 0,176; 0,178; 0,082; 0,045; 0,190).

Određivanje težina kriterijuma metodom CRITIC

Skalarizacijom podataka datih u matrici A primenom izraza (8) dobijena je matrica X (tabela 3). Primenjeni način skalarizacije polaznih podataka ne uzima u obzir tip kriterijuma (min. ili max.).

Tabela 3
Table 3

Matrica X
Matrix X

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
V1	0.798	0.195	0.444	0.611	0.533	0.165	0.063
V2	1.000	0.805	0.167	0.000	0.000	0.000	0.000
V3	0.495	0.000	0.167	0.611	0.533	0.335	0.688
V4	0.343	0.000	0.611	1.000	0.733	0.670	0.188
V5	0.000	0.598	0.444	1.000	0.733	1.000	1.000
V6	0.040	0.598	0.778	1.000	1.000	1.000	0.750
V7	0.798	1.000	1.000	0.056	1.000	0.837	0.375
V8	0.798	0.195	0.000	0.611	0.133	0.499	0.563

Za svaki kriterijum K1 do K7 proračunata je vrednost standardnog odstupanja s_j:

s_j=(0,377; 0,378; 0,338; 0,403; 0,366; 0,378; 0,356).

Vrednosti linearnog koeficijenta korelacije kriterijumskih vrednosti varijanti r_{ij} date su u tabeli 4.

Tabela 4
Table 4

Koeficijenti linearne korelacije kriterijumskih vrednosti varijanti r_{ij}
Coefficients of the linear correlation of the criteria values of r_{ij} variants

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1.000	0.128	-0.321	-0.852	-0.628	-0.775	-0.749
K2	0.128	1.000	0.471	-0.546	0.194	0.253	0.007
K3	-0.321	0.471	1.000	0.058	0.890	0.631	0.028
K4	-0.852	-0.546	0.058	1.000	0.391	0.538	0.543
K5	-0.628	0.194	0.890	0.391	1.000	0.791	0.390
K6	-0.775	0.253	0.631	0.538	0.791	1.000	0.710
K7	-0.749	0.007	0.028	0.543	0.390	0.710	1.000

Kada se na podatke date u tabeli 4 primene potrebni proračuni iz obrasca (10), a zatim se uvrste u izraz (11), dobijaju se vrednosti C_j:

C_j=(3,463; 2,078; 1,433; 2,364; 1,456; 1,457; 1,807).

Aditivnom normalizacijom vrednosti C_j dobijaju se težine kriterijuma w_j:

w_j=(0,246; 0,148; 0,102; 0,168; 0,104; 0,104; 0,129).

Određivanje težina kriterijuma metodom FANMA

Skalarizacijom podataka iz matrice A pomoću izraza (14) i (15) dobija se matrica X (tabela 5). Za razliku od metode CRITIC, prilikom skalarizacije podatka u metodi FANMA u obzir se uzima tip kriterijuma.

Tabela 5
Table 5

Matrica X
Matrix X

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
V1	0.202	0.195	0.444	0.611	0.533	0.165	0.938
V2	0.000	0.805	0.167	0.000	0.000	0.000	1.000
V3	0.505	0.000	0.167	0.611	0.533	0.335	0.313
V4	0.657	0.000	0.611	1.000	0.733	0.670	0.813
V5	1.000	0.598	0.444	1.000	0.733	1.000	0.000
V6	0.960	0.598	0.778	1.000	1.000	1.000	0.250
V7	0.202	1.000	1.000	0.056	1.000	0.837	0.625
V8	0.202	0.195	0.000	0.611	0.133	0.499	0.438

Lako se može uočiti da je po svim kriterijumima maksimalna kriterijumska vrednost varijanti jednaka jedinici.

Realizujući potrebne proračune zahtevane u izrazu (22), dobijaju se vrednosti težina kriterijuma w_j:

w_j=(0,120; 0,108; 0,123; 0,168; 0,169; 0,156; 0,156).

Uporedni prikaz dobijenih vrednosti težina kriterijuma

U tabeli 6 dat je uporedni prikaz vrednosti težina kriterijuma određenih metodama entropije, CRITIC i FANMA.

Tabela 6
Table 6

Uporedni prikaz vrednosti težina kriterijuma
Comparative review of the value of criteria weights

Metoda		Kriterijumi						
		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
entropija	w_j	0,297	0,032	0,176	0,178	0,082	0,045	0,190
	rang	1	7	4	3	5	6	2
CRITIC	wj	0,246	0,148	0,102	0,168	0,104	0,104	0,129
	rang	1	3	7	2	5	5	4
FANMA	w_j	0,120	0,108	0,123	0,168	0,169	0,156	0,156
	rang	6	7	5	2	1	3	3

Opšte poznata činjenica da različite metode daju različite vrednosti težina kriterijuma potvrđena je navedenim primerom. Detaljna analiza i utvrđivanje uzroka nastanka navedene činjenice nije predmet ovog rada. Međutim, može se uočiti da se kod razmatranih metoda primenjuju različiti načini skalarizacije i normalizacije početnih podataka. Ako bi se u metodi CRITIC primenio način skalarizacije dat u metodi FANMA, dobile bi se sledeće vrednosti težina kriterijuma: w_j=(0,126; 0,17; 0,096; 0,165; 0,1; 0,11; 0,234) koje se značajno razlikuju od vrednosti dobijenih originalnom metodom.

Može se opravdano pretpostaviti da način transformacije početne matrice odlučivanja utiče na vrednosti težina kriterijuma. U skladu sa navedenim, način transformacije početne matrice odlučivanja izabrane metoda određivanja težina kriterijuma mora biti u skladu sa načinom transformacije početnih podataka metode višekriterijumske analize.

Poređenjem vrednosti w_j u tabeli 6 uočava se da metoda entropije daje najveći raspon vrednosti težina kriterijuma (w_j^{max}-w_j^{min}=0,265), zatim metoda CRITIC (0,144), a kod metode FANMA raspon je najmanji (0,061).

Najveća korelacija vrednosti težina kriterijuma je između metoda entropije i CRITIC (r=0,69). Između vrednosti težina kriterijuma metoda CRITIC i FANMA postoji negativna korelacija (r= -0,35), dok je najmanja korelacija između metoda entropije i FANMA (r= -0,11).

Zaključak

Određivanje težina kriterijuma jedan je od ključnih koraka u rešavanju problema višekriterijumske analize. Značaj težina kriterijuma ogleda se u činjenici da težine kriterijuma mogu uticati na konačno rešenje konkretnog višekriterijumskog problema.

Razvijeno je više metoda određivanja težina kriterijuma koje se, u najopštijem slučaju, mogu podeliti na subjektivne i objektivne. Za razliku od subjektivnih metoda, objektivne metode isključuju uticaj donosioca odluke na vrednost težina kriterijuma.

Opis najčešće korišćenih objektivnih metoda određivanja težina kriterijuma, datih u radu, može biti od velike pomoći prilikom rešavanja konkretnih višekriterijumskih metoda što jeste osnovna svrha rada.

Za primenu navedenih metoda, potrebno je formirati matricu odlučivanja, odnosno odrediti skup varijanti, skup kriterijuma po kojima se ocenjuju varijante i odrediti kriterijumske vrednosti varijanti.

Različite metode daju različite vrednosti težina kriterijuma. Način transformacije polaznih podataka utiče na vrednosti težina kriterijuma. Poređenje različitih metoda i detaljna analiza rezultata koji se dobijaju njihovom primenom može biti predmet daljih istraživanja ovog problema.

Literatura

[1] Weber, M., Borcherding, K., *Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making*. European Journal of Operational Research, 67, 1-12, 1993.

[2] Zeleny, M., *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw-Hill, New York, 1982.

[3] Srđević, B., Medeiros Y.D.P., Faria, A.S., Schaer, M., *Objektivno vrednovanje kriterijuma performanse sistema akumulacija*. Vodoprivreda, 35, 163-176, Novi Sad, 2003.

[4] Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis L., *Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method*. Computers and Operations Research, 22, 763-770, 1995.

[5] Srđević, B., *Nepristrasna ocena značaja kriterijuma u višekriterijumskoj optimizaciji*. Vodoprivreda, 37, 53-58, 2005.

[6] Jian, M., Zhi-Ping, F., Li-Hua H., *A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights*. European Journal of Operational Research, 112, 397-404, 1999.

[7] Graham, A., *Nonnegative matrices and applicable topics in linear algebra*. Ellis Horwood, Chichester, UK, 1987.

AN OBJECTIVE APPROACH TO DETERMINING CRITERIA WEIGHTS

FIELD: Mathematics (Operations Research)
ARTICLE TYPE: Scientific Criticism

Summary:

This paper presents an objective approach to determining criteria weights that can be successfully used in multiple criteria models. The methods of entropy, CRITIC and FANMA are presented in this paper as well as a possible combination of the methods of objective and subjective approaches. Although based on different theoretical settings, and therefore with different algorithms of realization, all methods have a decision matrix as a starting point. An objective approach to determining the weight of criteria eliminates the negative impacts of a decision maker on criteria weights as well as on the final solution of multicriteria problems.

The main aim of this paper is to systematize description procedures as a kind of help when encountering a problem of determining the criteria weights for solving multicriteria tasks.

A possibility of the method application is shown in a numerical example.

Introduction

The determination of criteria weights is one of the key problems arising in models of multicriteria analysis. Criteria weights may significantly affect the outcome of the decision making process.

Generally speaking, there are two types of weights: coefficients of importance and trade-off indicators. The main difference between the weights as coefficients of importance and weights as trade-off indicators is the way of determining the weights, or whether the compensation between criteria is considered.

The procedures for determining the weight criteria have been a subject of intensive research and scientific discussion for many years. In the literature it is possible to find more developed approaches to determining criteria weights.

Classification of the methods for determining criteria weights

The division of the methods for determining criteria weights was carried out in accordance with the author`s concepts and needs for the solution of particular practical problems.

The main divisions of the methods for determining criteria weights are to: statistical and algebraic, holistic and decomposed, direct and indirect, compensation and noncompensation ones.

The approaches to determining criteria weights can be divided into subjective and objective ones. Subjective approaches are based on determining criteria weights on the basis of information received by decision-makers or experts involved in the decision making process. Objective ap-

proaches are based on determining criteria weights on the basis of information contained in the decision matrix of some mathematical models.

Methods of objective approach to determining criteria weights

In the objective approach to determining criteria weights, criteria are viewed as sources of information and the relative importance of criteria reflects the amount of information contained in any of them.

The amount of information contained in each criterion is associated with the contrast intensity of each criterion. A standard deviation and entropy are possible measures of the intensity and the ways of the implementation of objective criteria weights.

In the rest of this part of the work, the algorithms of the methods of entropy, CRITIC and FANMA are described in detail.

A possible combination of subjective and objective approach is also shown. The described method is a combination of the weighted least squares method (subjective approach) and the FANMA method (objective approach) by forming a bicriteria model of mathematical programming.

Example of determining the criteria weights by objective methods

The methods of determining the criteria weights using the above methods are shown in an illustrative example. Data needed to solve a particular multicriteria problem are contained in the decision matrix. The criteria weights for seven criteria, five of which are the types of the maximum and two are the types of the minimum, have been determined by these methods.

Finally, the values of criteria weights are compared and a brief feedback of the results is given.

Conclusion

There are several developed methods for determining criteria weights which, in general, can be divided into subjective and objective ones. In contrast to subjective methods, objective methods exclude the impact of the decision maker on the value of criteria weights.

The description of the most commonly used objective methods for determining criteria weights, given in the paper, can be of great help in solving specific multicriteria methods, which is the main purpose of this paper.

For the application of these methods, it is necessary to form a decision matrix and determine a set of alternatives, i.e. a set of criteria by which to evaluate alternatives and determine the criteria values of alternatives.

Different methods give different values of criteria weights. A way of transforming initial data affects the value of criteria weights. The comparison of different methods and a detailed analysis of the results obtained by their application may be a subject of further research.

Keywords: *criteria weights, entropy, CRITIC, FANMA.*

Datum prijema članka: 18. 04. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 05. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 11. 05. 2011.

JAVA PROBLEM-BASED LEARNING

Šimić P. *Goran*,
University of Defence, Military academy, Center for Simulations and Distance Learning, Belgrade

FIELD: Computer Sciences, E-learning & ODL (Opet & Distance Learning) Technologies

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Sažetak:

The paper describes the self-directed problem-based learning system (PBL) named Java PBL. The expert module is the kernel of Java PBL. It involves a specific domain model, a problem generator and a solution generator. The overall system architecture is represented in the paper. Java PBL can act as the stand-alone system, but it is also designed to provide support to learning management systems (LMSs). This is provided by a modular design of the system. An LMS can offer the declarative knowledge only. Java PBL offers the procedural knowledge and the progress of the learner programming skills. The free navigation, unlimited numbers of problems and recommendations represent the main pedagogical strategies and tactics implemented into the system.

Key words: *problem based learning, e – learning, intelligent tutoring systems*.

Introduction

This paper describes the case study in self-directed problem-based learning. Problem-based learning (PBL) is a student-centered instructional strategy in which students (individually, or organized in groups) solve problems and reflect on their experiences. PBL is strongly founded in a specific domain of expertise and it emphasizes critical thinking and problem-solving skills of students.

Different domains need different approaches in the design of PBL systems. The common characteristic of these systems is an assigned problem and learners have to have some procedural knowledge needed to solve this problem. In a PBL scenario, the PBL system plays the teacher's role and it already has to have this knowledge. This is the start point of the presented research.

The next section briefly overviews related work of other authors relevant to the design and development of the PBL system, providing the context within which the presented studies are best understood. Section

goran.simic@mod.gov.rs

3 presents the motivation. The system design and architecture are analyzed in Section 4. The case study is described in Section 5. The system evaluation is presented in Section 6.

E-Learning and PBL

Intelligent tutoring systems (ITSs) in different domains represent the applications of computer-supported PBL. There are many PBL ITSs in medicine: Slide Tutor [1] is designed for learning dermatopathology. A student makes his/her own hypothesis about the assigned problem. He/she chooses the most appropriate concepts from the domain ontology and tries to prove his/her hypothesis. CIRCSIM-Tutor [2] teaches cardiovascular physiology by a Socratic-style dialog with the student to help him/her in reasoning towards the correct solution, and many others. Cognitive Tutor [3] is a well-known mathematic tutor which builds a cognitive model of a student as he/she interacts with the application. This ITS profiles the student and it performs system adaptation according to student's solutions of given problems. In a KERMIT [4], PBL and student modeling are implemented (Knowledge-based Entity Relationship Modeling Intelligent Tutor) by constraints. Some PBL systems are accessible over the Internet. For example, ELM ART [5] is a Web-based tutor designed for tutoring in LISP programming language. The ELM ART problem adaptation is based on an episodic learner model. An episode represents the parts of the learner session related to the concrete problem and to the earner's attempts to solve it.

The adaptation of the PBL process in the ITS is based on the specialized learner model. The adaptation means the problem, which the ITS assigns to the learner, is changeable according to the actual state of the learner's model. This model will be changed every time when the ITS processes the leaner's solution.

Learning management systems (LMSs) represent the most widely used e-learning systems over the Web. They improve both the self-paced and the instructor-led learning processes [6]. Unfortunately, these systems do not support PBL. LMSs are designed to be domain-independent systems, with the rich palette of administration functionalities. They are focused on delivering reusable, well-structured learning content. Therefore, just the declarative knowledge of the individual learner can be evaluated in an LMS. Fortunately, LMSs are well-standardized systems (mainly according to SCORM 2004 standard). They have good cooperative possibilities. The new functionalities can be added as new modules of the LMS, or as separate applications which interchange the data and other resources with the LMS.

Description of the problem

The aim of the research described in this paper is to develop the separate application which supports LMSs for PBL. Based on real needs, one implementation is considered: the course about Java programming.

Java is one of the most popular programming languages, but there are just few systems for Java tutoring on the Web. Some of them are focused on learning specific skills. For example, Swing Tutor [7] is designed for learning how to make interfaces by using Java GUI classes. There are some disadvantages of using these systems. The learners cannot navigate through the system. They are leaded step by step through the learning space without the possibility of navigating back. Neither the system shows the "whole Figure" of the course (structure, organizations, tasks and goals), nor the students can see their results from previous attempts. The non-intuitive and complex user interface represents additional disadvantages of these two tutors.

Other example of Java tutoring is Java Sprint [8] - the commercial pluggable component for Eclipse IDE. Differently from other Java ITSs, Java Sprint covers the most important Java programming concepts. Unfortunately, this tool cannot be used over the Web, and it is designed just for one client per application. The dependence of the Eclipse platform represents another disadvantage of this tool.

The facts mentioned above motivate us to develop the custom components for PBL of Java programming. The domain-based system design and usage are represented in this paper.

Environment and the PBL system

The general architecture of the PBL system represents the start point of research. Every PBL system consists at least of five modules (minimal number of modules). The learners interact with the system through the *communication* module. This is the most frequently mentioned module in the architecture of e-learning systems [9-12]. The *problem generator* and the problem solver represent the other necessary modules in PBL systems. The first one generates the problem for the learner. The *solution generator* generates the system solution based on a delivered problem. The *expert module* checks the learner solution by comparing it with the system solution. The differences are used for diagnosing and for updating the state of the *learner model*. This is the responsibility of the expert module. In the next iteration, the problem generator modifies the problem based on the changes in the learner model. This means the learner model makes the system adaptable according to the learner's actual needs.

Extended model

Note that the basic architecture does not contain any explicit mechanism which can provide help to the learner. Short feedback messages or other similar mechanisms are used in this case. If the PBL system is a part of some other system (e.g. LMS), the environmental system learning resources can be used for this kind of support. In this case, the basic architecture has to be extended with new concepts (Fig. 1).

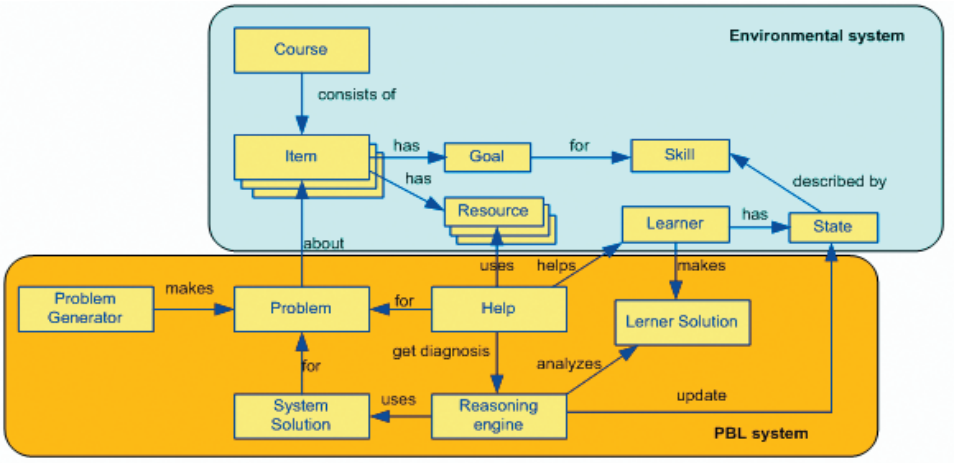


Figure 1 – The additional concepts which improve contextual help

These concepts are designed according to the actual e-learning standards implemented in the most of LMS [10,11]. The item represents the organizational unit of the course (learning unit). The item has a goal which is to master a specific skill. The learner's state is also described by his skills.

If the problem is related to the course item, the variety of problem types will be proportional to the course fragmentation. More items need more problem types. On the other side, the help system will be more effective if the item resources describe smaller pieces of knowledge. In this way, help will be more contextual.

When the learner uses the PBL system, his state permanently changes. The system helps the learner with a specified type of the problem by using the resources related to the same item as the problem. This help is also harmonized with the learner's state. Since the state is described by skill levels, the system tries to find the most appropriate resources to improve them. Also the system tries to get a diagnosis for a concrete problem. The reasoning engine is used for performing these advanced tasks.

PBL in Java Programming

The design of the Java Programming PBL system is based on the language building blocks. The class (*UDClass*) represents the main language concept (Fig. 2). It consists of data members (attributes) and function members (methods). The research is focused on the basic programming skills. This means that the learners are able to define the variables and methods and to use them.

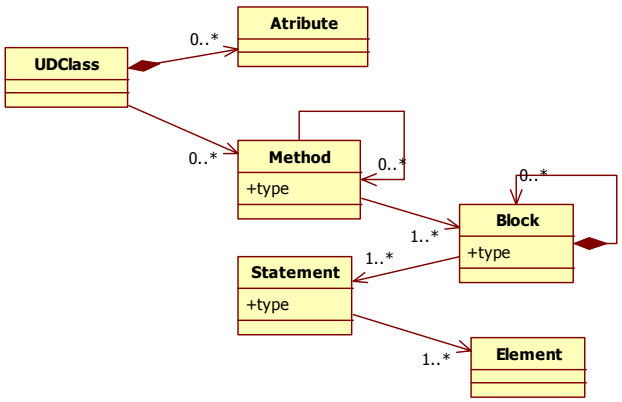


Figure 2 – Used concepts in Java Programming PBL

The method contains one or more blocks. There are different types of methods, based on visibility, number of arguments, return value and method content. They can consist of functional calls – other methods, defined in the same class or in other classes. Methods consist of blocks. The four block types are considered: sequential, conditional, cyclic and single statement blocks. The blocks can also contain embedded blocks. The blocks consist of statements. There are also different types of statements: declarations, definitions, value assignments and examinations, etc. Each statement is made of elements (e.g. variable types, names, values and different kind of operators). All concepts mentioned above are encapsulated as classes in the *Java PBL*.

Problem types

Different problem types are defined regarding the concepts mentioned above. Problems can also be layered regarding their complexity. The next illustration (Fig. 3) demonstrates the relations between the problem types and the programming concepts. The basic level problems are related to the basic statements such as variable or array definitions. The value assignments and data retrieving are also used for the basic level problems.

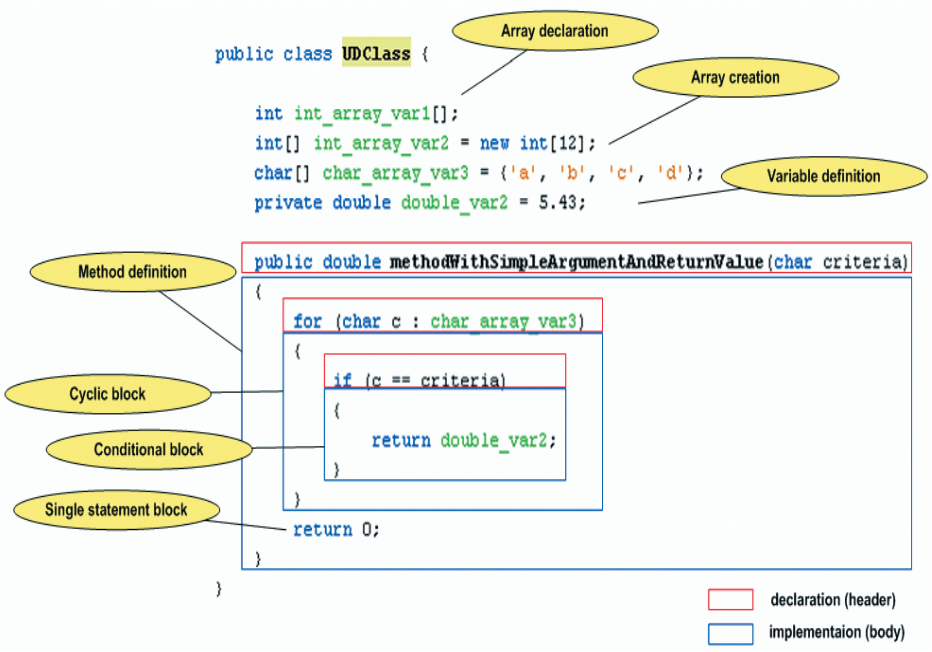


Figure 3 – Sample class concepts used in considerations

The 2nd level problem types include the implementation of different blocks (sequential, cyclic, etc.). The whole method implementations are included in the 3rd level problems. There are several problem types regarding the method properties (e.g. type and number of arguments, required functionality and return values). The highest level problems require the definition of a whole class (or classes) to accomplish more general functionalities.

The class content is hierarchically structured. Every block and every method generally consists of a declaration and an implementation part (named header and body). This characteristic is very important for generating the system solution and for analyzing the learner solution. Note that the basic architecture does not contain any explicit mechanism which can provide help to the learner. The short feedback messages or other similar mechanisms are used in this case. If the PBL system is a part of some other system (e.g. LMS), the environmental system learning resources can be used for this kind of support. In this case, the basic architecture has to be extended with new concepts.

The system generates the problem dynamically. The names, types and values (of the variables, methods and classes) are defined randomly. These data represent the problem parameters. The problem consists of three or more parameters. The system uses these data to make the system solution and to check the learner solution.

For example, one of the 3rd level problem types is the single argument method with the IF clause. This kind of problems consists of 8 parameters: the method return type and name, the argument type and name, the criteria value, logical operator type (used in the IF clause), and two return values (when the IF clause is true and when the IF clause is false). The learner solution diagnostic in the PBL system is based on checking the presence of these parameters.

Processing of the learner solution

The PBL system processes the learner solution in several stages (Fig. 4). The solution embedding and compiling are the first two stages of the solution processing.

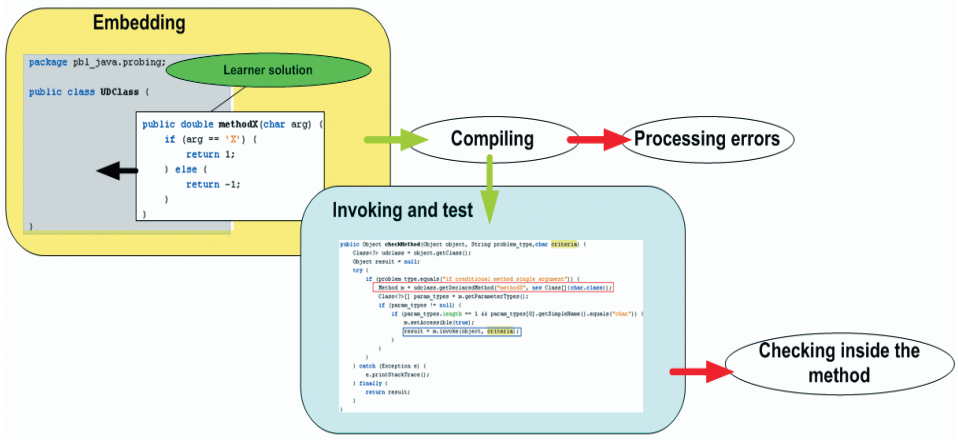


Figure 4 – Processing of the learner solution

Embedding means that the system completes the learner solution with the necessary code in order to compile it. The solutions of the 1st level problems (see the previous paragraph) have to be embedded in the empty class declaration. The 2nd level problem solutions require double embedding – by method and (method) by class. The 3rd level solutions have to be wrapped by class.

The system checks the solution syntax by the compiler. If the compiling results are without any exception, then the solution syntax is correct. On the other hand, the PBL system processes the errors by catching the diagnostics (*javax.tools.Diagnostic*) returned from the compiler, and customizes these to the learner.

If the solution syntax is correct, the PBL system performs the next phase – invoking and test. Java reflection classes are used for this purpose (*java.lang.reflect* package). These classes provide the instantiating and inspecting of the user-defined classes. The system is able to check declarations (types and names of class members) as well as the method behavior.

The 2nd and higher type solutions are tested by invoking the requested methods. Then, the PBL system passes different parameter values to the method, picks the results, and compares these with the expected values. If the compared values are different, the system performs the highest level checking – semantical checking of the code inside the method. In this case, the method body is parsed (as previously described) and processed by an appropriate expert class (Fig. 5).

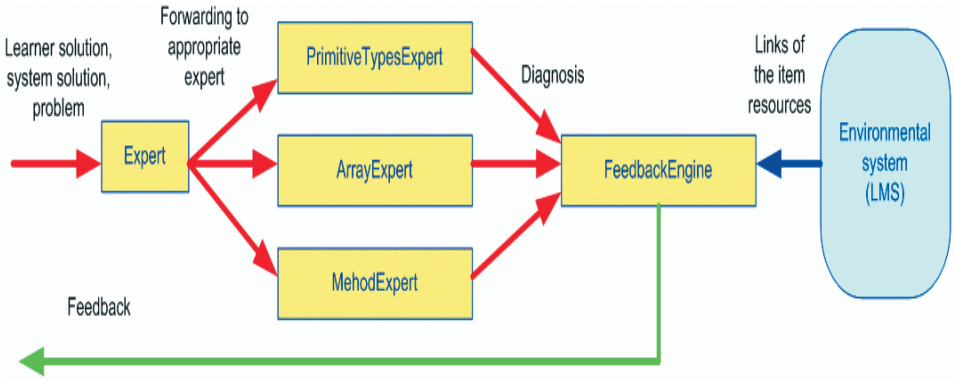


Figure 5 – Processing of the learner solution

The expert plays the role of a dispatcher by recognizing the problem type and forwarding the input data to the specialized expert. It compares the solutions and makes diagnosis. The feedback engine requests the links of the item resources based on the problem and diagnosis. Finally, the PBL system delivers the feedback messages, the helpful links and the system solution to the learner.

Example of usage

The complex PBL system structure does not influence the user interface simplicity. *Java PBL* could be used as a desktop, or Web (JSP) application. Both types use the same PBL engine. The user interface communicates with the engine through the engine API (implemented as a separate class – UML design pattern *Façade*). The learner has free navigation through the PBL resources. Different problem types are represented to him as hyperlinks to the specified problem solving content (Fig. 6).

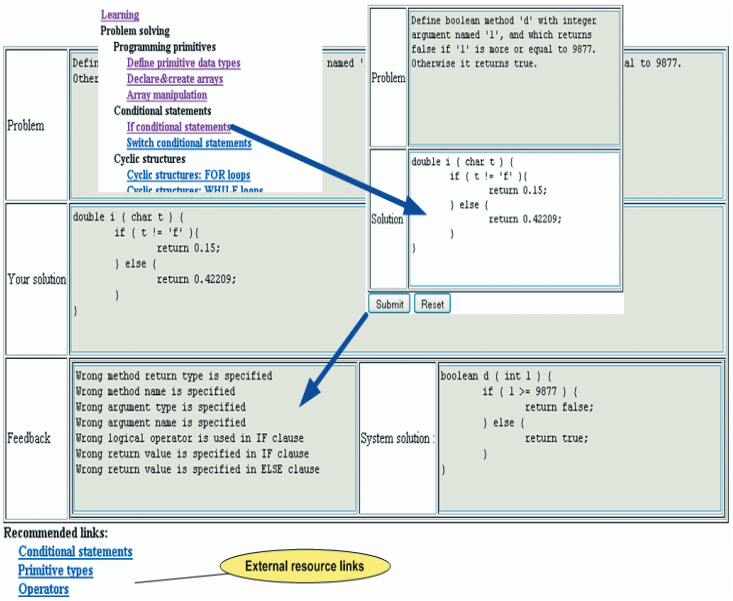


Figure 6 – Usage of *Java PBL*

Based on the user choice (learning topic), *Java PBL* presents a dynamically generated problem to the learner. If the learner tries to reload the page, or return to the previous window, the new problem will be generated. Thus, the learner is pedagogically directed to use the system in an appropriate way.

The learner tries to solve the problem. After the user submits his solution, the system processes it as described above. In the given example, the learner's method does not return expected results, and the PBL system performs the highest level of checking. Therefore, the feedback contains a detailed description of the semantical errors. The errors are formalized in the system. As the problems, they are also related to the learning resources. The system uses this characteristic to show the learner the most appropriate links in the form of recommendations. The learner is free to choose whatever he wants. He can continue with problem solving, or he can study the recommended materials. The system registers all of the learner's actions and these data can be used for different kinds of later reporting.

Conclusions

The presented study proves that the PBL systems can be a complement of the LMS. The actual LMS does not have support for PBL. Owing to the modular architecture and standardization of the learning resources, these two kinds of systems can coexist. The LMS learning resources are designed to provide learners with the declarative knowledge (definitions, explanations, illu-

strations, lectures). But this kind of knowledge (*knowing-what*) is not helpful enough in solving concrete domain problems (*knowing-how*). On the other side, if the learner does not have enough declarative (descriptive) knowledge, he will not be able to perform tasks related to this knowledge. The different approaches can be applied in using these systems. In hereby studies, the LMS learning resources are used for improving PBL. The PBL system can also be considered as a separate component of the LMS system. The irrefutable fact is that the learning process is enriched by using both of them.

Java PBL provides free navigation to the learner. He can change the problem type whenever he wants. Irrespective of the navigation possibilities, the learner can self pace the learning progress. The applied pedagogy strongly depends on the nature of the domain. The learner progress in programming is performed by a number of attempts. This domain needs much more experience than procedural knowledge.

The open architecture of the presented PBL solution provides the possibility of adding new modules. In this way, new problem types can be separately developed and easily plugged into the system and linked with LMS materials.

Reference

[1] Crowley, R., and Medvedeva, O., *An Intelligent Tutoring System for Visual Classification Problem Solving*. *Artificial Intelligence in Medicine*, Elsevier, 2006, 36 (1), 85-117

[2] Mills, B., Even, M., and Freedman, R., *Implementing directed lines of reasoning in an intelligent tutoring system using the atlas planning environment*. *International Conference on Information Technology*: ITCC 2004, 729-733

[3] Anthony, Lisa; Yang, Jie; Koedinger, Kenneth R., *Evaluation of Multimodal Input for Entering Mathematical Equations on the Computer, ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI 2005), Portland, OR, 4 Apr 2005, 1184-1187

[4] Suraweera, P., Mitrovic, A., *An Intelligent Tutoring System for Entity Relationship Modelling*, *International Journal of Artificial Intelligence in Education* (*IJAIED*), 2004, 14, 375-417

[5] Weber, G., Brusilovsky P., *ELM-ART: An Adaptive Versatile System for Web-Based Instruction, International Journal of Artificial Intelligence and Education*, 2001, Vol.12, 351-384

[6] Beck, J., Stern, M., Haugsjaa, E., *Applications of AI in Education*, *ACM Crossroads*, 1996, Vol. 3, No. 1, 11-15.

[7] Java tutoring systems: Swing Tutor, available at: http://nasa1.ifsm.umbc.edu/learnJava/tutorLinks/SwingTutorLinksV2.html

[8] Java pluggable component for Eclipse IDE, available at: http://www.javasprint.com/

[9] Brusilovsky, P., *A Distributed Architecture for Adaptive and Intelligent Learning Management Systems*, in *Proceedings of AIED 2003 Workshop: Towards Intelligent Learning Management Systems*, Sydney, 5-13.

[10] Šimić, G., *Modelovanje korisnika u sistemima za upravljanje sadržajem*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 53, No. 1, pp. 59-68, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd 2005.,

[11] Shimic, G., and Jevremovic A., *Problem-based learning in formal and informal learning environments, Interactive Learning Environments*, Taylor & Francis, 2010,

[12] http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10494820.2010.486685#preview

UČENJE PROGRAMSKOG JEZIKA JAVA REŠAVANJEM PROBLEMA

OBLAST: računarske nauke, e-learning & ODL (Open & Distance Learning) tehnologije

VRSTA ČLANKA: originalni naučni rad

Sažetak:

Ovaj rad opisuje sistem za individualno učenje rešavanjem problema čiji je naziv Java PBL. Jezgro Java PBL je ekspertski modul. Ovaj modul uključuje specifičan domenski model, generator problema i generator rešenja. U materijalu je predstavljena celokupna sistemska arhitektura. Java PBL može da funkcioniše kao samostalna aplikacija, ali je dizajnirana i da pruži podršku sistemima za upravljanje učenjem (LMS). Modularni dizajn sistema obezbeđuje ovu funkcionalnost. Sistemi za upravljanje učenjem mogu da ponude korisnicima samo deklarativna znanja. Java PBL nudi proceduralna znanja i napredovanje veštine programiranja kod korisnika. Slobodna navigacija, neograničeni broj zadataka (problema za rešavanje),preporuke predstavljaju glavne pedagoške strategije i taktike primenjene u sistemu.

Uvod

Učenje rešavanjem problema (PBL) predstavlja strategiju u nastavi usmerenu direktno na studenta, u kojoj on rešava problem (zadatke) i kroz to reflektuje svoje iskustvo (znanje). PBL je zasnovano na domenskoj ekspertizi, izgrađuje kritičko razmišljanje i veštinu rešavanja problema kod studenata. Da bi student rešio problem, on mora da poseduje odgovarajuće proceduralno znanje. U učenju rešavanjem problema PBL aplikacija ima ulogu nastavnika, tako da i u njoj mora da bude ugrađeno isto to znanje.

Elektronsko učenje i učenje rešavanjem problema

Učenje rešavanjem problema implementirano je u inteligentnim tutorskim sistemima (ITS). U praksi preovladavaju ITS iz domena medicinskih nauka: Slide Tutor [1] namenjen za učenje dermatopatologije. CIRCSIM-Tutor [2] namenjen je za učenje kardiovaskularne psihologije. Pored medicinskih, česti su matematički ITS, na primer, Cognitive Tutor [3]. KERMIT [4] je informatički tutor za učenje pravljenja modela objekti – veze. Neki od ITS dostupni su preko interneta, na primer, ELM ART [5] je ITS namenjen za učenje LISP programskog jezika.

Sistemi za upravljanje učenjem (LMS) predstavljaju preovlađujuće sisteme za e-učenje na Webu. LMS omogućavaju i individualno i učenje

vođeno od strane nastavnika [6]. Ali LMS nemaju mogućnost za učenje rešavanjem problema. LMS su standardizovani (uglavnom sa SCORM 2004 standardom), tako da su otvoreni za saradnju s drugim sistemima. Nove funkcionalnosti mogu da se dodaju, bilo kao novi sistemski moduli ili kao posebne aplikacije koje sa LMS razmenjuju podatke studenata i druge resurse.

Opis problema

Fokus istraživanja opisan u materijalu je razvijanje posebne PBL aplikacije koja će predstavljati podršku za LMS. Zbog realnih potreba, izabran je kurs iz Java programskog jezika.

Iako je Java jedan od najpopularnijih programskih jezika, postoji samo nekoliko sistema za učenje Java na Webu. Ovi sistemi fokusirani su samo ne specifične delove jezika. Na primer, Swing Tutor [7] usmeren je isključivo na izgradnju korisničkih interfejsa. Ovaj sistem ne dozvoljava slobodnu navigaciju u prostoru učenja niti studenti vide prethodno ostvarene rezultate. Drugi primer je dodatni modul za Eclipse razvojno okruženje. Ovaj modul pokriva tutorstvo za najvažnije koncepte Java. Nažalost, nije dostupan posredstvom Weba. Zavisnost od Eclipse okruženja drugi je nedostatak sistema. Oba sistema su izolovani od drugih okruženja za e-učenje. Iznete činjenice bile su motiv za razvoj vlastitih komponenti za PBL Java programskog jezika.

Okruženje i sistem za učenje rešavanjem problema

PBL sistem, pored komunikacionog modula, sadrži generator problema i rešenja, ekspertski modul za kontrolu rešenja i korisnički model u koji se ažurira stanje (rezultati) korisnika. Osnovni mehanizam tutorstva su povratne poruke o sintaksičkim i semantičkim greškama i prikaz tačnog rešenja.

Prošireni model sistema

Ako je PBL sistem okružen na primer LMS-om, resursi učenja u LMS mogu da postanu deljivi. Pošto su LMS usklađeni sa SCORM 2004 standardom, osnovna komponenta item, koja može da predstavlja tematsku celinu, lekciju, povezuje se sa tipom problema. Ovaj princip korišćen je za deo PBL sistema za preporučivanje sadržaja učenja.

Učenje rešavanjem problema u Java programiranju

Java PBL namenjen je za izučavanje osnovnih koncepata programiranja u Javi, tako da je definisana jedna klasa (UDClass) kroz koju se proveravaju korisnička rešenja. U sistemu su kroz klase implementirani koncepti atributa i metoda, dalje blokova naredbi, koji imaju svoje izvedene klase prema vrsti – ciklične strukture, kontrole toka, ili proste sekvencijalne strukture i na kraju – same naredbe i njihovi elementi.

Vrste problema

Zahvaljujući strukturiranosti modela, u Java PBL definisana su 4 težinska nivoa problema. Prvi nivo je definisanje varijabli različitih tipova. Drugi nivo je da se implementiraju različite strukture (razgranate ili ciklične), treći nivo je definisanje metoda klase, koje kombinuju sve prethodno. Najviši nivo je da se definiše čitava klasa, koja sadrži različite metode.

Obrada korisničkog rešenja

Obrada korisničkog rešenja zavisi od nivoa problema. Sintaksička provera rešenja vrši se propuštanjem izvornog koda rešenja kroz Java kompajler. Za jednostavnije tipove problema rešenje mora da se ugnezdi u odgovarajuću strukturu kako bi se kompajliralo. Ako postoje sintaksičke greške, lokalizovane poruke kompajlera predstavljaju odziv sistema. Ako nema sintaksičkih grešaka, vrši se semantička provera korišćenjem invoke&test tehnike (Java reflexions). Ako postoje semantičke greške, studentsko rešenje upoređuje se sa sistemskim i tada se generišu poruke sistema u zavisnosti od rezultata upoređivanja. Ovu aktivnost vrši ekspertski modul koji koristi u pravilima ugrađeno domensko znanje. Zbog različitih tipova i težine problema, postoje specijalizovani podmoduli koji ispituju pojedinačne fragmente rešenja, a rezultate ispitivanja prikuplja glavni ekspertski modul, koji generiše odziv sistema prema studentu.

Primer korišćenja

Java PBL je dizajniran modularno – logika je odvojena potpuno od korisničkog interfejsa korišćenjem UML obrasca Fasada. Svi funkcionalni pozivi (API) realizuju se posredstvom ove klase, tako da je moguća saradnja između sistema. Kao samostalna Java PBL može da se koristi kao desktop ili Web aplikacija (JSP). U svim slučajevima koraci korišćenja su da student izabere sadržaj (vrstu problema). Sistem zatim generiše novi problem, koji student rešava. Rešenje zatim proverava sistem. Rezultat provere su primedbe sistema, prikaz tačnog rešenja i preporuke nastavnih materijala za učenje radi postizanja boljih rezultata.

Zaključak

Prikazan je jedan od načina kako da se omogući proširivanje funkcionalnosti LMS za PBL. Studenti na LMS sistemima usvajaju samo deklarativna znanja (definicije, objašnjenja, ilustracije, lekcije). Ova vrsta znanja (znati šta) nije dovoljna u rešavanju konkretnih domenskih problema (znati kako). Na drugoj strani student ne može da rešava probleme ako nema dovoljno deklarativnog znanja. To znači da su ovi sistemi komplementarni – da se nadopunjuju, a kvalitet učenja podiže se na viši nivo. Studentu su ponuđene obe vrste resursa, tako da može slobodno da ih koristi u skladu sa svojim stilom, tempom učenja i postavljenim zahtevima.

Java PBL ima otvorenu modularnu arhitekturu koja omogućava razne režime korišćenja, bilo kao samostalne aplikacije ili kao logički resurs za druge sisteme za e-učenje iz okruženja.

Ključne reči: *učenje rešavanjem problema, elektronsko učenje, inteligentni tutorski sistemi.*

Datum prijema članka: 26. 08. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 17. 11. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 18. 11. 2011.

TEHNOLOŠKI, VOJNI I DRUŠTVENI PREDUSLOVI PRIMENE SAJBER RATOVANJA

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

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

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Sajber ratovanje je specifičan i nov oblik vođenja vojnih sukoba čija primena u međunarodnoj zajednici brzo raste. Međutim, njegova priroda je specifična i razlikuje se od svih do sada poznatih oblika ratovanja. Radi jasnijeg razumevanja prirode sajber ratovanja, u radu su obrađene osnovne grupe preduslova njegove široke primene i brzog razvoja sa tehnološkog, vojnog i društvenog aspekta. Razumevanje stvarne prirode sajber ratovanja neophodan je uslov za izgradnju nacionalnih kapaciteta za njegovo vođenje koji su vojno opravdani i usklađeni sa međunarodnim pravom. U radu su istraženi karakteristični slučajevi primene sajber ratovanja, od informaciono-propagandnih do fizičkog uništenja, s ciljem da se utvrde smernice za mogući razvoj sajber kapaciteta na nacionalnom nivou. Na osnovu analize ranijih slučajeva sajber ratovanja izvršeno je predviđanje budućih pravaca razvoja sajber ratovanja i analizirana neophodnost primene odgovarajućih metoda i tehnika odbrane od njih.

Key words: *sajber rat, sajber ratovanje, sajberprostor, sajber bezbednost, kibernetički rat*.

Uvod

Grupa najrazvijenijih industrijskih zemalja G-8 je na samitu održanom u Japanu 2000. godine usvojila Povelju o svetskom informacionom društvu u kojoj je navedeno: „Informaciono komunikacione tehnologije predstavljaju jednu od najmoćnijih sila koje oblikuju 21. vek. One revolucionarno utiču na način kako ljudi žive, uče i rade i na način uzajamne interakcije vlada sveta i ljudi“ [1]. Sajberprostor je učinio da se značajno umanje granice fizičkog prostora i kultura između nacija i uticaj vremena [2].

dragan.mladenovic@vs.rs

Sajberprostor nije apstraktno virtuelno okruženje, već područje u kojem važe suverena nacionalna prava čije je regulisanje veoma složeno. U velikom broju njegovih oblasti slabo je razvijena pravna regulativa, a posebno u oblastima koje zahtevaju konsenzus međunarodnih subjekata u procesu delegiranja unutrašnjeg suvereniteta u zajednički, kao što su oblast najvažnijih oblasti unutrašnjeg suvereniteta poput nadležnosti sudova, oblasti kriminala, odbrane i vojnih aktivnosti. Sajberprostor, informaciona tehnologija i računarski kapaciteti sve intenzivnije se koriste u vojne svrhe, čak i za vođenje međudržavnih sukoba. Ti sukobi odvijaju se u raznim oblicima, od informaciono-propagandnog ratovanja, špijunaže i dejstava na vojne sisteme i mreže do fizičkog uništenja najvažnijih sistema društvene infrastrukture. Sajber ratovanje se ne primenjuje isključivo samostalno, već se uključuje u sve druge oblasti ratovanja unapređujući ih poput katalizatora. Mnoge države već su usvojile strategije sajber bezbednosti, a očekuje se da će ih usvojiti sve države sveta u tekućoj deceniji. U skladu sa njima, mnoge vojske sveta razvile su doktrine, kapacitete i tehnike za odbranu, napad i obaveštajne aktivnosti u sajberprostoru [3], [4]. Međutim, tehnologija se razvija brže od prava, kako na unutrašnjem tako i na međunarodnom nivou [5], što doprinosi pojavi nekontrolisane primene sredstava, metoda i tehnika ratovanja u sajberprostoru. Iako je sajberprostor nastao u SAD, on je u sadašnjem obliku proizvod zajedničke aktivnosti celokupnog čovečanstva, pa stoga velikim delom predstavlja zajedničko svetsko dobro. Uprkos nematerijalnoj prirodi[1], u odnosu na druga zajednička svetska područja (otvorena mora i morsko dno, Anktarktik i svemir), sajberprostor ostvaruje najbrži povratni uticaj na čovečanstvo. Odsustvo međunarodne regulacije za sprečavanje kriminala, terorizma ili ratovanja u sajberprostoru bitno ugrožava njegove dobrobiti. Istorija pokazuje da odsustvo pravila ratovanja pri primeni novih sredstava i metoda nije nova okolnost[2], a da se uslovi za regulisanje takvih situacija obično stiču kada se opasnosti izjednače ili prevaziđu prednosti njihove primene za najuticajnije međunarodne faktore. Razvoj ratne tehnike i tehnologije je kroz istoriju bitno uticao na način vođenja rata, a prema nekim socio-antropološkim teorijama, taj proces je išao i u obrnutom smeru, jer je rat doprineo ubrzavanju razvoja ljudske civilizacije [5]. Industrijalizacija i automatizacija posle Prvog svetskog rata dovele su do značajnog smanjenja masovnosti armija, povećale im pokretljivost i dale moć brzih osvajanja velikih područja, što je dovelo do novih vojnih doktrina brzog napredovanja u Drugom svetskom ratu. Razvoj nuklearnog oružja posle Drugog svet-

[1] U pogledu digitalnih sadržaja, protokola i procesa, a ne u pogledu njegove fizičke osnove i dejstva na fizičko okruženje.

[2] Slična situacija postojala je pre međunarodnog regulisanja ratne upotrebe avijacije, hemijskog, biološkog, nuklearnog, mikrotalasnog i laserskog naoružanja.

skog rata doveo je do pat pozicije između blokova koja je iznedrila obaveštajne, informacione, neoružane i asimetrične oblike vođenja sukoba. Informaciona revolucija s kraja dvadesetog veka dovela je do razvoja novih oblika i metoda ratovanja, poput nelinearnog, mrežnocentričnog i asimetričnog, kod kojih masovnost, mobilnost i brojnost ne predstavljaju odlučujuće faktore za vojnu pobedu, već u prvi plan ističu znanje i informacije. Suprotstavljene strane u ovakvim sukobima nisu više isključivo države. Rat se u savremenom dobu vodi protiv grupa ili „terorizma“[3], često neoružanim metodama, bez zvanične objave rata, protiv protivnika koji može biti nepoznat ili sakriven bilo gde u svetu. Neprijatelji mogu pokretati dejstva istovremeno sa različitih tačaka na Zemljinoj kugli, maskiranjem vlastitih vojnih operacija u formu kriminala ili terorizma koji su počinili nepoznati izvršioci i narušavajući status i prava neutralnih strana u sukobu. Učešće civila u borbenim dejstvima postaje uobičajeno zbog praktičnosti i ekonomičnosti, a to se manifestuje najviše u novim oblicima ratovanja poput sajber ratovanja.

Šta omogućava sajber ratovanje?

Osnovni faktori koji omogućavaju primenu sajberprostora s ciljem ratovanja su društveni, tehnološki i vojnostrategijski.

Društveni i vojnostrategijski razlozi primene sajber ratovanja proističu iz novih društvenih okolnosti u kojima se našlo čovečanstvo na kraju dvadesetog veka.[4] Osnovni simboli tih okolnosti su globalizacija, nastupajuća multipolarnosti svetskog poretka, dominacija anglosaksonskog pravnog sistema, slabljenje principa vestfalskog suvereniteta država, sintetisanje novih, univerzalnih moralnih načela poput demokratije i ljudskih prava, eksplozija razvoja informacione tehnologije, nastanak sajberprostora i globalnog umrežavanja ljudi. Trend rešavanja međunarodnih problema oslanjanjem na vojnu i tehnološku moć otvara put ka nastanku novih oblika svetskih sukoba u svim područjima, pa i u sajber-prostoru. Ti moderni sukobi pokazuju tendenciju smanjenja broja međunarodnih učesnika, rast broja nedržavnih učesnika sukoba, smanjenje broja direktnih žrtava sukoba, povećanje značaja informacione sfere sukoba i dostupno-

[3] Poput međunarodne vojne kampanje „Rat protiv terora“, predvođene Sjedinjenim Državama i Velikom Britanijom, a podržane od više država iz NATO vojnog saveza, ali i van njega, koja je od 2001. godine do danas usmerena protiv „Al Kaide“, avganistanskih talibana i drugih organizacija s ciljem njihovog uništenja.

[4] Pruski vojskovođa i teoretičar rata Klauzevic tvrdio je da veoma malo novih manifestacija u ratu može biti pripisano novim pronalazačima ili odstupanjima od postojećih ideja, već da one proističu uglavnom kao posledica društvenih promena i novih društvenih okolnosti. Carl von Clausewitz, Michael Eliot Howard, Peter Peret, *On War*, 1984, New Jersey, Princeton University Press, ISBN 0691056579, strana 515.

sti[5] informacionih tehnologija [7]. Troškovi sukoba su sve viši,[6] pa je izuzetno značajan zahtev za vođenje efikasnih i optimalno osmišljenih vojnih operacija za ostvarivanje vojnog cilja sa minimalnim angažovanjem snaga. Dostupnost informacija je bitno povećala brzinu ratovanja i smanjila vreme pripreme i izvođenja operacija.[7] To dovodi do situacije u kojoj se rat vodi u vremenu umesto u prostoru.[8] Savremena vojna teorija SAD se u mnogo čemu zasniva na staroj doktrini Klauzevica [8, str. 595–596] o uticaju na centar gravitacije protivnika,[9] koju je američki pukovnik Džon Vorden proširio teorijom „Pet prstenova". Ova teorija određuje ključne ciljeve napada na neprijateljske kapacitete s ciljem maksimalno efikasne pobede nad protivnikom: (1) rukovodstvo, (2) kritične kapacitete društva za vođenje rata, (3) komunikacije i infrastrukturu, (4) civilno stanovništvo i (5) vojne snage. Već na prvi pogled je uočljivo da se sajber ratovanje u bilo kom primenjenom obliku lako može primeniti na sve ove ciljeve. Pošto se oružani napadi na civilnu populaciju i infrastrukturu teško mogu opravdati vojnom potrebom i proporcionalnošću [9], [10], razvijaju se drugi, posredni i prikriveni načini, čiji je cilj izazivanje otpora stanovništva vlastitom rukovodstvu radi destabilizacije i svrgavanja vlasti protivničke države bez borbe [11].

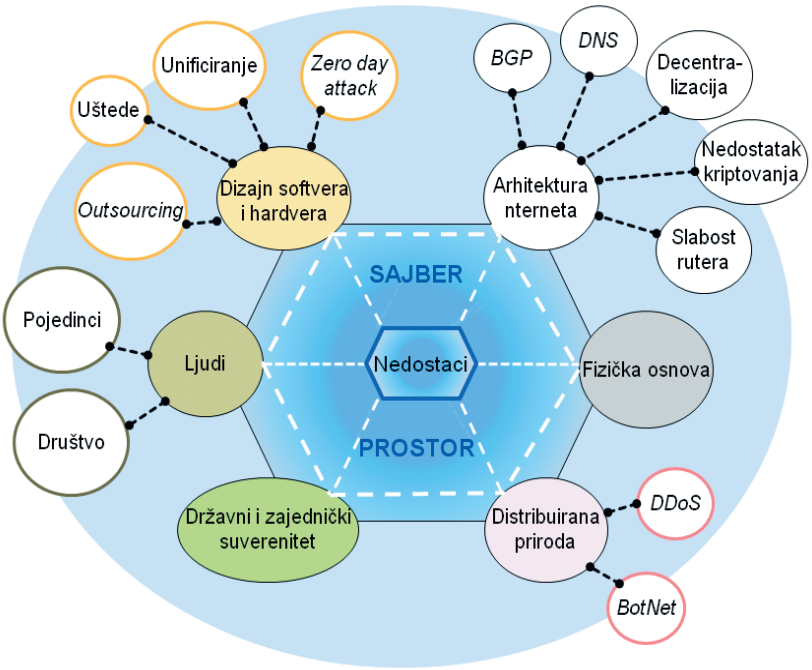
[5] Pojedincima, gerilcima ili kriminalnim grupama. Neal Ungerleider, "Somali Pirates Go High Tech", Fast Company, 22 June 2011, http://www.fastcompany.com/1762331/somali-pirates-go-high-tech, (07.07.2011).

[6] Procenjeni ekonomski troškovi ratova „protiv terora" koje SAD vode u Iraku, Avganistanu i Pakistanu su do sredine 2011. godine iznosili od 3,2 do 4 hiljade milijardi američkih dolara i dostigli su ukupne troškove SAD za vođenje Drugog svetskog rata. Neta C. Crowford and Catherine Lutz, Economic and Budgetary Cost of the Wars in Afganistan, Iraq and Pakistan to the United States: A Summary, Watson Institute for International Studies, Brown University 13 June 2011, http://costsofwar.org/article/economic-cost-summary, (07.07.2011).

[7] Koordinacija određivanja cilja od strane vojske SAD u operaciji „Pustinjska oluja" 1991. godine trajala je oko četiri dana. U operaciji OIF (Operation Iraqi Freedom), 2003. godine, to vreme smanjeno je na oko 45 min. Tokom 2010. godine, vreme od identifikacije do uništenja individualnog cilja iznosi svega 10 minuta, zahvaljujući umreženim sredstvima poput naoružanih bespilotnih letelica koje stalno krstare vazdušnim prostorom. Vazduhoplovni general Gregori Brundidž, zamenik direktora za sajber operacije u Evropskoj komandi američke vojske, naveo je sledeće: „Vreme koje smo do sada imali da razumemo suštinu stvari koje se događaju u uslovima sajber ratovanja nemamo. U njemu se stvari dešavaju u sekundama, a ne u satima, danima, nedeljama ili mesecima". Lisa Daniel, "Cyber Command Synchronizes Sevices's Efforts", *American Forces Press Services*, 9. jul 2010. godine. http://www.defense.gov/news/newsarticle.aspx?id=59965, (09.07.2010).

[8] „Kultura koja stvara ovo permanentno stanje krize je kultura koja je usredsređena na bezbednost; bezbednost i brzinu: ko sebe može zaštititi bolje i brže. Rezultat je rat koji se vodi u vremenu umesto u prostoru. Fizički svet prestaje da bude bojno polje, koje postaje područje ideologije, ekonomije i brzine". Paul Virilio, *Speed and Politics: An Essay on Dromology*, Semiotext(e), New York, 1986.

[9] Joint Publication 1-02, *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*, 12. april 2001. godine, dopunjeno 31. januara 2011. godine, strane 92-93 (CJSC CM-0363-08), http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp1_02.pdf, (03.05.2010).
U Doktrini združenih operacija američke vojske (Joint Publication 3-0, Doctrine for Joint Operations) navodi se da je određivanje operativnog i strategijskog centra gravitacije protivnika glavni korak u proceni situacije i određivanju i analizi kurseva akcija.



Slika 1 – Osnovne kategorije uzroka sajber ratovanja
Figure 1 – The main categories of cyber warfare causes

Ovi trendovi mogu se kategorisati u okviru teorije o postojanju tri područja ispoljavanja državne moći u političkim odnosima između određenih subjekata s ciljem ostvarivanja sile jedne strane radi prisile nad ponašanjem drugog subjekta ili indukovanjem njegovih interesa ili postupaka u pravcu željenog kursa akcija [12]: *tvrdoj moći* (primena vojnih i ekonomskih sredstava prisilnim delovanjem) i *mekoj moći* (sposobnost postizanja nadmoći asimilovanjem stavova manjine ili podsticanjem njihovog interesa da se ponašaju u željenom pravcu primenom moći koja potiče iz kulturnih, diplomatskih i istorijskih izvora).[10] Ova dva područja nisu nezavisna, već su u mnogo čemu međuzavisna i prepliću se i često je teško razlikovati njihove efekte.[11] Sposobnost njihovog kombinovanja s ciljem ostvarivanja pobedničke strategije koja na optimalan

[10] Ona se ne manifestuje isključivo od strane neke države, već češće kao sredstvo u međunarodnoj politici, delovanju nevladinih ili međunarodnih organizacija, građanske inicijative, kroz stranu asistenciju, društveno-političku i ekonomsku rekonstrukciju i razvoj i kroz primenu strateških komunikacija s ciljem da se ostvari željeno.
[11] Na primer, jačanje vojne sile, tehnike ili metoda ratovanja može stvoriti mit o nepobedivosti, apsolutnoj nadmoći vlastite vojske i neizbežnosti vojne pobede što može dovesti do smanjenja želje za otporom kod druge strane ili okupljanja saveznika, poput koncepta američkog predsednika Buša: „*Ili ste sa nama ili ste protiv nas*“ (istorijski primeri su doktrine nacističke Nemačke, SSSR-a, SAD, NATO-a i u novije vreme Evropske unije).

način obezbeđuje ostvarivanje nacionalnih ciljeva uz postizanje međunarodne političke i društvene legitimnosti predstavlja takozvanu *pametnu moć* neke države.[12] Pošto vojna, ekonomska i meka moć stoje u međusobnoj korelaciji, obezbeđivanje dominantne pozicije u svetu i vlastitih interesa zahteva stalnu protivtežu u načinima ispoljavanja sile i moći. Sa pojavom ekonomske krize i državnog duga u SAD,[13] koja je u velikoj korelaciji sa troškovima ratova u kojima učestvuju posle 2001. godine, SAD intenzivno unapređuju svoju vojnu i „meku" moć.[14] Sa druge strane, na osnovu dosadašnje prakse, uočljivo je da su osnovna područja primene sajber ratovanja mrežnocentrično ratovanje (priprema u vreme mira, a izvođenje u vreme rata), asimetrično dejstvo po protivničkim kapacitetima (u vreme mira ili rata), sajber špijunaža (prvenstveno u vreme mira) i informaciona dejstva u sajberprostoru (prvenstveno u vreme mira).[15] Ostvarivanje informacionih dejstava u sajberprostoru posebno je pogodno u državama u kojima postoje dugotrajne unutrašnje društvene tenzije i u kojima postoji nizak stepen društvenih sloboda. U takvim sredinama se informacionim operacijama na društvenim mrežama na internetu podstiču opozicioni protesti i nezadovoljstvo širih društvenih grupa. Mrežnocentričnost vojnog dejstva obezbeđuje se primenom sajberprostora za obezbeđivanje informacija, komandovanje i kontrolu, a njihov ekstremni oblik postale su visokoautomatizovane operacije distance u kojima se masovno koristi robotizovana tehnika kojom se upravlja komunikacijama kroz sajberprostor. Poslednji i najobimniji oblik vojnih dejstava na protivnika predstavlja snažan vojni udar visokog intenziteta, pri čemu su pojedinci, jedinice i vojna sredstva umreženi u realnom vremenu uz dominantnu primenu digitalnih informacija i sajber- prostora. Time se logička, kognitivna i fizička sfera vojnih operacija preklapaju u svojim uzročno-posledičnim vezama, pri čemu dejstva u sajberprostoru predstavljaju osnovnu oblast njihovog preseka u tehnološkom smislu.

Ono briše granicu između stanja rata i mira, između boraca i civila i vojnih i civilnih ciljeva. Ken Minihan, bivši direktor američke obaveštajne agencije NSA,[16] izjavio je: „Mi vodimo ratne aktivnosti pri čemu ne sma-

[12] Smart Power Initiative, Center For Strategic & International Studies, http://csis.org/program/smart-power-initiative, (12.04.2011).

[13] Prema internet portalu, *U.S. Debt Clock*, ukupan javni dug SAD je 14.3 hiljade milijardi dolara, što prema podacima *CIA Woorld Factbook* iznosi približno 60% godišnjeg bruto nacionalnog proizvoda SAD. "Buffet: GOP Threatening To 'Blow Yor Brains Out' Over Debt Ceiling" 8 July 2011, The Huffington Post,
http://www.huffingtonpost.com/2011/07/07/warren-buffett-debt-ceiling_n_892332.html, (09.07.2011).

[14] Miša Đurković, „Afrički udar na Kinu", *Politika*, 16. 6. 2011, http://www.politika.rs/pogledi/Missa-Djurkovich/Africki-udar-na-Kinu.lt.html, (16.06.2011).

[15] Za sajber ratovanje je karakteristično da se izvodi konstantno, tokom mira i rata i da ima moć da ratne operacije prevede u mirnodopske i da neborbenim aktivnostima obezbedi iste efekte dejstva kao i borbenim dejstvima, čime omogućava širi prostor za dejstva i slobodu sopstvenih postupaka.

[16] *National Security Agency/Central Security Service (NSA/CSS)* deluje u okviru američkog Ministarstva odbrane i najveća je vladina obaveštajna agencija u svetu. Odgovorna je za sakupljanje i analizu stranih komunikacija i bezbednost američkih vladinih komunikacija od napada stranih agencija. Njen direktor je ujedno i direktor *US Cyber Command*. Njen najpozantiji projekat globalnog nadzora svih ko-

tramo da je to rat".[17] Aktivnosti koje omogućavaju informacione tehnologije u sajberprostoru imaju kapacitet da obezbede istovremeno i punu manifestaciju mrežnocentričnog[18] i asimetričnog ratovanja. To znači da sajber ratovanje tehnološko-informacionu superiornost neke strane u sukobu transformiše u veću borbenu moć.[19] Na primer, vojska SAD za komunikaciju u sajberprostoru koristi mnogobrojne kablovske, bežične, privatne virtuelne, ad hok, intranet i internet mreže koje joj omogućavaju skoro trenutnu komunikaciju, komandovanje u realnom vremenu sa distance i povezanost ogromnog broja mobilnih platformi i senzora. Sve one su uvezane u jedinstvenu globalnu informacionu mrežu[20] čija arhitektura poseduje mogućnost dinamičkog samoopravka i reformiranja u slučajevima narušavanja rada komunikacionih čvorova [13, str. 117].

Slika 2 – Poređenje ratovanja u fizičkom i sajber području
Figure 2 – Comparison of warfare in the field of physical and cyber domains

munikacija, stvoren u saradnji sa zemljama UKUSA (SAD, Velika Britanija, Novi Zeland, Australija, Kanada) je ECHELON i *Thin Tread*. Američki dnevni list *US Today* je 2006. godine objavio da ova agencija raspolaže najvećom bazom podataka telefonskih razgovora i ličnih podataka na svetu. Leslie Cailey, "NSA has massive database of American's phone calls", *USA Today*, 11.05.2006. godine.

[17] Richard Clarke, Robert Knake, *Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It*, Ecco, Harper Collins, New York, 2010, strana 187.

[18] Za sajber rat se često upotrebljava i termin *netwar*, koji predstavlja oblik sukoba na društvenom nivou, različit od koncepta tradicionaolnog ratnog sukoba, karakterističan za informaciono doba u kojem se suprotstavljene strane organizuju na umrežen način, uz umanjen značaj centralnog rukovođenja, a moguć je i bez informacione strukture u umreženim sistemima. Carvalho, Fernando Duarte, De Silva, Eduardo Mateus, Cyberwar-Netwar, Security in the Information Age, 2006, IOS Press, Amsterdam, ISBN 1-58603-612-2, strana 6.

[19] Cena toga je neophodnost izgradnje sistema i procesa i veza koje centralizuju mreže, automatizuju procese, povezuju sve učesnike borbenog procesa i omogućavaju što viši stepen primene veštačke inteligencije.

[20] Globalna informaciona mreža (*Global Information Grid* – GIG) američke vojske sačinjena je od više od sedam miliona računara, uvezanih u više od 15.000 lokalnih i regionalnih računarskih mreža.

Ovakva primena mrežnocentričnog i kombinovanog ratovanja imaju pored prednosti i nedostatke, jer veliki broj procesa, sistema i uređaja i zavisnost od informacione tehnologije povećavaju ranjivost od dejstava protivnika. Za razliku od konvencionalnih i nuklearnih kapaciteta, gde brojnost sredstava smanjuje osetljivost od dejstava protivnika, u oblasti informacionih tehnologija ova uzročno-posledična veza je obrnuta. Tu okolnost koriste protivnici, bilo da je reč o državama, terorističkim grupama ili pojedincima, primenom asimetričnog ratovanja.[21] Ova asimetričnost ogleda se u resursima, vremenu, reakciji i trajanju napada, deljenju informacija i bilo kom drugom elementu sukoba, shodno vrsti napada i napadaču. Njegova primena u sajberprostoru može da dostigne ekstremnu disproporcionalnost, pri čemu jedan čovek može biti protivnik najvećoj sili sveta.[22] Primenom sajber ratovanja čak i države sa nerazvijenim informacionim kapacitetima mogu ostvariti povoljan odnos efikasnosti dejstava u odnosu na troškove. Ova karakteristika sajber ratovanja, da mu efikasnost više zavisi od kapaciteta napadnutog nego od kapaciteta napadača, ima za posledicu da se u njemu lakše razvijaju ofanzivne aktivnosti (napad i obaveštajne aktivnosti), nego odbrana. Ova okolnost stvara pogodnost vojno slabijim stranama da pokreću ofanzivna asimetrična dejstva. Meta asimetričnog ratovanja je često javnost, stanovništvo i najranjiviji elementi infrastrukture, i to dovodi do toga da su civilni ciljevi česta meta sajber napada. Uspeh u odbrani od sajber i asimetričnog ratovanja ne meri se brzinom i snagom pojedinačne reakcije na izvedeni napad, već sposobnošću njegove prevencije. Otuda potiču sve češća nastojanja terorizmom i sajber napadima ugroženih država da koriste pravo preduzimanja preventivne odbrane, koje je prema mnogima u suprotnosti sa važećim međunarodnim pravom [14].

Ljudi su česta meta sajber napadača. Njihove aktivnosti mogu poslužiti napadačima za prikupljanje informacija,[23] ucene, napade socijalnim inženjeringom, propagandu u toku mira i rata, širenje zlonamernog koda u protivničkim mrežama,[24] političko angažovanje i upotrebu interneta za organizovanje

[21] Termin „asimetričan“ odnosi se na ono što je strateško u ratovanju i često se opisuje kao napad slabijeg ili slabije opremljenog neprijatelja kada spozna slabe strane jačeg protivnika. Tehnologija je obezbedila asimetričnu prednost SAD u prošlim sukobima. Međutim, asimetričan može biti i iznenadni udar gerilaca na vojne snage i komunikacije, kako su to činili jugoslovenski partizani tokom Drugog svetskog rata ili kako sada čine terorističke organizacije poput „Al Kaide“.

[22] Kao u slučaju Bin Ladena ili osnivača sajta *Wikileaks* Džulijana Asanža. Džon Peri Barlou, suosnivač međunarodne neprofitne organizacije za zaštitu digitalnih prava *Electronic Frontier Foundation,* izjavio je: „Jedna veoma pametna osoba se može suprostaviti celoj državi.“ John Markoff, “The Asymmmetrical Online War“, The New York Times, 3. april 2011. godine, http://bits.blogs.nytimes.com/2011/04/03/the-asymmetrical-online-war/, (08.04.2011).

[23] Ovo može imati globalne razmere, kao u slučaju afere *Wikileaks.*

[24] Poznati su slučajevi stvaranja ogromnih špijunskih mreža poput mreže *Ghost Net* ili podmetanja računarskog crva *Stuxnet* u izolovani sistem nuklearnog postrojenja Bušer u Iranu. Ovaj računarski crv nije direktno dospeo u izolovane informacione sisteme iranske centrale, već u njenu okolinu, s ciljem da ga neko od operatera koji imaju pristup sistemu slučajno unese preko USB fleš uređaja ili drugih prenosnih medija.

političkih protesta dela stanovništva protiv sopstvenih vlada.[25] Ovakvim nastojanjima doprinosi neznanje i slaba svest o bezbednosti korisnika interneta i veliki broj napadača i žrtava.[26] Jedini način da se dopre do zaštićenih sistema u informacionim mrežama koje su po pravilu odvojene od interneta (spoljnog okruženja) jeste preko ljudi koji imaju pristup tim mrežama ili preko hardverskih komponenti.[27] Tako se desilo i oticanje državnih diplomatskih tajni SAD u aferi *Wikileaks* i inficiranje informacionih sistema iranskih nuklearnih postrojenja računarskim crvom *Stuxnet*. Tome pogoduju rastuća tendencija upotrebe društvenih servisa, masovno povezivanje korisnika mreža i deljenje sadržaja i informacija među korisnicima.[28] Iako su nekada naizgled banalne, poput socijalnog inženjeringa, pomenute tehnike mogu biti veoma uspešne. I pored toga što su sigurnosne mere vojske visoke[29] [15], [16], postoji realna opasnost od ovakvih akcija tokom vojnih sukoba, posebno usmerenih prema vojnom osoblju. Na primer, tokom Drugog zalivskog rata, vojska SAD je tajno ubacila *email* poruke u iračku vojnu računarsku mrežu zbog čega su hiljade starešina u Ministarstvu odbrane Iraka neposredno pred rat dobile propagandnu poruku kojom se pozivaju na predaju.[30] Psihološko delovanje na pripadnike vojske upotrebom sajberprostora je očekivano i u budućnosti.[31] Veliki svetski pretraživači trajno prikupljaju sve podatke o svim aktivnostima njihovih korisnika, na isti način kao što to čine operateri mobilnih telefonskih kompanija. U nekim državama (uključujući i Srbiju) postoji zakonska obaveza provajdera telefonskih i internet usluga da za određeni vremenski period čuvaju podatke o ostvarenoj komunikaciji korisnika i te podatke na osnovu posebnih propisa mogu upotrebiti državni organi s ci-

[25] Poput „Twitter revolucije" u Iranu, „*Facebook* revolucije" u Egiptu i drugih.

[26] Svest prosečnog korisnika interneta, a često i stručnog osoblja, nije dovoljno razvijena, jer mnogi od njih ne štite vlastite podatke, lakoverno preuzimaju „besplatne" sadržaje koji su zaraženi zlonamernim kodom ili se ne pridržavaju bezbednosnih procedura pri upotrebi prenosnih medija, računara i informacija i tako premošćavaju sigurnosne barijere odvojenih informacionih mreža.

[27] Neal Ungerleider, "DHS: Imported Consumer Tech Contains Hidden Hacker Attack Tools", Fast Company, 8 July 2011. http://www.fastcompany.com/1765855/dhs-someones-spiking-our-imported-tech-with-attack-tools, (09.07.2011).

[28] Jeff Jarvis, "Revealed: US spy operation that manipulates social media", guardian.co.uk, 17. mart 2011. godine, http://www.guardian.co.uk/technology/2011/mar/17/us-spy-operation-social-networks, (11.04.2011).

[29] One se pre svega odnose na odvojenost službenih mreža od Interneta, rangiranje prava pristupa, enkripciju saobraćaja i standardizaciju procedura, hardvera i softvera.

[30] U poruci je pisalo: „Ovo je poruka iz Centralne komande SAD. Kao što znate, dobili smo naređenje da izvršimo invaziju na Irak u skoroj budućnosti. Ukoliko to uradimo, porazićemo snage koje nam se suprostave, kao što smo to učinili pre nekoliko godina. Mi ne želimo da povredimo vas ili vaše trupe. Naš cilj je da sklonima Sadama i njegova dva sina. Ukoliko želite da ostanete nepovređeni, ostavite vaše tenkove i druga oklopna vozila u formaciji i napustite ih. Idite odatle. Vi i vaše trupe treba da idete vašim kućama. Vi i ostale iračke vojne snage ćete biti ponovo formirani nakon što promenimo režim u Bagdadu". Richard Clarke, *Cyber War*, strana 17.

[31] Chris Carroll, "Hackers grab military emails, encrypted passwords" Stars and Stripes, July 11, 2011, http://www.stripes.com/blogs/stripes-central/stripes-central-1.8040/hackers-grab-military-emails-encrypted-passwords-1.148927, (11. jul 2011).

ljem očuvanja bezbednosti i u borbi protiv kriminala. Međutim, ne postoje državni propisi koji ograničavaju pravo provajdera i davalaca raznih usluga da čuvaju podatke svojih korisnika. Pored podataka o upitima i aktivnostima na internetu, svi internet pretraživači, kompanije za društvene mreže i internet portali stalno traže (i najčešće dobijaju) i druge lične podatke svojih korisnika. Neke kompanije prikupljaju tuđe podatke i bez saglasnosti pojedinaca (neovlašćeno preuzimanje informacija sa bežičnih mreža tokom pravljenja snimaka za servis *Google Street* u više država). Prikupljaju se velike količine privatnih podataka korisnika, njihovim praćenjem[32] i primenom naprednih metoda analiziranja (pomoću raznih *data mining* tehnika, metoda i alata, utvrđivanjem „otiska prsta" samog računara ili mobilnog uređaja, dubinske inspekcije podataka koji idu od nekog računara ili ka nekom računaru, pregledanjem ranije istorije lične aktivnosti na internetu pristupom bazi podataka internet pretraživača i drugim) i vizuelizacije prikupljene mase podataka (na primer, pomoću britanskog komercijalnog *I2* softvera, južnoafričkog *Maltego* ili raznih akademskih alata kao što su *UCINET*, *Pajek*, *R* i drugih koji primenjuju neku naučnu metodu za analizu društvenih mreža – *Social Network Analysis*). Ovome doprinosi činjenica da se sami korisnici interneta umrežavaju i povezuju, što daje novu dimenziju u analizi njihovog ponašanja. Budući da je ogromna većina popularnih sajtova za društveno umrežavanje u vlasništvu američkih kompanija, registrovanih u SAD, svi ovi podaci potpadaju pod nadležnost zakona SAD i time postoji obaveza dostavljanja tih podataka nadležnim agencijama Vlade SAD na njihov zahtev u skladu sa *USA Patriot Actom* i sličnim propisima. Ovakve aktivnosti pomoću *data mininga* i statističkih alata mogu omogućiti onome ko poseduje lične podatke da u nekim slučajevima zna o korisniku više nego sam korisnik, budući da je njihova osnovna svrha predviđanje budućeg ponašanja (komercijalni programi s ciljem ostvarivanja profita, a politički motivisani s ciljem ratovanja – uticaja na centar gravitacije protivnika). Iako je u savremenom kulturnom okruženju pojedincu teško da se u potpunosti izoluje od ovakvih tendencija, neophodno je da sva službena lica budu upoznata sa posledicama slobodnog davanja vlastitih podataka širom interneta, a posebno na sajtovima za društveno umrežavanje poput *Facebooka* na kojem je postalo gotovo uobičajeno da se virtuelno okupljaju razne školske generacije (na primer, generacije raznih vojnih škola iz vremena SFRJ i kasnijeg) na kojima pažljivom istraživaču nije teško da prikupi veliki broj službenih i ličnih podataka koji se kasnije mogu zloupotrebiti za razne namere.

Pošto sajber ratovanje zavisi od nedostataka sajberprostora i informacione tehnologije, za njegovo vođenje koriste se slična sredstva, tehnike i alati

[32] U studiji čiji je pokrovitelj bio američki *The Wall Street Journal*, u okviru projekta „Šta oni znaju?" utvrđeno je da mnogi Internet sajtovi instaliraju ogroman broj datoteka ili programa za praćenje (za sajt *dictionary.com* je utvrđeno da je postavljao 234 takve datoteke) na računare korisnika Interneta koji im pristupe. "What They Know", The Wall Street Journal, http://blogs.wsj.com/wtk/, (16.06.2011).

kao i kod sajber kriminala. To znači da ne postoji razlog da se spem poruke, *DDoS* napadi,[33] botnet mreže,[34] fišing,[35] hakerski napadi ili razne vrste zlonamernog koda[36] ne koriste i u sajber ratovanju. Prevencija i odbrana od ovih napada zavise od kvaliteta zakona koji regulišu oblast elektronskog saobraćaja i sajberprostora, kao i od nivoa tehnološke kulture i svesti celokupnog društva. Iako broj slučajeva sajber kriminala zavisi od broja korisnika interneta i zastupljenosti informacione tehnologije u društvu, pažljivim posmatranjem može se uočiti da se na listi vodećih država sa visokim procentom kriminala i zloupotrebe interneta ne nalazi nijedna zemlja sa najkvalitetnijim i najjeftinijim širokopojasnim internetom u svetu: Japan, Južna Koreja, Estonija, Finska, Norveška ili Švedska. To znači da na sprečavanje sajber napada pored kvaliteta zakona i drugih regulativa, utiče nivo kulture celog društva, odnosno da je bez obzira na stepen državnog nadzora i sankcija u sajber prostoru jedino sigurno mesto gde se ovakvi napadi mogu zaustaviti svest samih korisnika.

Tehnološki razlozi postojanja sajber ratovanja su najbrojniji i mogu se svrstati u grupu nedostataka koji proističu iz arhitekture samih mreža, nedostatke koji proističu iz nesavršenosti hardvera i softvera i nedostatke koji su posledica otvorenog pristupa podacima.

Nedostaci sadržani u arhitekturi sajberprostora ugrađeni su u njegovu osnovu, pa ih je stoga moguće zloupotrebiti bez obzira na stepen njegovog tehnološkog razvoja. Iako je okosnica sajberprostora – internet nastao iz projekta *ARPANET*[37] vojnoistraživačke agencije američke vlade *DARPA*[38] sa namerom da se obezbedi sigurna i nezavisna komunikacija u uslovima totalnog nuklearnog rata i mogućeg sveopšteg uništenja, ta okolnost nije razlog što se on danas koristi u funkciji ratovanja, već njegov kasniji razvoj pod okriljem liberalne akademske zajednice u SAD.[39]

---

[33] *Distributed Denial of Service Attack* je vrsta računarskog napada kojim se računarski i mrežni resursi čine nedostupnim njihovim korisnicima. Koriste uobičajen postupak zahteva za informacijama ali na neuobičajen i smišljen način s ciljem onemogućivanja napadnutih sistema.

[34] Velike mreže računara koje su na kriminalni način prikriveno od njihovih korisnika različitim tehnološkim postupcima i hijerarhijama uvezane u jedinstvene mreže koje su pod komandom centralnog računara i koje se koriste za maliciozne primene.

[35] Postupak prevare korisnika interneta s ciljem da se dovedu u zabludu da pristupaju legalnom sajtu kako bi se od njih prevarom preuzeli lični i komercijalni podaci radi naknadne zloupotrebe.

[36] On obuhvata razne vrste programa poput virusa, crva, trojanaca, logičkih bombi, *back door, rootkit, spyware, adware* programa i drugih. Iako se razlikuju po strukturi, načinu dejstva i nameni, zajedničko im je da se prikriveno instaliraju na računare i šire mrežama. Svi ovi oblici zlonamernog koda mogu se kombinovati u načinu izrade, principima dejstva i rada, čime se stvaraju višestruke pretnje (*blended threat*), što povećava brzinu efikasnosti njihovog širenja.

[37] *Advanced Research Projects Agency Network* je prva računarska mreža na svetu čije se funkcionisanje zasnivalo na komutaciji paketa podataka i predstavlja preteču interenta. Razvijen je u periodu 1977–1979, a razvila ga je američka vojna naučnoistraživačka agencija *ARPA*, kasnije preimenovana u *DARPA*.

[38] *Defense Advanced Research Projects Agency* je visokotehnološka istraživačka agencija Ministarstva odbrane SAD koja razvija nove tehnologije za američku vojsku, http://www.darpa.mil/.

[39] Prva četiri računara povezana su na univerzitetima UKLA, Stenford, Santa Barbara i Juta.

Osnovne ideje ove zajednice bile su decentralizacija i odsustvo kontrole države, iz kojih su proistekli osnovni principi funkcionisanja interneta:[40] samostalnost i autonomnost lokalnih mreža, primena metode „najboljeg pokušaja“ u ostvarivanju komunikacije, zahtev da razvodna čvorišta mreže moraju biti jednostavna i da ne čuvaju podatke o saobraćaju i odsustvo globalne kontrole na operativnom nivou [17]. Protokoli i servisi koji su stvoreni na osnovu ovih zahteva omogućili su intenzivan rast mreže, ali uz uslov da postoji podrazumevano poverenje između njenih korisnika, u početku ograničenog broja ravnopravnih korisnika akademske zajednice. Sa globalnim širenjem mreže, komercijalizacijom i povećanjem broja njenih korisnika, naglo je porastao i broj pretnji koje je ugrožavaju, pa je zahtev za bezbednošću postao najbitniji. Pošto ovaj zahtev nije bio inherentno uključen u osnove mreže, on se ostvaruje njenim neprekidnim naknadnim nadograđivanjem, poput uvođenja novih metoda kriptovanja sadržaja i saobraćaja. Ipak, to nije otklonilo osnovne nedostatke mreže koji su omogućili rast sajber kriminala i ratovanja.

Decentralizovana struktura interneta obezbeđuje potencijal za širenje, ali ga istovremeno čini podložnim na mnoge vrste napada. Podaci u sajberprostoru se na svom putu ka odredištu kreću kroz razne sredine (etar, raznovrsne kablove i uređaje), pri čemu se stalno preusmeravaju u ruterima i čvorištima čiji broj zavisi od lokacije konačnog odredišta. U računaru, između komponenti, između računara i mreža, u toku svog puta do odredišta zapis podataka se više puta konvertuje iz jednog oblika u drugi (digitalni, radiotalasni različitih frekvencija i talasnih dužina, svetlosni ili drugi oblik), krećući se kroz različite sredine (etar, računarske, telefonske, optičke, elektroenergetske i druge kablove, pod zemljom i morem, kroz atmosferu ili svemirski prostor).[41] Pri tome su datoteke koje saobraćaju podeljene na sastavne delove (pakete podataka) koji ne moraju ići istim trasama na svom putu do odredišta, niti taj put mora biti poznat pošiljaocu. Ceo internet zasnovan je na principima samoregulacije i bezuslovnog poverenja, pa tako potencijalni napadači relativno lako mogu zaobići standardni način regulacije njegovog saobraćaja. Karakteristični načini za to su *Domain Name System* (*DNS*)[42] i *Border Gateway Protocola* (*BGP*)[43] napadi. *DNS* napadi predstavljaju kompromitovanje sistema adresiranja internet protokol (*IP*) adresa kojim se vrši prevođenje slovnog za-

[40] Njihovi autori Robet Kan i Gordon Cerf su tvorci osnovnih protokola na kojima se zasniva rad interneta: *Transimission Packet Protocol* (TCP) i *Internet Protocol* (IP).
[41] Više kompanija razvija tehnologiju prenosa interneta kroz električnu mrežu.
[42] U upotrebi je termin *Domain Name System, Server* ili *Service*, a svi se odnose na jedan od osnovnih internet servisa koji prevodi ime nekog sajta u odgovarajuću *IP* adresu, na primer www.mojsajt.com prevodi u 199.323.234.3.
[43] *BGP* ima glavnu ulogu u rutiranju paketa podataka kroz internet. Ruteri, isporučioci usluga, međusobno komuniciraju i razmenjuju informacije o optimalnom, najkraćem i najbržem putu kojim podaci mogu stići do odredišta, pošto postoji ogroman broj mogućih putanja između dve tačke u mreži interneta. Ovi napadi mogu se odigrati na nacionalnom nivou i mogu izazvati poremećaj rada velikog dela interneta.

pisa naziva (adrese) neke stranice na internetu (koji je razumljiv korisniku) u binarni zapis (koji je razumljiv računarima). Internet-pretraživači komuniciraju sa bazom podataka na *Domanin Name* serverima koji su organizovani na distribuirani način. To znači da kada neki server nema mogućnost mapiranja (povezivanja naziva domena i numeričke *IP* adrese), on prosleđuje zahtev upućen sa pretraživača drugom bliskom *DNS* serveru. Tom prilikom server koji je uputio zahtev arhivira novu putanju mapiranja tokom ograničenog perioda vremena, kako bi se ona automatski mogla koristiti i u narednim zahtevima. Problem u ovom postupku je nepostojanje autentifikacije identiteta obe strane u komunikaciji, zbog čega ne postoji način da se odredi da li povratna poruka sadrži pravu *IP* adresu i da li je poruku poslao pravi *DNS* server. Iz te činjenice proističe suština *DNS* napada, a to je nastojanje da se neki *DNS* klijent ubedi da je primljena povratna poruka autentična.[44] Napad se može izvesti na raznim mestima komunikacije. Kada napadač pristupi bazi podataka *Domain Name Servera*, može je izmeniti i preusmeriti budući legitiman zahtev nekog korisnika na lažnu *web* stranicu koja izgleda veoma slično kao i originalna ili može primeniti socijalni inženjering.[45] Jedna kompanija za internet bezbednost pronašla je 25 različitih načina na koji se može napasti i izmeniti *DNS* i njegova baza podataka.[46] Iako je nakon ovog otkrića unapređeno funkcionisanje interneta uvođenjem *TLS* (*Transport Layer Security*) protokola za bezbednost komunikacije,[47] koji je nasledio prethodni skup protokola *SSL* (*Secure Socket Layer*), time nije rešen problem autentifikacije identiteta strana koje učestvuju u *DNS* procesu. To se može dodatno unaprediti uvođenjem novih sigurnosnih protokola, poput *IPSec* protokola između klijenta i *DNS* servera ili opremanjem *DNS* protokola nekom vrstom autentifikacije, poput *DNSSEC* protokola, ali njih nisu implementirali svi korisnici interneta.

BGP napadi mogu imati još šire dejstvo na sajberprostor. Tokom njih se napad na podatke izvodi na putu između dva Internet provajdera zloupotrebom *Border Gateway Protocola*. Pošto postoji ogroman broj mogućih putanja između dve tačke u mreži interneta, navedeni protokol ima glavnu ulogu u definisanju optimalnog puta podataka. U sistemu interneta postoji zajednička baza podataka o svim postojećim lokalnim provajderima internet-usluga. Njihovi ruteri automatski međusobno komuniciraju i razmenjuju informacije o optimalnom, najkraćem i najbržem putu kojim podaci mogu stići do odredišta. Kada neki podatak treba da ide na odre-

[44] Problem slabosti autentifikacije *DNS*-a je 2008. godine otkrio mladi računarski konsultant Den Kaminski. Steve Friedl's Unixwiz.net Tech Tips, "An Ilustrated Guide to the Kaminsky NS Vulnerability", http://unixwiz.net/techtips/iguide-kaminsky-dns-vuln.html, (14.05.2010).

[45] Za opširniji opis metoda socijalnog inžinjeringa videti knjigu Kevina Mitnika *Umetnost obmane*, Mikro knjiga, Beograd, 2003.

[46] Richard Clarke, *Cyber War*, strana 69.

[47] *TLS* je kriptografski protokol koji omogućava veću bezbednost za komunikaciju putem interneta, najviše za potrebe elektronskog poslovanja i imejla, a podrazumeva međusobno komuniciranje servera primenom javnog i tajnog ključa.

đeno mesto u opsegu datih *IP* adresa, preko ovog protokola obavlja se komunikacija sa navedenom bazom podataka i formira se put paketa. U zaglavlju zapisa adrese svakog paketa postoje informacije o polaznom mestu i odredištu, kao i podaci o njegovoj poziciji u sklopu datoteke čijom je podelom nastao. Na osnovu tih podataka o izvoru i odredištu *BGP* sortira pakete podataka i upućuje ih na naredno odredište. Princip kojim se bira put najčešće je brzina ili efikasnost, s ciljem da se izbegne nepotrebni saobraćaj. Pri tome ovaj protokol uspostavlja ravnopravne (*peer*) odnose pri komunikaciji između dva rutera koji su u različitim mrežama. Međutim, ni ovaj protokol ne vrši proveru istinitosti podataka koje prenosi, niti verodostojnost pošiljaoca, već funkcioniše po principu podrazumevanog poverenja. U slučaju preopterećenosti ili privremene gužve u saobraćaju, lokalni provajderi mogu objaviti poruku susednim radi automatskog preusmeravanja saobraćaja i smanjenja gužve. Ali u ovakvim automatskim porukama može se dogoditi slučajna ili namerna greška, koja dovodi do preopterećenja celokupnog interneta. Takvu grešku učinio je pakistanski državni provajder iz političkih razloga 24. februara 2008. godine, kada je pokušao da onemogući svojim korisnicima pristup sajtu *YouTube*.[48] Tom prilikom je veliki deo svetskog saobraćaja ka ovom sajtu preusmerio na vlastite servere.[49] U februaru 2009. godine operater malog češkog internet-provajdera *Suproneta* načinio je slučajnu grešku zbog koje je internet u nekim svojim delovima gotovo prestao da funkcioniše na kratko vreme zbog izazvane lančane reakcije u kojoj su mnogi ruteri prestali međusobno da komuniciraju, tražeći nove alternativne puteve komunikacije, ignorišući jedni druge u beskonačnom ciklusu.[50] Namerna primena ovakve greške pogodna je u sajber ratovanju, a odlukom jedne vlade može se narušiti rad interneta ili preusmeriti veliki tok saobraćaja na vlastite servere. Iako je takva akcija autodestruktivna i dugoročno nije praktična, ona je koristan oblik asimetričnog napada ili pogodna za preuzimanje tuđih informacija. Prema izveštaju neprofitne organizacije za razvoj internet standarda i protokola, *Internet Society,*[51] u okviru *BGP*-a ne

[48] Da bi sprečili građane Pakistana da vide snimak intervjua holandskog političara koji je predstavljao islam u negativnom svetlu. "Pakistan lifts the ban on YouTube", *BBC News*, 26. februar 2008. godine, http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7262071.stm, (19.01.2009).

[49] YouTube Hijacking: A RIPE NCC IS case study, http://www.ripe.net/news/study-youtube-hijacking.html, (05.02.2009); Martin Brown, "Pakistan hijacks YouTube", 24. februar 2008. godine, http://www.renesys.com/blog/2008/02/pakistan_hijacks_youtube_1.shtml, (05.02.2009).

[50] Greška je detaljno opisana u blogu renesys.blog, Earl Zmijewski, "Reckless Driving on the Internet", 16. februar 2009. godine. http://www.renesys.com/blog/2009/02/the-flap-heard-around-the-worl.shtml, (11.03.2010).

[51] Neprofitna organizacija koja rukovodi razvojem internet standarda, obukom i politikom razvoja. Ima sedišta u Vašingtonu i Ženevi. U njenom sastavu je više od 80 organizacija i više od 28.000 pojedinaca širom sveta. U sastavu ovog društva su mnoge važne organizacije za razvoj internet standarda, poput *Internet Engeneering Task Foce* (*IETF*) i *Internet Architecture Board* (*IAB*), http://www.isoc.org/isoc/ .

postoji unutrašnji mehanizam koji omogućava zaštitu od napada izmene, brisanja ili falsifikovanja podataka.[52] Napad na *BGP* baze podataka najvećih državnih internet-provajdera u svetu (poput *AT&T* u SAD ili Telekoma u Srbiji) dovele bi do poremećaja rada velikog dela interneta i servisa koji zavise od njega. Informatički stručnjaci su tokom 2008. godine pokazali kako je skretanjem podataka na nivou *BGP* rutera moguće preuzeti čitav tok podataka ka nekom korisniku ili sajtu, a da to niko i ne primeti. Preusmereni podaci se mogu snimiti, izmeniti i vratiti u mrežu da nastave put ka legitimnom korisniku.[53] Ovaj napad je identičan poznatom tipu napada *man in the middle*, koji postoji od najstarijih dana interneta, kada su ga prvi hakeri izvršavali fizičkim priključenjem na mrežu kablovske televizije ili radija s ciljem prevara radio-stanica ili kladionica. Njegova osobenost jeste da se u ovom slučaju ceo internet koristi kao poligon za napad. Ovakav postupak može se koristiti i u svrhu sajber odbrane, odnosno analiziranja bezbednosti same računarske mreže.[54] Postoje zvanične tvrdnje da takve napade države već izvode. Kina je optužena da je 2010. godine na vlastite rutere na kraći period namerno preusmerila kompletan internet saobraćaj američkog Senata, kancelarije sekretara odbrane, agencije NASA, Ministarstva trgovine SAD i nekoliko američkih berzi.[55]

Nedostaci u dizajnu hardvera i softvera. To je verovatno najvažniji od svih uzroka koji omogućava sajber ratovanje. Bitno je naglasiti da se za sajber ratovanje koriste isti alati, sredstva i metode kao i za sajber kriminal ili terorizam. Zahtevi za uštedom u proizvodnji, tokovi *outsourcinga* i migracija softverskog inženjerstva i proizvodnje u zemlje Istoka i zemlje u razvoju uzrokuju da se softver i hardverske komponente proizvode u ogromnom broj kompanija širom sveta.[56] Karakterističan primer iskorišćavanja slabosti hardvera i softvera u vojnopolitičke svrhe jeste dizajniranje i podmetanje računarskog crva *Stuxnet* [18]. On je ciljano napadao specifične elektronske uređaje kompanije *Siemens* koji su namenjeni za automatizovanu industrijsku kontrolu u nuklearnim postrojenjima. Iako je njegovo prisustvo otkriveno u vi-

[52] BGP Security Vulnerabilities Analysis, Network Working Group, 2006, strana 3, http://tools.ietf.org/html/rfc4272, (28.05.2010).

[53] Stealing the Internet, *Nanog.org*, http://www.nanog.org/meetings/nanog44/abstracts.php?pt=ODc4Jm5hbm9nNDQ=&nm=nanog44, (14.05.2010).

[54] Istraživači kanadskog *Munk* centra su tokom 2008. godine upotrebili *open source* softver za prisluškivanje saobraćaja *WireShark* kojim su utvrdili postojanje drugih alata za prisluškivanje internet saobraćaja u ogromnoj hakerskoj mreži *GhostNet*.

[55] 2010 Report to Congress of the U.S.-China Econimic And Security Review Commision, novembar 2010. godine, http://www.uscc.gov/annual_report/2010/annual_report_full_10.pdf, (26.11.2010).

[56] Defense Science Board, "Report of the Defense Science Board Task Force on Mission Impact of Foreign Influence on DoD Software," U.S. Department of Defense, September 2007, strana 19.
Thomas L. Friedman, *The World Is Flat*, Picador, New York, 2007, strana 585.
U knjizi je navedeno autorovo istraživanje u kojim je sve delovima sveta proizveden hardver i softver njegovog PC računara. Autor je zaključio da je u lanac snabdevanja i proizvodnje uključeno više od četiri stotine kompanija iz Severne Amerike, Evrope i Azije.

še država sveta, stručnjaci su utvrdili da je njegov osnovni cilj bila nuklearna centrala u izgradnji u gradu Bušer u Iranu.[57] Više nezavisnih analitičara je po načinu dizajna ovog softvera i prirodi njegovog cilja procenilo da je on verovatno proizvod specijalnih sajber jedinica Izraela i SAD.[58]

Među državama čije kompanije proizvode hardver i softver ima mnogo vojno-političkih suparnika, pa je za očekivati da se u nekim slučajevima politika umeša u postupak proizvodnje. Autori softvera mogu ostaviti prikrivene propuste da bi ih kasnije zloupotrebili protiv korisnika njihovih programa. Ovakve ubačene delove programskog koda teško je otkriti. U istoriji komercijalnog softvera poznati su mnogi primeri dodatno ubačenog softvera za koji čak ni kompanije nisu znale da se nalazi u njihovim proizvodima.[59] Već godinama u svetu postoje sumnje[60] da je u *Microsoftov* operativni sistem *Windows* namerno ubačeno nekoliko tajnih *backdoor* sigurnosnih propusta u dogovoru sa bezbednosnim službama američke vlade,[61] što ova kompanija zvanično negira.[62] Postoje ozbiljne optužbe da je to učinjeno i sa operativnim sistemom otvorenog koda, kao što su OpenBSD i neke Linux distribucije.[63] S druge strane, sve su jača nastojanja američke vlade da se ovakva mogućnost i zvanično ozakoni.[64] Zbog toga je izuzetno bitno da se za primenu u vojnim, državnim i važnim infrastrukturnim sistemima koristi namenski projektovan softver, a ne lako

[57] Lolita C. Baldor, "Stuxnet, Iran Computer Attack, Linked to Wealthy Group or Nation", The Huffington Post, 26. septembar 2010. godine, http://www.huffingtonpost.com/2010/09/26/stuxnet-iran-computer-att_n_739826.html, (26.09.2010).

[58] Mark Clayton, "Stuxnet malware is 'weapon' out to destroy…Iran'Bushehr nuclear plant?", The Christian Science Monitor, 21. septembar 2010. godine, http://www.csmonitor.com/layout/set/print/content/view/print/327178, (21.09.2010).

[59] Na primer, postoji ceo spisak takvog softvera u proizvodima kompanije *Microsoft*. U žargonu ovaj softver naziva se „Uskršnje jaje". Na primer, igrice auto-trke u *Microsoft Excel 2000* ili simulator leta u *Microsoft Excel 97 office* programima. Lista ovih programa može se detaljnije videti na sledećim sajtovima: http://www.eeggs.com/items/718.html, (02.04.2010); http://www.crestock.com/blog/entertainment/easter-egg-hunt-hidden-treasures-in-your-design-software-52.aspx, (02.04.2010); http://www.ehow.com/how_2049779_find-hidden-game-excel-2000.html, (02.04.2010).

[60] GNU Telephony, "Legal terrorism Microsoft style", http://planet.gnu.org/gnutelephony/?p=11, (16.11.2010).

[61] Jim Reavis, "Microsoft, the National Security Agency and backdoors", *Network World on Security*, 29. septembar 1999. godine, http://www.networkworld.com/newsletters/sec/0927sec2.html, (02.04.2010); Doug Porter, "A pocket guide to NSA sabotage", *Cryptome.org*, 01. septembar 2000. godine, http://cryptome.org/nsa-sabotage.htm, (02.04.2010).

[63] Robert McMillan, "Former Contractor Says FBI Put Back Door in OpenBSD", PC World, 15 December 2010, http://www.pcworld.com/businesscenter/article/213751/former_contractor_says_fbi_put_back_door_in_openbsd.html, (16.06.2011).

[64] Charles Savage, "U.S. Tries to Make It Easier to Wiretrap the Internet", *The New York Times*, 27. septembar 2010, http://www.nytimes.com/2010/09/27/us/27wiretap.html?pagewanted=1&_r=1&hp , (28.09.2010).

dostupne komercijalne (nekada čak i nelegalne) verzije komercijalnog softvera. Iako ovaj zahtev iziskuje dodatno vreme i troškove razvoja, uvođenja u operativnu primenu, obuke osoblja i održavanja, to je neophodno učiniti jer se samo tako mogu obezbediti najvažniji zahtevi za upotrebu bilo kog tehničkog sistema u vojnoj primeni: pouzdanost i bezbednost. Veliki vojni sistemi često optimizuju odnos navedenih zahteva i troškova, pa je tako čest slučaj da se u nacionalne armije (Rusije[65], Kine, Francuske i Nemačke[66]) uvodi upotreba modifikovanih verzija softverskih sistema otvorenog koda, radi veće dostupnosti izvora programa.[67] Proces smanjenja troškova nije karakterističan za savremeno doba, već intenzivno traje od početka devedesetih. Posle Hladnog rata u celom svetu pokrenute su kampanje uštede u razvojnim projektima za potrebe vojske. One su podrazumevale veću upotrebu postojećih komercijalnih rešenja u razvoju vojnih projekata i smanjenje broja projekata namenjenih isključivo za vojnu primenu.[68] Pre toga je vrhunska tehnologija bila rezervisana za vojnu upotrebu, a nakon pune implementacije u vojne svrhe se u ograničenoj meri pojavljivala na komercijalnom tržištu. Program uštede je podrazumevao da se ovaj proces obrne, pa su postojeće tehnologije prilagođavane vojnoj primeni, sa uštedama u fazi razvoja. Pošto su komercijalni projekti nezavisno razvijani, proizvodi često nisu bili međusobno kompatibilni [13, str. 66]. Jedan od poznatijih primera koji ilustruje ranjivost vojnih sistema usled primene komercijalne tehnologije jeste slučaj američke krstarice *USS Yorktown* u toku rane faze razvoja koncepta „pametnog broda“[69] u programu projekta razvoja borbenih sistema koji mogu samostal-

[65] "Running For Linux", *strategypage.com*,
http://www.strategypage.com/htmw/htiw/articles/20110109.aspx , (09.01.2011).
[66] Jim Krane, "World Governments Choosing Linux for National Security", *The Associated Press*, 3. decembar 2001. godine, http://www.hartford-hwp.com/archives/27a/302.html, (04.04.2010).
[67] "China looks into Windows code", *cnet.com*, 29. septembar 2003. godine,
http://news.cnet.com/2100-1016_3-5083458.html, (04.04.2010);
Nakon najave vlasti Kine da će izbaciti iz upotrebe operativni sistem *Windows* u vladinim agencijama i najave razvoja sopstvenog operativnog sistema zasnovanog na *Linux* platformi, kompanija *Microsoft* odmah je uputila specijalnog savetnika predsednika SAD, bivšeg državnog sekretara Henrija Kisindžera na pregovore u Kinu, spustila cenu svog softvera, dala na uvid kineskoj strani zatvoreni softverski kod operativnog sistema radi kontrole i uspostavila zajedničku softversku laboratoriju u Pekingu. U američkoj javnosti je nakon ovoga pokrenuta čitava politička kampanja sa stavovima stručnjaka da su najozbiljniji sajber napadi preduzeti na SAD od strane Kine pokrenuti baš nakon sticanja uvida kineskih programera u softverske propuste datog programskog koda. Doug Ross, Journal, "In light of Chinese cyber attacks, flashback to 2003, when Microsoft started sharing source code with China's military", http://director-blue.blogspot.com/2010/03/in-light-of-google-hack-flashback-to.html, (08.04.2010).
[68] Dorothy McKinney, *Impact of Commercial Off-The-Shelf (COTS) Software and technology on Systems Engineering*, avgust 2001. godine,
http://www.incose.org/northstar/2001Slides/McKinney%20Charts.pdf, (13.03.2010); Michael Trei, 16. maj 2010. godine, „US Air Force gets a migraine from Sony's latest PS3 update", http://dvice.com/archives/2010/05/us-air-force-ge.php, (13.03.2010).
[69] Brod je bio opremljen sa 27 umreženih PC računara – radnih stanica sa *Windows NT* operativnim sistemom. Ovaj računarski sistem kontrolisao je svaki aspekt rada broda, od plovidbe

no da izvode vojna dejstva bez ljudske posade.[70] Problem je nastao kada se operativni sistem u toku rada sam od sebe blokirao, što je relativno česta karakteristika tadašnjih verzija *Windows* operativnog sistema, nakon čega je prestalo funkcionisanje broda i on je počeo da pluta pučinom. Iako je pouzdanost softvera i hardvera od vremena incidenta značajno napredovala, opasnost od slučajnih grešaka i otkaza rada ili protivničkih dejstava na informacionu tehnologiju veća je nego ikada zbog velike zavisnosti vojnih sistema od informacione tehnologije. Vojna i civilna informaciona tehnologija međusobno su kompatibilne i podložne su istim opasnostima koje se mogu širiti dvosmerno. Računarski crv *Stuxnet* namenjen dejstvu na nuklearno postrojenje našao je svoj put i do drugih civilnih sistema, a moguć je i obrnut slučaj, poput širenja poznatog računarskog crva *Conficker* sa civilnih na vojne informacione sisteme. On je iskorišćavao postojanje bezbednosnih propusta *Microsoft* operativnih sistema i stvarao prikrivene virtuelne botnet mreže kojima napadač upravlja daljinski [19]. Iako nije dizajniran za napad na vojne sisteme,[71] primena identičnog operativnog softvera u vojnim i civilnim računarskim sistemima dovela je do njegovog širenja u nekoliko evropskih armija (vojnim sistemima francuske mornarice – Intramar,[72] britanske ratne mornarice – *NavyStar*, uključujući više ratnih brodova i podmornica,[73] i nekoliko stotina računara u računarskoj mreži nemačke vojske).[74] Bez obzira na odsustvo katastrofalnih posledica, ovaj slučaj pokazuje potrebu pažljivog balansiranja odnosa zahteva za bezbednošću i njihovih troškova u skladu sa nacionalnim doktrinama i intenzitetom postojećih bezbednosnih rizika.

Čak i u slučaju da se primenjuju sve propisane mere sajber bezbednosti, softver za zaštitu od zlonamernog koda, enkripcija, ograničavanje pristupa, siguran i pouzdan softver i postupci zaštite, ipak i dalje nisu otklonjene sve opa-

---

do upravljanja paljbom. Gregory Slobodkin, "Software glitches leave Navy Smart Ship dead in the water", *Government Computer News*, 13 jula 1998. godine, http://web.archive.org/web/20050214070147/http://www.gcn.com/17_17/news/33727-1.html, (13.05.2010), Wired.com, "Sunk by Windoows NT", 24. jul 1998. godine, http://www.wired.com/science/discoveries/news/1998/07/13987, (13.05.2010).

[70] Savremeni trend je razvoj borbenih sistema bez posade na daljinsko ili automatizovano upravljanje.

[71] Zarazio je više od petnaest miliona vladinih, komercijalnih i privatnih računara u više od 200 država sveta. Teško se otkriva, jer kombinuje nekoliko naprednih tehnika napada. Njegove podvrste u zavisnosti od vrste napada i načina delovanja sa *Conficker A, B, C, D, E i F.*

[72] Kim Willsher, "French fighters planes grounded by computer virus", *The Daily Telegraph*, http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/france/4547649/French-fighter-planes-grounded-by-computer-virus.html, (25.03.2010).

[73] Chris Williams, "MoD networks still malware-plagued after two weeks", *The Register*, 20. januar 2009. godine, http://www.theregister.co.uk/2009/01/20/mod_malware_still_going_strong/, (25.03.2010).

[74] Conficker-Wurm infiziert hunderte Bundeswehr-Rechner, *PC Professionell*, 16. februar 2009. godine, http://www.pc-professionell.de/news/2009/02/16/conficker_wurm_infiziert_hunderte_bundeswehr_rechner, (26.03.2010).

snosti od sajber napada. Postoji realna opasnost da proizvođači hardverskih komponenti u toku proizvodnje u njega uključe razne sigurnosne propuste ili mu dodaju skrivene karakteristike koje će im omogućiti da pokrenu sajber napade protiv korisnika [20], [21, str. 34]. Ovaj izmenjen hardver može imati dodatne hardverske komponente, poput lokatora, senzora, procesora koji prikupljaju, modifikuju ili emituju različite informacije u skladu sa prethodno programiranim zadacima ili može biti hardverski identičan neizmenjenom, ali sa modifikovanim mašinskim progamima (*firmware*) podešenim da izvršavaju napadačke ili špijunske aktivnosti. Kako je broj proizvođača hardvera u svetu ograničen, zbog neophodnog posedovanja visokotehnoloških kapaciteta, to stavlja u nepovoljan položaj sve one države koje su prinuđene da uvoze hardverske komponente i sisteme, a koje su u većini u međunarodnoj zajednici. Budući da se delovi izmenjenog hardvera mogu uneti u vojni sistem sa novim sredstvom ili u toku njegovog životnog veka u procesu održavanja, ova opasnost traje tokom celog životnog ciklusa upotrebe tehničkog sistema. U tom pogledu realnu opasnost može predstavljati angažovanje neproverenih preduzeća za servisiranje informacione opreme, pošto ugradnjom servisnih delova i komponenti imaju priliku da kompromituju širok spektar uređaja u sistemu.[75]

Mogućnosti za sajber ratovanje ne nestaju ni ukoliko su hardver, njegov mašinski softver (*firmware*) i klijentski softver dobro dizajnirani, usled neusaglašenih standarda između proizvođača, oni mogu biti međusobno nekompatibilni i stoga podložni sajber napadima. Podložnost proizvoda informaciono-tehnološke industrije sajber napadima je visoka, jer se oni stvaraju istim programskim jezicima, tehnološkim postupcima i programerskim alatima što automatizuje proces stvaranja, a nedostatak je što se unificiraju i slabosti. U kreiranju programa učestvuje veliki broj programera, a obimnost softvera je sve veća i u skladu s tim i broj propusta, koji se stoga moraju neprekidno pronalaziti u svim fazama života programa. Uobičajena je praksa proizvođača da izdaju privremene probne verzije programa i daju ih na uvid širokoj javnosti radi uočavanja grešaka. Nakon otkrivanja propusta, greške se javno objavljuju radi pronalaženja rešenja i potencijalni napadači ih mogu zloupotrebiti za svoje napade.[76] Propuste

[75] Zbog ove realne opasnosti održavanje IT opreme u vojnim sistemima ne sme biti povereno preduzećima koja nisu prošla kroz široku proceduru bezbednosne provere i nemaju odgovarajuće licence za rad.

[76] Test koji je izvela američka NSA pokazao je da čak i najobučeniji eksperti nisu u stanju da vizuelnim pregledom miliona linija programskog koda uoče greške i maliciozni kod ubačen u neki softver. To znači da sigurnosni softver mora imati prethodno ažurirane podatke o strukturi malicioznog digitalnog koda da bi ga otkrio. Ovakvi programi se nekada distribuiraju i javno, ali sa lažnom deklarisanom namenom, poput lažnih antivirusa ili prepravljenog – „krekovanog" softvera, koji predstavlja originalni softver prepravljen tako da prevazilazi autorsku zaštitu za neplaćenu upotrebu, ali koji u sebi sadrži zlonamerni programski kod usmeren protiv korisnika računara koji ga je preuzeo. Zlonamerni kod se može sakriti ne samo u izvršnim *.exe* fajlovima, već i u slikama *(.jpg, .gif, .bmp*), muzičkim datotekama *(.mp3, .wma* i dr.), dokumentima *(.pdf, .doc, .xls*) i mnogim drugim.
Richard Clarke, *Cyber War*, strana 16.

mogu otkriti I sami napadači pre nego što ih primete autori softvera, čime postaju sposobni da preduzmu razne metode i tehnike napada, a takvi napadi nazivaju se „napadi nultog dana“.[77] Ova okolnost je uzrok doktrine po kojoj se sajber napadi ne mogu sprečiti pasivnom odbranom koja kaska za napadačima, već se moraju sprečiti metodama poput odvraćanja od napada [22, str. 33–73].

Otvoren pristup sadržajima i saobraćaju u sajberprostoru. Gotovo sve što internet čini funkcionalnim ima otvoren i nekriptovan pristup, po čemu je njegovo funkcionisanje slično načinu rada radio- stanica.[78] Ta okolnost je poželjna u slučaju radija, ali ne i u slučaju Interneta. Većina komunikacija na internetu se u nekom delu saobraćaja odvija nekriptovano. Razvoj metoda i tehnika šifrovanja otežava mogućnost upada napadača u komunikaciju, ali ga ne sprečava u potpunosti. Svetski pretraživači, internet-provajderi i, pod specifičnim uslovima, razni organi državnih bezbednosti u svim državama sveta imaju pristup internet-saobraćaju koji se odvija u nadležnosti tih država.[79] Pored toga svi komercijalni davaoci usluga i servisa, poput javnih *email* provajdera, *web* pretraživača i sajtova za društveno umrežavanje imaju potpuni pristup ličnim podacima i konverzaciji svojih korisnika. Svaki korisnik tih servisa ili softvera mora s tim da se složi prilikom otvaranja naloga. Zloupotrebu ovih podataka sprečava samo interna politika kompanije i savest administratora.[80] Ovakva dostupnost informacija na raznim nivoima pogoduje razvoju tehnika prisluškivanja saobraćaja,[81] koje je naročito zastupljeno u bežičnim komunikacijama. Čak je i kompanija *Google* u mnogim državama godinama neovlašćeno preuzimala velike količine privatnih podataka u bežičnom prenosu prilikom snimanja fotografija za projekciju ulica *(Google Street)* za svoj servis *Google Maps*. Iako je kompanija na zvaničnom blogu obja-

U istraživanju koje je sprovela kompanija *Google*, a koje je trajalo 13 meseci, vršeno je pregledanje 240 miliona *web* strana, pri čemu je ustanovljeno postojanje oko 11.000 sajtova širom sveta koji su distribuirali lažne antivirusne programe.

[77] *Zero-day attacks* su napadi preduzeti na osnovu postojanja nedostataka koji prethodno nisu bili poznati vlasniku ili korisniku softvera, već smo napadačima.

[78] Neku radio-stanicu slušaju samo oni slušaoci koji to žele, ali su svi koji poseduju radio- prijemnik u mogućnosti da to učine.

[79] Zakon o elektronskim komunikacijama Republike Srbije iz juna 2010. godine (članovi 128. i 129) predviđa da je operator dužan da zadrži podatke o elektronskim komunikacijama za potrebe sprovođenja istrage, otkrivanja krivičnih dela i vođenja krivičnog postupka, u skladu sa zakonom kojim se uređuje krivični postupak, kao i za potrebe zaštite nacionalne i javne bezbednosti Republike Srbije.
http://www.parlament.gov.rs/content/cir/akta/akta_detalji.asp?Id=931&t=Z#, (07.07.2010).

[80] Nezvanični moto kompanije *Google* je „Ne budi zao“, iako je više puta ova kompanija trpela kritike u javnosti zbog nesklada između stava u sloganu i sopstvenog ponašanja u određenim situacijama. „Code of Conduct“, Google.com,
http://investor.google.com/corporate/code-of-conduct.html, (16.05.2011).

[81] *Packet sniffer* (paketni analizeri, mrežni analizeri, protokol analizeri) alati koji prate i analiziraju celokupni saobraćaj.

vila da je napravila grešku,[82] sudski organi nekoliko država pokrenuli su istrage o ovom slučaju, a neki su i zabranili tu aktivnost.[83] Da bi se sprečio neovlašćen pristup informacijama koriste se razne metode obezbeđivanja saobraćaja, poput enkripcije i upotrebe sertifikata zaštite. Njihov nedostatak je povećavanje troškova poslovanja i to što ih ne primenjuju svi učesnici na internetu. Pored toga, njihova primena nije dovoljna jer su u upotrebi mnoge metode prikrivenog praćenja aktivnosti korisnika poput korišćenja raznih vrsta špijunskih programa. Prikriveno snimanje kucanog teksta na tastaturi moguće je vršiti čak i daljinski, pomoću radio-antene kojom se sa daljine mogu snimati slabe elektromagnetne promene koje nastaju na računaru i kablovima prilikom kucanja teksta.[84] Sve ovo važi i za vojne sisteme, iako oni primenjuju posebne i stroge mere zaštite. Ipak, sve vojne komunikacije u sajber- prostoru su u osnovi ranjive onoliko koliko je ranjiv sam sajberprostor. Na primer, pripadnici iračkog pokreta otpora i avganistanski pobunjenici su dugo vremena koristili obične laptopove i jeftin softver *SkyGrabber*[85] čija je osnovna namena preuzimanje komercijalnog satelitskog saobraćaja, da bi pratili i preuzimali vojne bežične komunikacije sa američkih bespilotnih letelica tipa *Predator* i *Reaper* (slika 3), koji američkoj vojsci služe za nadgledanje, televizijsko snimanje i uništavanje ciljeva na zemlji sa daljine.[86]

---

[82] Iako je kompanija *Google* dala javnosti prilično neubedljivo obrazloženje kako je došlo do neovlašćenog prikupljanja podataka sa bežičnih mreža, zvaničnici nekoliko država (Nemačke, Kanade i SAD) smatraju da taj postupak nije bio slučajan i zadržale su pravo na pokretanje sudskog procesa protiv kompanije. David Kravets, "Lawyers Claim Google Wi-Fi Sniffing 'Is Not an Accident'", *Wired.com*, 3. jun 2010. godine (03.06.2010).

[83] John Ribeiro, "Google faces privacy investigation in Canada", computerworld.com, 2. jun 2010. godine, http://www.computerworld.com/s/article/9177583/Google_faces_privacy_investigation_in_Canada?source=rss_news, (18.03.2010); Warwick Ashford, "German and US authorities to investigate Google's collection of private Wi-Fi data", computerweekly.com, http://www.computerweekly.com/Articles/2010/05/18/241260/German-and-US-authorities-to-investigate-Googles-collection-of-private-Wi-Fi.htm, (24.03.2010).

[83] http://www.skygrabber.com/en/index.php, (19.08.2009).

[84] U toku istraživanja mogućnosti snimanja elektromagnetnih promena nastalih na računarima pomoću radio-antene, polaznici doktorskih studija na *Security and Cryptography Laboratory at the Swiss Ecole Polytechnique Federale de Lausanne* (EPFL) u Švajcarskoj testirali su 11 različitih modela tastatura koji su bili povezani na računar kablom pomoću USB ili PS/2 veze, kao i tastatura ugrađenih u laptop računare. Praćenjem elektromagnetnih promena na udaljenosti od 20 metara bilo je moguće otkriti šta su korisnici računara kucali na tastaturama. Ovakav postupak je moguć i sa drugim delovima računara, poput monitora, a oprema koju su koristili za praćenje bila je široko dostupna i jeftina. BBC News, "Keyborad sniffers to steal data", 21. oktobra 2008. godine, http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/7681534.stm, (17.06.2010);

Gibson Research Corporation, 20. novembar 2008. godine, audio intervju Stiva Gibsona i Lea Laporte, http://www.grc.com/sn/sn-171.txt, (17.06.2010).

[85] http://www.skygrabber.com/en/index.php, (16.03.2010).

[86] Siobhan Gorman, Yochi J. Dreazen, August Cole, "Insurgents Hack U.S. Drones", *The Wall Street Journal*, 17. decembar 2010. godine; Charles Arthur, "SkyGrabber: the $26 software used by insurgents to hack into US drones", Guardian.co.uk, 17. decembar 2010. godine, http://www.guardian.co.uk/technology/2009/dec/17/skygrabber-software-drones-hacked, (19.03.2010).

Slika 3 – Bespilotna letelica *Predator* u akciji u Avganistanu[87]
Figure 3 – Predator Unmanned Vehicle in an Afghanistan mission

Podaci sa letelica prenosili su se sajberprostorom do komandnih centara i bili su kriptovani na putu od letelice do centara na Zemlji, ali nisu bili kriptovani na putu od centara do satelita. Iako je američka vojska primetila ovaj propust tokom bombardovanja Republike Srpske i Srbije, nije preduzela mere za njihovo otklanjanje tokom kasnijih sukoba jer je smatrala da protivnici u Iraku i Avganistanu tehnološki nisu u stanju da otkriju i iskoriste ovu slabost. U vreme incidenta, neke letelice bile su opremljene najnovijim kamerama visoke rezolucije tipa *Gorgon Stare*, sposobnim da centralnoj komandi istovremeno šalju po deset različitih video prenosa. Ove letelice proizvodi specijalizovano preduzeće za vojne tehnologije *General Atomics Aeronautical Systems Inc*. u San Dijegu po ceni od 10 do 12 miliona dolara po komadu. Navedeni program *SkyGrabber* proizvodi ruski programer i u SAD košta svega 26 američkih dolara, a može se besplatno nelegalno preuzeti širom interneta. Posledica ovog incidenta je brz razvoj bezbednijih bežičnih veza sa bespilotnim letelicama.[88] Ipak, bez obzira na nove tehnologije komunikacije borbenih letelica sa komandnim centrima u slučaju presretanja i izmene komunikacionog saobraćaja u bilo kom smeru, postoji realna mogućnost uticaja na njihova borbena dejstva.

Zaključak

Sajberprostor nesumnjivo predstavlja jedno od najvećih civilizacijskih dostignuća. U nekoliko sledećih decenija, zahvaljujući sajber prostoru, celokupno ljudsko znanje biće dostupno svim članovima ljudskog

[87] Siobhan Gorman, Yochi J. Dreazen and August Cole, Insurgents Hack U.S. Drones, The Wall Street Yournal, 17. децембар 2009. године, http://online.wsj.com/article/SB126102247889095011.html, (20.05.2010).
[88] U završnoj fazi razvoja je projekat američkog Ratnog vazduhoplovstva za upotrebu optičkih laserskih širokopojasnih veza između bespilotnih letelica i komandnih centara.

društva. S druge strane, upravo ta masovnost onemogućava mu vladavinu principa profesionalne etike i morala pojedinaca. U njemu se manifestuju međusobno suprotstavljeni pojedinačni interesi kriminalaca, terorista, ali i nacija. Bez opšteprihvaćenih principa upotrebe sajberprostora njegova destruktivna primena može poništiti sve prednosti i nade koje pruža celom čovečanstvu. Čovečanstvo ratuje od svog postanka i malo je verovatno da će u skoroj budućnosti prestati. Imajući to u vidu, razumljivo je nastojanje većine država da sajberprostor i njegovu infrastrukturu, servise i informacije upotrebe u funkciji vođenja sukoba. Mnoge nacionalne odbrambene strategije već definišu sajber- prostor kao novo područje vođenja vojnih operacija.[89] Ova okolnost ne mora imati isključivo negativno značenje. Međunarodno uređeno sajber ratovanje može imati mnoge prednosti u odnosu na ratovanje kinetičkim oružjem, jer nudi manje kolateralne štete u odnosu na ostvareni rezultat dejstva. Ono kao katalizator unapređuje vođenje sukoba u bilo kom području i povećava ukupno dejstvo ratovanja. Donosi manje fizičko uništenje, niže troškove i manje bezbednosne rizike po sopstveno ljudstvo od fizičkog ratovanja za istu vrstu efekata. Primena sajber ratovanja neće ukinuti vođenje rata fizičkom silom, ali će značajno promeniti prirodu vođenja sukoba koji se permanentno vode u stanju mira, bez zvanične objave rata.

Sajber ratovanje je raznovrsno i nudi mnogo različitih oblika uticaja na protivnikovu sposobnost vođenja rata. Osnovne oblasti njegove primene su špijunaža, informacione operacije i onesposobljavanje sistema društvene infrastrukture. Ono se neprekidno razvija, pa se njegovom primenom već može ostvariti sajber dejstvo na informacione sisteme, fizičko oštećenje ili uništenje cilja ili propagandno psihološko ratovanje usmereno na celokupno stanovništvo neke države.

Sajber ratovanje predstavlja idealno sredstvo tehnološke manifestacije mrežnocentričnog i asimetričnog ratovanja. Umrežavanjem vojnog osoblja, boraca, borbenih sredstava i borbenih robota[90] pomoću velikog broja raznih vrsta informacionih mreža u sajberprostoru ostvaruje se osnovna funkcija sajber ratovanja za tehnološki visokorazvijene vojne sisteme. S druge strane, imajući u vidu niske troškove razvoja sajber oružja, mogućnost njegove prikrivene i odložene primene, činjenicu da su visoko umreženi sistemi veoma podložni asimetričnoj pretnji, kao i da nedostatak razvi-

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

[90] Broj borbenih robota u sastavu vojske SAD u ratovima u Iraku i Avganistanu je do 2010. godine dostigao cifru više od 12.000 kopnenih i 7.000 letelica bez posade na daljinsko upravljanje, što predstavlja oko 10% od ukupnog broja vojnika. Ovaj broj robota predstavlja ogromno povećanje njihovog angažovanja pošto ih američka vojska gotovo nije ni koristila na početku rata u Iraku. Singer, P.W, Wired for War, The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century, Penguin Press HC, First Edition, 2009, ISBN 978-1594201981; Jenny Gerard, Robotic Warfare in Afghanistan and Pakistan, www.mapw.org.au/files/downloads/2011-05-14_Robotics.pdf, (28.05.2011).

jene informacione infrastrukture smanjuje podložnost neprijateljskom dejstvu, sajber ratovanje pruža tehnološki slabije razvijenim državama mogućnost da se orijentišu na ofanzivna dejstva protiv nadmoćnijeg, umreženog protivnika. Ono omogućava i olakšava nove forme vođenja sukoba, poput haospleksičnog ratovanja[91] koje se posebno ogledaju u stvaranju nelinearnih, kompleksnih, samoorganizujućih i nestalnih mreža, koje vode ratovanje upotrebom decentralizovanih timova, ćelija ili grupa, poput najpoznatije svetske terorističke organizacije „Al Kaide“ [23, str. 915–929].

Da bi se sajber ratovanje moglo razumeti na ispravan način koji omogućava njegovu primenu u nacionalnim vojnim doktrinama, razvoj vlastitih kapaciteta za sajber ratovanje, izgradnju kapaciteta za efikasnu odbranu od sajber napada i međunarodnopravnu regulaciju, neophodno je shvatiti njegovu prirodu koja prvenstveno potiče od društvenih, vojnih i tehnoloških razloga njegovog nastanka.

Osnova tehnoloških razloga nalazi se u samim korenima sajber- prostora, koji su posledica prihvaćenih principa pri izgradnji interneta. Oni su omogućili njegov brz rast, ali su postali uzrok mnogobrojnih problema u području bezbednosti, a koje koriste sajber kriminal i ratovanje. Tehnološki razlozi ogledaju se i u načinu projektovanja, izgradnje i upotrebe hardvera, softvera, protokola i sadržaja koji omogućavaju postojanje mnogobrojnih propusta i nesavršenosti koji se mogu zloupotrebiti i iziskuju stalan proces njihovog pronalaženja i otklanjanja. Odsustvo bezbednosnih procedura i neprimenjivanje standarda pri projektovanju i upotrebi ugrožava bezbednost korisnika i omogućava ofanzivno dejstvo protivnika.

Promene u svetskoj međunarodnoj praksi sve više umanjuju značaj i snagu neograničenog državnog suvereniteta, jačaju značaj novih društvenih načela poput ljudskih prava i demokratije, utiču i na način rešavanja međunarodnih sukoba. Ti sukobi se sve više vode primenom „meke“ i „pametne“ moći u kombinaciji sa međunarodnim pritiscima, informacionim operacijama, ekonomskim i pravnim pritiscima u kojima sajber ratovanje ima značajnu ulogu.

Nepravilno ponašanje učesnika pri aktivnostima sa informacionim tehnologijama i u sajberprostoru zbog neznanja, neprimenjivanja bezbednosnih procedura i smanjene odgovornosti na jednostavan način omogućava protivniku da pokreće i ostvaruje dejstva čije posledice mogu ostvariti ekvivalent napada fizičkom silom.

Sajber ratovanje predstavlja tehnološku osnovu mrežnocentričnog i asimetričnog ratovanja i u velikoj meri omogućava praktičnu primenu novih teorija sukoba u kojima protivnici upotrebljavaju robotizovanu borbenu tehniku i amorfne i samoorganizujuće strukture.

Sajber ratovanje od nastanka do danas pokazalo je veliku moć evolucije i razvoja, što se prvenstveno ogleda u kapacitetima za ostvarivanje

[91] *Chaoplexity* – kovanica nastala od reči *chaos* i *complexity*. U vojnoj nauci ova teorija naglašava značaj promene i prilagodljivosti borbenoj situaciji.

dejstva na protivnika i posledicama dejstva na cilj. Kao karakteristična disruptivna vojna tehnologija, može se očekivati da će ono brzo evoluirati u nove, znatno opasnije i razornije forme. O tome svedoči ogroman interes vojno dominantnih svetskih sila da razviju sredstva, metode, tehnike i vlastite kapacitete za sajber ratovanje, kao i napori na razvoju novih vrsta sajber oružja. Sajber ratovanje će tek pokazati svoje potencijale u budućnosti, a da bi se omogućila njegova primena u svrhu nacionalne odbrane, kao polazna osnova neophodno je shvatiti njegovu istinsku prirodu, potencijale i uzroke koji ga omogućavaju.

Literatura

[1] G8, Okinawa Charter on Global Information Society, *www.mofa.go.jp,* 22 July 2000. http://www.g8.utoronto.ca/summit/2000okinawa/gis.htm, [citirano: 17. novembar 2010].

[2] Virilio, P., *Speed and Politics: An Essay on Dramology,* Semiotext(e), New York, 1986, ISBN 1584350407.

[3] Air Force Doctrine Document 3-12, Air Force e-Publishing, 15 July 2010, http://www.e-publishing.af.mil/shared/media/epubs/AFDD3-12.pdf, [citirano: 22. jul 2010].

[4] Военная доктрина Российской Федерации, *http://news.kremlin.ru/ref_notes/46,* 5. februar 2010. [citirano: 17. maj 2010].

[5] Bowles, S., Did Warfare Among Ancestral Hunter-Gatherers Affect the Evolution of Human Social Behaviors?, Science, 5 June 2009: Vol. 324 no. 5932 pp. 1293-1298 DOI: 10.1126/science.

[6] US Senate, Witnesses - Nominations of vadm James A. Winnefeld, Jr., USN, to be admiral and commander, U.S. Northern Command/Commander, North Americ. Aerospace Defense Command; and LTG Keith B. Alexander, USA, to be general and director, National Security Agency, United States Senate Armed Services Committee*,* 15 April 2010, http://armed-services.senate.gov/Transcripts/2010/04%20April/10-32%20-%204-15-10.pdf, [citirano: 13. maj 2010].

[7] Uppsala Conflict Data Program (UCDP), *Department of Peace and Conflict Research,* Upsala Universitet, 10 april 2011, http://www.pcr.uu.se/research/UCDP/, [citirano: 10. april 2011].

[8] Clausewitz, C., Howard, M., Peret, P., *On War,* Princeton University Press, New Yersey, 1984, ISBN 0691056579.

[9] Convention (IV) relative to the Protection of Civilian Persons in Time of War, Geneva, 12 August 1949, *icrc.org,* http://www.icrc.org/ihl.nsf/FULL/380?OpenDocument, [citirano: 12. decembar 2010].

[10] Protocol Additional to the Geneva Conventions of 12 August 1949, and relating to the Protection of Victims of International Armed Conflicts (Protocol I), 8 June 1977, http://www.icrc.org/ihl.nsf/FULL/470?OpenDocument, [citirano: 12. decembar 2010].

[11] Warden, J., *The Enemy as a System,* Airpower Journal*,* Spring, 1995, T. VIV, No. 1, str. 40-55.

[12]. Nye, J., *Soft Power: The Means To Success In World Politics,* Public Affairs, New York, 2004, ISBN 1586482254.

[13] Clarke, R., *Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It,* Ecco, Harper Collins, New York, 2010, ISBN 0061962236.

[14] Charter of the United Nations, Chapter VII, article 51, 26 June 1945, http://www.un.org/en/documents/charter/index.shtml, [citirano: 18. mart 2011].

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

[16] Manjak, M., Miletić S., *Predlog koncepta komandno-informacionog sistema brigade KoV Vojske Srbije,* Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 2, str. 78-93, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd.

[17] Cerf**,** V., Kahn**,** R.*, A Protocol* for Packet Network Intercommunication, Communications, IEEE Transactions on Comms*,* May, 1974, T. 22, 5, Reprinted, www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos561/papers/cerf74.pdf, [citirano: 18. mart 2011].

[18] Faillere, N., O Murchy, L., Chien, E., *W32.Stuxnet Dossier*, http://www.symantec.com/content/en/us/enterprise/media/security_response/whitepapers/w32_stuxnet_dossier.pdf, february 2011, [citirano: 28. mart 2011].

[19] Markoff, J., „Worm Infects Millions of Computers Worldwide", The New York Times, 22 January 2009, http://www.nytimes.com/2009/01/23/technology/internet/23worm.html, [citirano: 03. mart 2011].

[20] Borg, S., *Securing the Supply Chain for Electronic Equipment: A Strategy and Framework*, http://www.whitehouse.gov/files/documents/cyber/ISA%20-%20Securing%20the%20Supply%20Chain%20for%20Electronic%20Equipment.pdf, [citirano: 12. jul 2011].

[21] Cyberspace Policy Review, The White House, http://www.whitehouse.gov/assets/documents/Cyberspace_Policy_Review_final.pdf *www.whitehouse.gov,* [citirano: 11. mart 2011].

[22] Libicki, M., *Cyberdeterrence and Cyberwar,* Rand Publishing, Arlington, 2009, ISBN 9780833047342.

[23] Bousquet, A., *Chaoplexic warfare or the future of military organization,* International Affairs, Volume 84, Issue 5, 2008, str. 915–929.

TECHNOLOGICAL, MILITARY AND SOCIAL CAUSES FOR THE APPLICATION OF CYBER WARFARE

FIELD: Computer Sciences (Information Technologies, Social and Professional Issues of Computer Sciences, Information Systems)
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary

Cyber warfare is a specific new form of military conflicts the use of which is growing rapidly in the international community. However, its nature is specific and differs from all previously known forms of warfa-

re. For the purpose of clear understanding of the nature of cyber warfare, this paper covers the basic groups of preconditions for its broad application and fast development from technological, military and social aspects. Understanding the true nature of cyber warfare is a necessary condition for building national capacities for its application that are military justified and harmonized with the international law. The paper explores the characteristic instances of cyber warfare, ranging from information propaganda to physical destruction, with the goal to determine guidelines for the possible development of cyber capacities at the national level. Based on the analysis of previous cyber warfare cases, a prediction of future development directions is made and the necessity to apply suitable methods and techniques for defense against them is analysed.

Introduction

World leaders, academic community and private businesses have recognized the revolutionary influence of cyber space activities on the complete mankind.Their influence appears in the form of conducting individual, group and international relations, their consequences, influence on time and space and knowledge exchange. It is increasingly appearing in the area of criminal, terrorism, for the purpose of intelligence activities and warfare. These activities and their consequences appear in the material world where the material basis of cyber space is; it is, therefore, devided by political borders and regulated by different sovereign national laws. The technological development of cyber space applications for the purpose of conflict is fast, while the corresponding international laws are very slow to develop, thus creating a great instability in the area of cyber security. Many countries have recognized both the danger and the potential of cyber warfare which led to adoption of national strategies, military doctrines and cyber warfare rules in several leading states of the world, while the international level has yet to show any significant regulation of this specific conflict area. An exclusively linear analogy with the already existing forms of warfare is not possible due to the particularities of cyber warfare that erase the border between war and peace, combatants and civilians and create new forms of conflict. For a correct and efficient national application and international regulation of cyber warfare, it is necessary to understand correctly the conditions that influence its origin, development and application.

What enables cyber warfare?

The basic factors that enable the application of cyber warfare are social, technological and strategic. Although cyber warfare is enabled by information technology, in observing it within the military context it is necessary to understand its wider relation with all the elements of cyber infrastructure.

Social and strategic reasons come from the new social circumstances of the 21st century: globalization, global unipolarity and the upcoming multipolarity, domination of the anglosaxon legal system, wea-

kening of the principle of the Westphalian state sovereignty, increase of the significance of new international relations principles such as democracy and human rights and explosion in the development of information communication technologies and social networking. International conflicts look less like a war and depend more on information and technology. A characteristic technological manifestation of networkcentric, asymmetric and information conflicts is cyber warfare. In the foundation of „smart power" lies cyber warfare, whose efficiency and intensity of operations against the oponent develop rapidly and are applied in technological and social aspects. Physical and cyber domains are intertwined and enable non-kinetic operations in cyber space with physical consequences in the material world. Simultaneously, military cyber operations significantly advance all forms of traditional warfare.

Cyber warfare is not waged exclusively in cyber space. It is manifested in different forms of operations over people, whether taken as individuals or groups. Monitoring such activities is not possible without the use of scientific methods for collection, analysis and visualization of connections such as tools for social network analysis and data mining.

Technological reasons for the formation and development of cyber warfare stem from utilizing the deficiencies of computer network architecture, software and hardware deficiencies and possibilities to access classified information in cyber space.

The decentralized Internet architecture where the principle of reliability overrides the principle of security is most obviously manifested in groups of attacks that abuse the functioning of Domain Name System (DNS) and Border Gateway Protocol (BGP). These types of attacks can equally be applied for criminal, terroristic and intelligence activities of states and for the purpose of warfare; in the last instance, however, they are autodestructive and lead to self-imposed isolation of potentials for a further waging of conflict in cyber space. Irrespective of this, there have been examples of similar engagements of states in the previous years, with possible political elements as well.

Software and hardware deficiencies are the most common basis of cyber warfare and this is the area where the greatest development of future capacities may be expected. Technological development enables an increasing number of such attacks, and some characteristic cases, such as the application of computer work Stuxnet, demonstrate all the potentials of cyber war applications with consequences in the physical world equivalent to the effects of kinetic weapons. The production of hardware in a number of states in the world can easily be used for political interests and may have a postponed effect in the future warfare. These factors require a careful approach and a greater autonomy in the choice and development of information capacities in military systems.

An open access to classified military information in some parts of cyber space represents a great danger for military communications, but simultaneously provides potential advantages for asymmetric operations against the technologically superior adversary whose systems are more dependent on information technologies and cyber space.

These deficiencies may be found in a wide area, from imperfect protocols of the connection layer of cyber space to intentional and accidental errors of cyber space users. This is why it is neccesary to adopt strict security standards and procedures while working with classified information at a national level. Althaough they stand in opposition to the degree of usability of information and network capacities, lack and disregard of such procedures may have far-fetched consequences on funcioning of military systems and their vulnerability. This domain allows for asymmetrical approach aimed at a technologically superior adversary, which is primarily reflected in offensive intelligence activities and interception of communication traffic of autonomous systems without human crews.

Conclusion

The speed of response of national capacities to cyber threats must accompany the tempo of their development. As the most important disruptive technology of the 21st century, cyber warfare has yet to show its capabilities. Even now, it provides different forms of influence on the opponent's ability to wage war. Since it is more dependent on the possibilities of information technologies and cyber infrastructure deficiencies than military methods and assets, it enables a pronouncedly asymmetric operations by the states with weaker information and material capacities aimed at technologically developed and underdeveloped states. Defence from opponent's cyber operations must start with accepting strict standards and procedures in military systems as well as in most critical social infrastructures and a complete national information space. The future cyber operations doctrine must be aimed at offensive military activities, intelligence activities and proactive defensive activities. Cyber warfare has yet to show its potential in the future, and in order to enable its application for the purpose of achieving national interests, it is necessary first to understand its true nature, possibilities and causes that enable it.

Key words: *cyber warfare, cyber war, cyber space, cyber security, cybernetic war.*

Datum prijema članka: 25. 08. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 05. 09. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 06. 09. 2011.

SMANJENJE UTICAJA GREŠKE U KRIZI: MODELOVANJE ZASNOVANO NA AGENTIMA

Protić D. *Danijela*, Antić D. *Vladimir*, Generalštab Vojske Srbije, Uprava za telekomunikacije i informatiku (J-6), Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, Beograd

OBLAST: računarske nauke i informatika (informacione tehnologije)
VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

Loše reakcije na krize koje su izazvane ljudskim ili sistemskim greškama mogu značajno uticati na zaustavljanje ili prekid radnih procesa u okviru organizacije. Ove greške moguće je minimalizovati korišćenjem metoda koje su zasnovane na primeni agentnog modelovanja, odnosno agentne tehnologije. Osnovu agentnog modelovanja čini softverska i/ili hardverska realizacija sistema koji je sačinjen od nezavisnih, ali ne i izolovanih komponenti – agenata, koji imaju mogućnost samostalnog odlučivanja i komunikacije sa okruženjem, zbog realizacije zadatog cilja. Princip agentnog modelovanja primenjen je na proces edukacije, odnosno uspostavljanja, održavanja i nadogradnje sistema zasnovanog na informacionim tehnologijama (IT sistemi), i na obučavanje personala s ciljem smanjenja uticaja grešaka koje nastaju tokom krize. U radu je prikazan originalni model agenta edukacije koji je namenjen prevenciji, suzbijanju i smanjenju uticaja kriza koje nastaju kao posledica spore reakcije na incidente, neadekvatnog odlučivanja ili loše komunikacije. Agent edukacije sadrži agent indikatora stanja koji reaguje na incidente i agent menadžmenta koji je namenjen smanjenju vremena trajanja i intenziteta krize. Kroz primer fiktivne vojne organizacije VORG predočene su funkcije agenata edukacije za konkretan slučaj.

Key words: *agentno modelovanje, informacioni sistemi, uticaj greške modelovanja, kriza*.

Uvod

Nagli razvoj sistema koji su bazirani na informacionim tehnologijama (IT) i globalizacija koja je nastala prvenstveno razvojem interneta uslovili su nov način komunikacije. Razvoj tehnologije uticao je na organizacije da posluju po modelima koji zahtevaju visok kvalitet usluga [1], a pojava standarda uticala je na usklađivanje neophodnih zakonskih akata u skladu sa zahtevima organizacionih sistema. U skladu sa trendovima

adanijela@ptt.rs

razvoja sistema za elektronsko poslovanje, i s obzirom na pogodnosti koje omogućavaju elektronska obrada i prenos digitalnih podataka, izmenjeni su tradicionalni načini poslovanja, što podrazumeva razvoj kvalitetnog IT sistema (informacioni sistem), edukovan kadar i dobro osmišljene poslovne procese. Eliminacija ili smanjenje potencijalnog rizika po poslovanje i kvalitetna organizacija informacionih sistema obezbeđuju dobar osnov za borbu protiv ljudskih i sistemskih grešaka koje mogu biti izazivači krize, tj. nepoznate situacije u kojima se mogu naći pojedinac ili grupa, i koju karakteriše iznenadna promena rutine u kratkom vremenskom periodu [2]. Zbog toga upravljanje kriznim situacijama zahteva planiranje, pripremu i brzu reakciju, a donošenje odluka mora biti promišljeno i brzo, i takvo da posledice odluka vode ka smanjenju uticaja krize, a ne obrnuto.

Veliki zahtevi koje određuje primena informacione tehnologije mogu da dovedu do stvaranja nefleksibilnih, hijerarhijskih, informacionih sistema. Istovremeno, spoljašnje okruženje je heterogeno i zahteva brzo prilagođavanje promenama. Iz tog razloga potrebna je dinamička, robusna i otvorena infrastruktura ovih sistema. U tom smislu, pojavio se nov koncept odlučivanja koji je realizovan kao informaciono-komunikacioni skup međusobno nezavisnih elemenata čije je funkcije moguće definisati unapred ili menjati u realnom vremenu [3]. Tehnologija koja podržava ovakav koncept poznata je kao agentna tehnologija (Agent-Based Technology).

U radu je prikazan agentni model edukacije kojeg karakteriše smanjenje uticaja grešaka u odlučivanju tokom krize informacionih sistema (IT kriza) dekompozicijom na agente upravljanja i indikacije promene stanja, čime se ubrzava reakcija na pojavu krize i odbacuje višak informacija u odlučivanju tokom krize. Rad je organizovan na sledeći način: u poglavlju koje sledi opisani su uzročnici IT krize, treće poglavlje opisuje modelovanje zasnovano na agentima, a u četvrtom poglavlju prikazano je agentno modelovanje edukacije. Primena agentnog modelovanja opisana je u petom poglavlju kroz ilustrativan primer za fiktivnu, vojnu organizaciju VORG. Poslednje poglavlje je zaključak.

Uzročnici IT krize

Promene u okruženju ili greške u planiranju izazivaju organizacione probleme koji mogu biti izvor krize. U opštem slučaju kriza može da bude trenutna, iznenadna ili kontinualna, dužina trajanja krize je nepoznata, a njene posledice nepredvidljive [4]. Zbog toga je bitno identifikovati moguće izvore krize. Potrebno je prikupljati informacije koje ukazuju na moguće rizike po osoblje, organizacionu strukturu ili poslovne procese, a u proceni mogućih izvora krize posebno je važno i osmatranje okruženja i provera spoljnih uticaja na IT sistem [5]. Problem koji se takođe može po-

javiti jeste greška odgovornih osoba. Najčešće se IT kriza pojavljuje kao mali problem koji se gradira pa, ukoliko aktivnosti odgovornih osoba nisu pažljivo pripremljene, konsekvence mogu da izazovu eksploziju novih kriznih događaja. Neaktivnost takođe vodi ka krizi i takvo ponašanje je poznato kao *sindrom skuvane žabe* (boiled frog). Takođe, uzročnici krize mogu biti i zadovoljstvo postignutim što sprečava odgovornu osobu da obrati pažnju na incidente, uverenost da će se problemi rešiti sami, zaslepljenost pozicijom u organizaciji, neprilagodljivost, preterani optimizam, nepotizam[1] itd. Budući da je kriza problem čije su karakteristike nepredvidljivost i kompleksnost, ljudi u trenucima krize često nisu sposobni da se informacijama koje dobijaju služe kao u situaciji koja nije krizna – kriza koja je izmakla kontroli može izazvati negativne sekundarne efekte. Kotter je 1996. postavio i teoriju o krucijalnim ljudskim greškama koje mogu izazivati krizu, kao što su sujeta, loše upravljanje, loša komunikacija, nepostojanje kratkoročnih ciljeva itd [6].

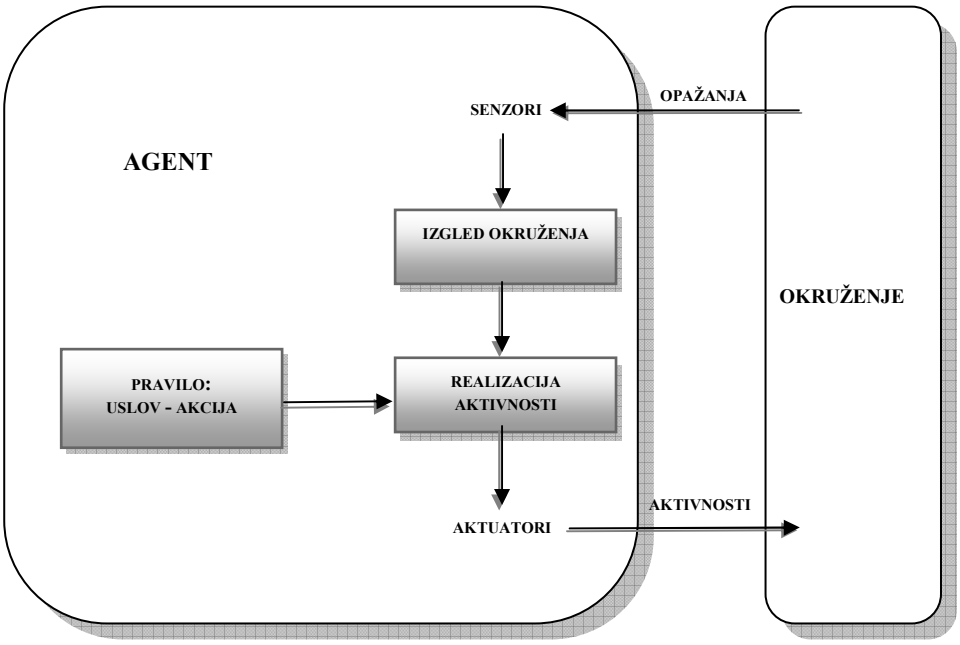
Pored ljudskih grešaka, kriza može biti izazvana sistemski, tj moguće su greške ili kvarovi IT sistema, koji mogu delimično ili u potpunosti zaustaviti njihov rad. Sistemske greške mogu biti izazvane spolja (hakerski napad, prekid telekomunikacionih veza, nestanak struje itd.) ili interno (kvarovi hardvera, promene u softveru, slučajna ili namerna ljudska greška itd.). Međutim, za IT sisteme čije su funkcije i struktura dobro isplanirani moguće je sistemske greške redukovati na minimum analizom slabih tačaka IT sistema, primenom simboličke logike u odlučivanju, segmentacijom na podsisteme itd. Za svaku od navedenih tehnika moguća je softverska simulacija, a rad IT sistema koji su na ovaj način projektovani određuje ponašanje kompleksnih struktura. Jedna od naprednih tehnika koja se u ovom slučaju koristi je agentno modelovanje, tj. modelovanje zasnovano na agentima (Agent-Based Modeling) u kojem je kompleksan sistem opisan kao grupa intereagujućih entiteta – agenata, čija je funkcija odlučivanje izborom jedne od ponuđenih opcija, na bazi unapred definisanih pravila.

Modelovanje zasnovano na agentima

Relativno nova paradigma računarskog modelovanja jeste modelovanje dinamičkih sistema koji su bazirani na nezavisnim komponentama – agentima. Termin „nezavisan“ podrazumeva samostalan ali ne i izolovan entitet koji intereaguje sa drugim agentima ili sa okruženjem čiji je deo. U opštem slučaju agent je simbioza upravljačke (informatičke) jedinice, koja može (i uglavnom jeste) biti softversko rešenje, odnosno program, i fizički realizovanih izvršnih elemenata, koji mogu ali i ne moraju da postoje. Agent upravlja radom informacione i organizacione strukture,

[1] Nepotizam se u ovom kontekstu koristi kao izraz koji opisuje zapošljavanje prijatelja ili članova porodice na radna mesta za koja nisu kvalifikovani.

a komunikacija sa okruženjem služi da prima, obrađuje i prosleđuje informacije, u skladu sa postojećim protokolima [7]. Agent može biti upotrebljen za dekompoziciju složenih procesa, obavljanje zadataka u ime korisnika, nadzor događaja i procedura itd [8]. Međutim, bez obzira na njegove dobre osobine, upotreba agenta ne mora uvek biti opravdana. Njegovu opravdanost određuju mogućnost realizacije zahteva u realnom vremenu, prilagodljivost na promene i dinamika promena [9], [10]. U izvršavanju aktivnosti agenta karakteriše i određena forma inteligencije, počevši od primene fiksnih pravila do sposobnosti planiranja, razumevanja i učenja. U zavisnosti od stepena inteligencije, agenti mogu imati jednostavan (simplex) ili modeliran odziv (model-based), biti orijentisani ka realizaciji cilja (goal-based) i funkciji korisnosti (utility-based), ili imati sposobnost učenja (learning-based) [11]. Izvršne funkcije ovih entiteta su odlučivanje, komunikacija sa okruženjem, obrada informacija itd [12]. Struktura inteligentnog agenta prikazana je na slici 1.



Slika 1 – Struktura inteligentnog agenta
Figure 1 – Inteligent agent structure

Aktivnosti prikazanog agenta su opažanje, izbor postavljenih pravila i procedura i realizacija predefinisanih aktivnosti (što uključuje i aktuatore tj. vezu sa okruženjem). Opažanjem agent prihvata i obrađuje informacije i reaguje po unapred definisanim pravilima koja su postavljena u procesu

planiranja strukture i funkcija IT sistema. U opštem slučaju reakcija na opažanje može biti automatizovana (protivpožarni alarmi, sistemi za registrovanje seizmičke aktivnosti itd.), ali može da bude funkcija percepcije (procene odgovornih osoba). U oba slučaja dve karakteristike opažanja su značajne. Prva je osmatranje okruženja, a druga je reakcija na događaje iz okruženja, s ciljem da IT sistem funkcioniše dobro u svakoj situaciji, bila ona krizna ili ne [13]. U tom smislu je izuzetno bitno da sve aktivnosti u sistemu (interne ili usmerene ka okruženju) budu podređene ostvarivanju zadatih ciljeva za konkretan sistem [14]. U opštem slučaju aktivnosti se dele u dve grupe: svakodnevne aktivnosti uključuju svakodnevne procese, dok aktivnosti u vanrednim situacijama podrazumevaju reakciju na pojavu incidenta (tj. nepoznatog, neočekivanog ili neželjenog događaja). U oba slučaja agent ne može da funkcioniše individualno, već je deo sistema koji je unapred definisao korisnik. Iz tog razloga se, u situacijama koje su krizne, uglavnom koriste agentni sistemi (Agent-Based Systems) koji omogućavaju fleksibilnost, modularnost i rekonfiguraciju složenih struktura.

Agentno modelovanje edukacije

Svi resursi jedne organizacije (personal, tehnologija i razmena podataka između njih) moraju biti okrenuti ka realizaciji cilja, a vrsta obavljenih zadataka zavisi od zahteva za konkretan zadatak. Ipak, čak i ako su resursi i struktura organizacije kvalitetno i adekvatno planirani i održavani, može se usled događaja koji nisu očekivani pojaviti kriza [15]. Iz tog razloga koriste se metode za indikaciju incidenata i upravljanje IT krizom, što uključuje uspostavljanje, nadogradnju, održavanje IT sistema i obučavanje personala (u daljem tekstu: edukacija), čime je moguće uticati na povećanje otpornosti na ljudske i sistemske greške [16]. U kontekstu agentnog modelovanja moguće je edukaciju posmatrati kao learning-based agent (u daljem tekstu: agent edukacije), čije su osnovne funkcije: opažanje promena u radnom okruženju, smanjenje kompleksnosti IT sistema, veća brzina odlučivanja, komunikacija u okviru IT sistema, komunikacija između IT sistema i ljudi (human-computer), itd. Za IT sisteme agent edukacije mora da sadrži dve komponente, ali obe tako definisane da obezbede reakciju na promene i prilagođavanje promenama. Dekompozicija agenta edukacije u slučajevima sistema u kojima može doći do incidenata je neophodna i izvodi se na sledeći način: jedan podsistem je „osmatrač“ okruženja a drugi indikator promene ustaljenih stanja. Ovako formiran, agent edukacije sastoji se od jednog „osmatrača“ tipa model-based agenta (u daljem tekstu: agent menadžmenta) i jednog indikatora tipa goal-based agenta (u daljem tekstu: agent indikatora stanja). U tom

smislu se agent edukacije može posmatrati i kao agent-based sistem koji sadrži dva nezavisna agenta koji komuniciraju međusobno i sa okruženjem, deo su jedne celine, prilagodljivi su na promene i imaju sposobnost da uče. Pored svega navedenog, treba uzeti u obzir i human-computer interakciju koja omogućava reakciju čoveka u slučaju pojave incidenata. Softverski, agent edukacije je programski entitet kojem je potrebno postaviti početna stanja, definisati izvršne funkcije i obezbediti mogućnost interaktivosti sa okruženjem. U slučaju agenta edukacije izvršni elementi, opisani u prethodnom delu teksta, vezani su uglavom za indikatore stanja (senzori, identifikacione kartice i sl.). Način na koji će biti određeni elementi agenta edukacije određuju zahtevi organizacije u skladu sa planovima realizacije zadataka i raspoloživim sredstvima.

Agent indikatora stanja

Zadatak agenta indikatora stanja, koji je prikazan na slici 2, jeste da deluje brzo u slučajevima nagle pojave događaja koji mogu da izazovu promene u funkcionisanju organizacije.

Slika 2 – Agent indikatora stanja

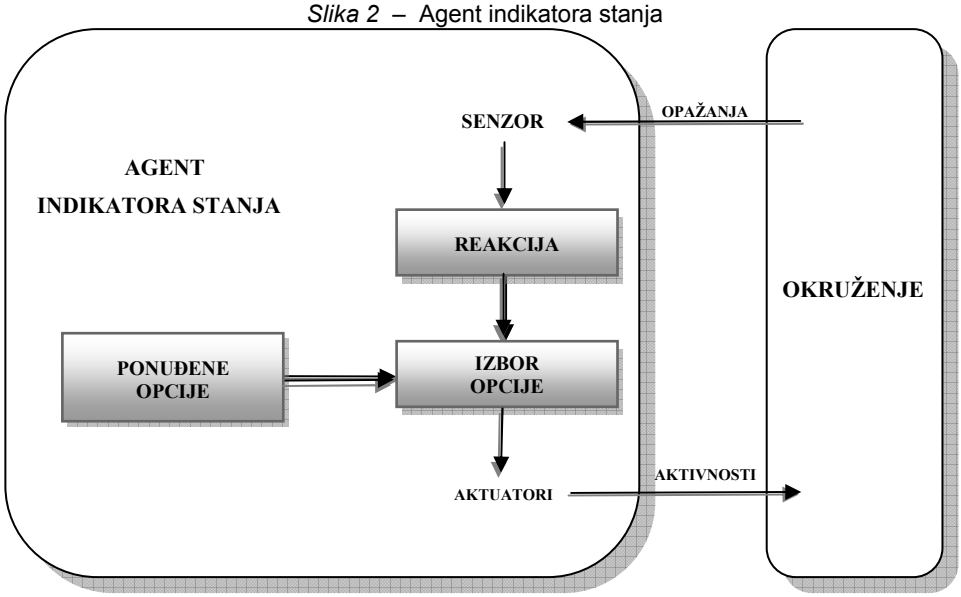


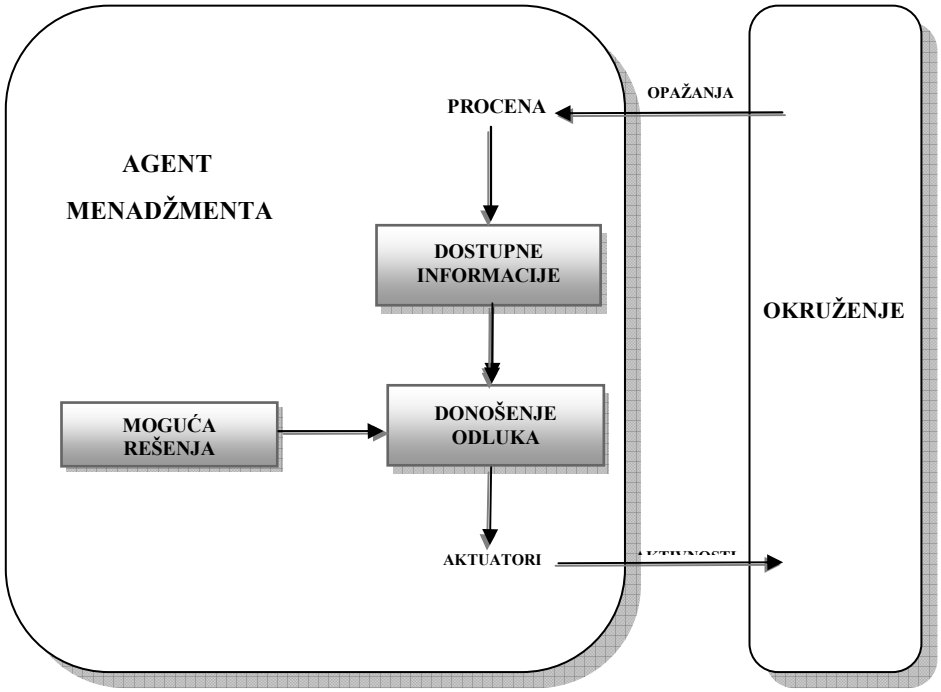
Figure 2 – Status indication agent

Brzina indikatora ukazuje na potrebu izbora jedne iz niza unapred definisanih opcija, koje treba da budu precizno određene, čime se izbegavaju pogrešne odluke. Indikacija je bazirana na simboličkoj logici (Booleova algebra), tj. na proceni stanja tipa da/ne, otvoreno/zatvoreno, upaljeno/ugašeno itd [17]. Ukoliko dođe do pojave događaja koji indikator ne prepoznaje kao jednu od unapred definisanih opcija, agent indikatora stanja reaguje tako što upozorava čoveka na indikaciju nepoznatog događaja. U tom slučaju interakcija sa okruženjem u kojem se nalazi čovek nalaže delimično ili potpuno isključivanje agenta indikatora stanja. Treba naglasiti da uticaj čoveka u krizi može biti takav da potpuno „isključi“ agente.

Agent menadžmenta

U opštem slučaju, menadžment se odnosi na metode upravljanja, ali u određenom broju slučajeva ovaj izraz se koristi da označi i grupu ljudi koji mogu da odlučuju. Na sličan način menadžment u agentnoj tehnologiji je sistem upravljanja koji je realizovan kao agent sa modeliranim odzivom. Softverski, agent menadžmenta je realizovan kroz izbor funkcija koje koriste višedimenzione matrice s ciljem minimalizacije informacija potrebnih za realizaciju zadataka. Matrica sadrži podatke o vrsti reakcije na nepoznat događaj, a realizovana je kao niz odgovora na softverske uslovno-posledične zahteve (komande tipa: if, then, else, while, case i sl.). Neophodno je, u ovom slučaju, kao početno stanje, definisati pod kojim uslovima agent menadžmenta aktivira ove funkcije. U strukturi agenta menadžmenta na slici 3. ove funkcije su definisane kroz moguća rešenja. Pored toga, opažanje i aktivnosti ka okruženju (što uključuje i procenu stanja okruženja i aktuatore) realizovani su u sklopu informaciono-komunikacionog sistema.

U osnovi, reakcije agenta menadžmenta su trome, jer informacije u situacijama koje nisu krizne ne ukazuju na drastične promene u IT sistemima (agent menadžmenta i nije namenjen za indikaciju incidenta). Svakodnevne aktivnosti a time i informacije dostupne agentu menadžmenta odgovaraju funkcijama monitoringa. Pojavom krize, osnovna funkcija agenta menadžmenta postaje smanjivanje vremena trajanja krize i obezbeđivanje da njene posledice po organizacionu strukturu budu što manje. Takođe, budući da je jedna od bitnih karakteristika IT sistema velika brzina obrade i prenosa (digitalnih) podataka, u slučaju promene, gubitka ili krađe ovakvih podataka organizacija trpi posledice koje mogu izazvati prekide ili zaustavljanje radnih procesa. Zato reakcija na IT krizu mora da bude brza i adekvatna, a agent menadžmenta podešen tako da informacije dostupne u ovim situacijama dobija i obrađuje u skladu sa ponašanjem agenta indikatora stanja i funkcijama za minimizaciju obima podataka.



Slika 3 – Agent menadžmenta
Figure 3 – Management agent

Agent edukacije

Edukacija, tj. uspostavljanje, održavanje, nadogradnja IT sistema i obučavanje personala, jeste proces koji određuju tri karakteristike. Prva je uspostavljanje početnog stanja. U zavisnosti od zahteva za funkcionisanje IT sistema, početno stanje određuju zahtevi za oblik i funkcionisanje organizacione strukture. Drugi deo procesa predstavljaju aktivnosti s ciljem realizacije zadataka, što podrazumeva održavanje IT sistema, ali i poštovanje pravila i procedura u radu, kontrolu itd. Treća karakteristika je procesuiranje informacija, nadogradnja IT sistema i doobučavanje personala, ukoliko je potrebno menjati organizacioni sistem. Da bi sva tri procesa bila izvodljiva, agent edukacije treba da ima oblik sistema sa tri stanja (tree-state system):

– *početno stanje* – osnov za funkcionisanje organizacije:

– za resurse – informaciono-komunikaciona mreža, hardver, softver itd.,

– za zaposlene – odgovarajuća stručna sprema, iskustvo u radu na sličnim poslovima i sl;

– *funkcionisanje organizacije*:

– redovne aktivnosti – realizacija zadataka, održavanje funkcija IT sistema, obrada informacija itd.,

– vanredni događaji – reakcija na incident, odgovor na pojavu krize, izbor opcija za suzbijanje krize, aktivnosti odgovornih osoba, improvizacija kod nepoznatih vanrednih događaja itd;

– *stanje nakon krize*:

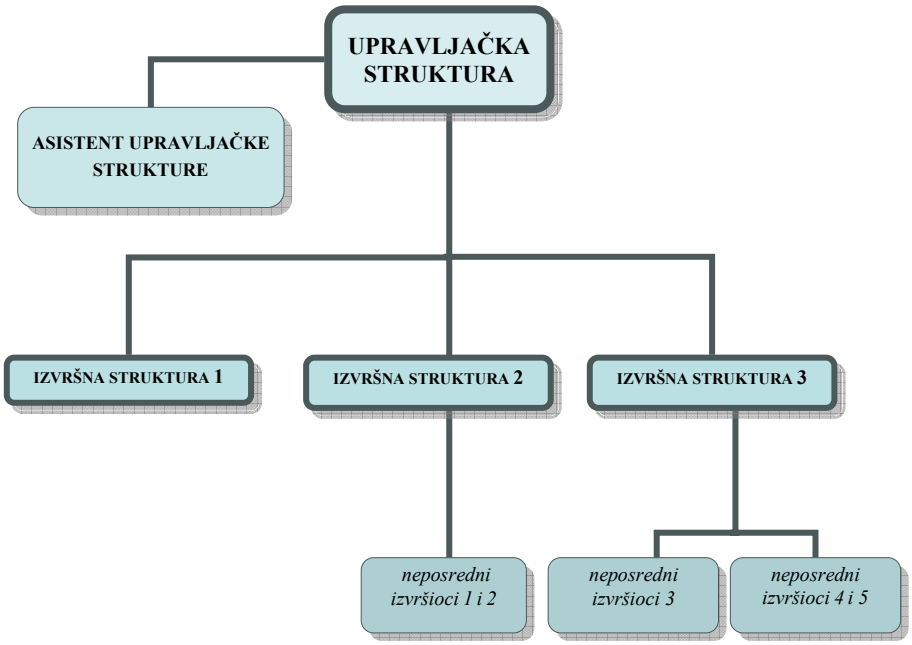
– povratak operativnih sposobnosti – vreme oporavka zavisi od intenziteta, trajanja i posledica krize; bitno je što pre oporaviti IT sistem kako bi šteta bila što manja, a rizik pojave sekundarnih efekata sveden na minimum,

– sanacija posledica krize (učenje iz krize) – u opštem slučaju predstavlja oporavak organizacije i promenu početnog stanja. Učenje iz krize može biti kratkoročno ili dugoročno. Kratkoročno učenje počinje praćenjem aktivnosti upravljačkog mehanizma i indikatora stanja. Kada je to moguće, potrebno je dokumentovati događaje, procese i aktivnosti u toku krize. Dugoročno učenje podrazumeva promene koje organizacija uvodi na osnovu informacija koje su bile dostupne tokom krize, kako bi poboljšala svoje funkcionisanje (modifikacija IT sistema, promena organizacione strukture, izmene u poslovnoj politici itd.).

Primer smanjenja uticaja grešaka u okviru vojne organizacije VORG

Svaka organizacija pripada jednoj od grupa koje su određene zakonom, pa može biti privredna/neprivredna, profitna/neprofitna, vladina/nevladina itd. Takođe, ministarstva, diplomatska predstavništva, ambasade i dr. funkcionišu kao organizacije sa strogo definisanom strukturom, pravilima, dodeljenim budžetom itd. U primeru koji sledi, fiktivna vojna organizacija VORG ima hijerarhijsku strukturu, definisanu podelu poslova, budžet, resurse i strogo određen način komunikacije u okviru organizacije i van nje. Struktura organizacije VORG prikazana je na slici 4. Formacija VORG-a je mirnodopska i hijerarhijska po vertikali. Upravljačka struktura nadzire prvenstveno rad izvršnih struktura, a čini je kolegijum, koji (može da) ima asistenta. Izvršnu strukturu čine osobe koje nadziru rad neposrednih izvršilaca, međusobno sarađuju i u komunikaciji su sa nadređenima.

Bitna karakteristika VORG-a je nefleksibilnost. Međutim, i pored teško promenljivih karakteristika ove organizacije, moguće je interno, bez narušavanja hijerarhije, raspodeliti zadatke tako da IT sistem bude funkcionalan, resursi bolje nadgledani, dokumentacija kvalitetna, a kadar manje opterećen.



Slika 4 – Struktura organizacije V**ORG**
Figure 4 – Structure of the V**ORG** organization

Za organizaciju VORG, okruženje, u strukturi inteligentnog agenta sa slike 1, je svaka aktivnost ka pretpostavljenim komandama i potčinjenim jedinicama (za koju važi princip subordinacije). U tom smislu su opažanje i aktivnosti prema okruženju jedinstveno definisani, ali je ostatak organizacije VORG moguće modifikovati. U primeru su, iz tog razloga, agentu edukacije dodeljene funkcije uspostavljanja, nadogradnje i modifikacije sistema organizacije.

Funkcije i struktura organizacije VORG – početno stanje i osnovne aktivnosti agenta edukacije

Funkcije organizacije VORG su:
– implementacija i održavanje IT sistema,
– saradnja sa privrednim organizacijama i
– naučnoistraživački rad.

Struktura organizacije VORG ima sledeći oblik (slika 4.):

– *upravljačka struktura* – kolegijum. Funkcije upravljačke strukture su organizaciono-naredbodavne;

– *asistent upravljačke strukture* - koordinator između upravljačke i izvršnih struktura. Potrebno je da osoba dobro poznaje strukturu i funkcije organizacije, da poseduje tehnička i organizaciona znanja i da bude spremna za rad u uslovima povećanog psihološkog pritiska;

– *Izvršna struktura 1* (saradnik za edukaciju) – osoba najvišeg naučnog ranga zadužena za naučno usavršavanje, proveru znanja i komunikaciju sa naučno-stručnim ustanovama i organizacijama;
– Izvršna struktura 2 (opšti poslovi)
– *neposredni izvršioci 1* – odsek za obradu dokumenata,
– *neposredni izvršioci 2* – odsek za održavanje resursa;
– *Izvršna struktura 3* (Odeljenje za realizaciju)
– *neposredni izvršioci 3* – odsek za informaciono-komunikacione sisteme,
– *neposredni izvršioci 4 i 5* – odsek za saradnju s naučnim ustanovama i privrednim organizacijama.

Vanredni događaji – izvori krize

– Izvori krize za agenta indikatora stanja:
– neadekvatna reakcija automatskih indikatora promena okruženja i loša informaciono-komunikaciona struktura,
– neadekvatan izbor (programski) ponuđenih opcija jer:
– ne postoje procedure za reakciju na incident,
– postoji prevelik broj procedura za reakciju na incident.
– Izvori krize za agenta menadžmenta:
– loša komunikacija (human-computer),
– loša procena vrste kriznog događaja,
– neznanje.
– Izvori krize za agenta edukacije:
– neadekvatna reakcija na incidente,
– loša komunikacija i edukacija,
– neadekvatno odlučivanje.

Kriza izazvana neadekvatnom reakcijom na pojavu incidenata

Brzina reakcije na pojavu incidenata bitna je kod svake funkcije u organizaciji, a vrsta reakcije zavisi od kvaliteta automatskih sistema i sposobnosti kadra da se „snađe“ u datoj situaciji. Neki incidenti ne izazivaju krizu organizacije ali remete dnevne funkcije (npr. kašnjenje), dok je brzina reakcije kadra izuzetno bitna kod npr. zastoja rada IT sistema.

Pitanje 1: kako smanjiti uticaj neadekvatne reakcije primenom agenta edukacije?

Kod agenta edukacije koriste se povremene najavljene ili nenajavljene provere brzine i kvaliteta reakcije na incident, što se izvodi simulacijom kriznih događaja (za organizaciju VORG to se uglavnom odnosi na neposredne izvršioce 2 i 3), i predstavlja osnovnu aktivnost agenta indikatora stanja.

Kriza izazvana lošom komunikacijom i edukacijom

Kod organizacija sa nefleksibilnom hijerarhijom neposredni izvršioci su u obavezi da poštuju pravila subordinacije. Iz tog razloga oni treba da budu obučeni da prepoznaju incidente, i da znaju kome i kako treba da se obrate. Interno treba odrediti kada je dozvoljeno preskočiti hijerarhijske nivoe i kako se obratiti direktnim pristupom nadređenima sa viših hijerarhijskih nivoa. Tokom pripreme za reakciju na krizu, definiše se matrica prioriteta koja određuje procedure i podelu odgovornosti u slučaju krize. Ova matrica je deo agenta menadžmenta i biće aktivirana u slučaju krize.

Pitanje 2: kako smanjiti uticaj neadekvatne edukacije i loše komunikacije na pojavu krize primenom agenta edukacije?

Prvenstveno treba smanjiti pretnje i rizike koji mogu izazvati krizu, što je obaveza organizacije (postavljanje početnog stanja agenta edukacije), a podrazumeva procenu osetljivosti organizacionog sistema, prevenciju i pripremu reakcije na krizu, kako bi kriza bila sprečena pre nego što eskalira. U primeru, agent edukacije je oslonjen na agenta menadžmenta; razmenu informacija obezbeđuje uglavnom komunikacija između načelnika izvršne strukture 3 i asistenta upravljačke strukture, kako bi podaci bez suvišnih detalja bili prosleđeni kolegijumu. Takođe, sistematizacija informacija o pojavi, eskalaciji i prestanku krize utiče na kratkoročno i dugoročno učenje i osigurava promene matrica za minimizaciju informacija, odnosno izbor početnog stanja onog dela agenta edukacije koji je određen agentom menadžmenta.

Kriza izazvana neadekvatnim odlučivanjem

Neadekvatno odlučivanje vezano je mahom za upravljački i izvršni kadar, posebno u situacijama kada je reakcija čoveka primarna u borbi protiv krize. Poslovično, greške u odlučivanju prenose se i na sve funkcije u organizacionom sistemu, pa je potrebno da osobe, koje imaju pravo da donose odluke, budu dovoljno edukovane i svesne da, u kriznim situacijama, odlučivanje prepuste kriznim timovima.

Pitanje 3: kako smanjiti uticaj neadekvatnog odlučivanja na pojavu krize primenom agenta edukacije?

U slučaju da je edukacija nasumična ili stihijska dolazi do rasipanja i resursa i znanja. Funkcije agenta edukacije u ovom slučaju su obučavanje, nadzor i provera upravljačkog i izvršnog kadra, monitoring rada i komunikacija sa okruženjem, kako bi takve pojave bile sprečene. I u ovom slučaju potrebno je proveravanje kadra, što ne podrazumeva isključivo reakciju na krizu već i donošenje odluka tokom krize. Naime, neophodno je da odgovorne osobe budu proverene i dokazane u struci, tako da njihov rad ocene akreditovani stručnjaci. Jedan od načina za proveru odgovorne osobe jeste uvođe-

nje rokova ili mandata u kojima je tačno određeno šta su zahtevi koje ove osobe treba da ispune. U slučaju organizacije VORG upravljačka struktura ima obavezu domaće i inostrane saradnje sa sličnim organizacijama, potrebno je da stečena iskustva i znanja prenose personalu, treba da stimulišu inicijativu, utiču na obučavanje i doobučavanje kadra u skladu sa poslovima koje treba izvršavati, neophodno je da prate zakonske odredbe, poslovne trendove, pojavu i primenu standarda itd., i da, u skladu sa navedenim, utiču na promene organizacione strukture, IT sistema, poslovne politike itd.

Zaključak

Uticaji ljudskih i sistemskih grešaka u poslovanju mogu usporiti ili zaustaviti radne procese i izazvati krize. Krize variraju po intenzitetu, trajanju i posledicama, ali uvek gradiraju i predstavljaju lančanu reakciju na incident. Obrazovanje ljudi, povremena provera njihovih radnih sposobnosti i pravilno postavljen organizacioni sistem osnova su kvalitetne reakcije na krizu. I pored toga, moguće su ljudske ili sistemske greške, koje može sprečiti agent edukacije. Agent edukacije je sistem za nadzor i odlučivanje kojeg čine agent menadžmenta, tj. upravljački proces, i agent indikatora stanja, tj. sistem za brzu reakciju na incident. Treba uzeti u obzir da, iako je agent edukacije samostalan entitet, njegove funkcije zavise od uticaja čoveka. Za razliku od drugih sistema, agent edukacije poseduje karakteristike brzog donošenja odluka na osnovu definisanih početnih uslova i metoda za smanjenje broja dostupnih informacija u toku krize. U opštem slučaju edukaciju čine uspostavljanje, održavanje, nadogradnja IT sistema i obučavanje personala, pa je agent edukacije realizovan tako da zadovolji ove četiri funkcije. Strukturno, agenta edukacije čine softver i/ili hardver, a njegovo funkcionisanje određuju početni uslovi, aktivnosti koje mogu biti redovne ili vanredne i učenje na osnovu informacija koje su dobijene u toku krize.

Izvori krize u organizacionim sistemima su različiti a u slučaju agenta edukacije mogu se svrstati u tri grupe: neadekvatna reakcija na incidente, loša komunikacija i edukacija i neadekvatno odlučivanje, što je podrobnije opisano kroz primer višenivovske, hijerarhijske organizacije VORG.

Literatura

[1] Zerener, M., Sezgin, M., and Hasiloglu S. B., *Strategic Utilization of IT Corporate Crisis Management: the Empirical Study on Textile and Automotive Suppliers Sectors*, International Journal of Business and Management Vol. 4, No. 1, 2009.

[2] Booth, S. A., *Crisis management strategy-competition and change in modern enterprises*, London: Routledge, 1993.

[3] Macal, C. M., North, M.J., *Introduction to agent-based modeling and simulation*, MCS LANS Informal Seminar, 2006.

[4] Parsons, W., *Crisis Management*, Career Development International, Vol. 1, No. 5, str. 26-28, MCB University Press, 1996.

[5] Janson, D., Ma, E. X, Le Nhu, Q., *Small Business Failures – A study of the top-managers contribution to the failure*, Bachelor Thesis, Ch.2, str. 6-17, Jankoping University, 2008.

[6] Norifard, I., Sarhangpour, B., Talebi, M., *Crisis Management in IT-Projects*, Bachelor Thesis, Ch.3, str. 17-20, Jankoping International Business School, 2007.

[7] Macal, C. M., North, M. J., *Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: How to model with agents*, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, in Perrone, L. F., Wieland, F. P., Liu, J., Lawson, B. G., Nicol, D. M. and Fujimoto, R. M., eds., 2006.

[8] Devedžić, V., *Inteligentni informacioni sistemi*, digit, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2000.

[9] Yi-Ping Yuan, T.Y., Li, J., Xiong, F., Fang, M.L., *A multi-agent based approach for manufacturing grid workflow*, Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, str. 18-21, 2005.

[10] Gullberg, J., *Mathematics: from the birth of numbers*, New York, NY: Norton Co, 1997.

[11] Shen, W., Maturana, F., Norrie, D. H., *Learning in agent-based manufacturing systems*, From Proceedings of Artifical Inteligence and Manufacturing Workshop, 1998.

[12] Alpay, S., *Agent based dynamic job shop simulation system*, in Okuno, H.G., and Ali, M. (eds.) EA/AIE 2007, LNAI 4570, str. 364–373, Springer-Verlag, 2007.

[13] Bing, Q., Jianying, Z., *Agent-based intelligent manufacturing system for the 21st Century*, 1999.

[14] Borshchev, A., Filippov, A., *From system dynamics and discrete event to practical agent based modelling: reasons, techniques, tools*, The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, Oxford, England, 2004.

[15] Jovanović, D., *Upravljanje rizicima u proizvodnji naoružanja i vojne opreme*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 1, pp. 5-12, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2010.

[16] Karović, M., Komazec, N., *Upravljanje rizicima kao preduslov integrisanog menadžment sistema u organizaciji*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 3, pp. 146-161, Ministarstvo odbrane Republike Srbije Beograd, 2010.

[17] Cantamessa, M., *Hierarchical and heterarchical behaviour in agent-based manufacturing systems*, Computers in Industry 33, pp. 305-316, 1997.

REDUCTION OF ERROR INFLUENCE IN A CRISIS:
AGENT-BASED MODELING

FIELD: Computer Sciences (Information Technologies)
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary

Introduction

Crises caused by human or system errors vary in intensity and duration, and may cause adverse changes in the functioning of an organization. The prevention as well as a good response to incidents and fast reac-

tion to the crisis when it escalates are essential. Therefore, all decisions during the crisis must be precise and concise, and the reaction of the information and communication systems as well as that of personnel must be adequate. The agent technology described in this paper is used to model the education agent for establishing, maintaining and upgrading IT systems, as well as for the staff training. The education agent consists of an indicator of changes in the environment (status indication agent) and a management system (management agent) for the reaction to crises. Through an illustrative example of the VORG organization, the functions of these agents are described.

Causes of IT Crises

IT crises are generally caused by human or system errors. The intensity and duration of the crisis vary and cannot be predicted. Still, problems that may arise as a result of the crisis may be far-reaching for an organization. However, well educated staff and a high-quality IT infrastructure can minimize errors and reduce the consequences for the organization.

Agent-Based Modeling

An agent is a software or hardware memory-based component that can be implemented in an information system. It can independently make decisions and communicate with the environment. It also receives, processes and transmits information in accordance with existing protocols, and its validity is determined by the ability to adapt to changes. In carrying out the activities it is characterized by a certain form of intelligence, which enables the agent's response to be directed towards the realization of objectives.

Agent-Based Modeling of Education

With proper education, there is a possibility for employees to avoid some mistakes that lead to crises. However, crises can occur due to unforeseen events. If the crisis management and incident indication are the parts of a business plan, then a proper training increases resistance to human and system errors. Therefore, the management agent and the status indication agent, i.e. the education agent, are used to train personnel, make information concise and decision-making faster when a crisis hits. Moreover, the education agent also monitors, controls and upgrades IT-based systems.

The status indication agent is realized as a software module for a rapid response to the occurrence of incidents. High speed indicates a need for the selection of one of the options defined in advance in the initial phase of the education agent. The indication is based on symbolic logic. If the agent does not recognize one of possible options, it reacts by alarming the person in charge.

The management agent is a synonym for the crisis management processes. When setting the initial conditions for the management agent, it is necessary to define how and when to use the information needed in a given situation, which is performed by forming the matrix of responses to the if-then kind of questions. In that way, it is possible to reduce the duration and intensity of the crisis.

Education agent: Education includes the establishment, maintenance, upgrading IT systems and staff training. The initial settings of an organizational structure also mean that the basic parameters of an education agent and its

functions are also initalized in order to provide a proper reaction to the incident and, consequently, the crisis. As a part of the education agent, the status indication agent is used to notify and recognize incidents, while a proper reaction to the crisis is a function of the management agent. After the crisis ends, the education agent is used to return the operational capabilities and make changes in the organizational structure.

Example of an Error Impact Reduction for the Vorg Military Organization

THE VORG, AN imaginary military organization, is a three-level structure consisting of managers, executives and employees. The VORG's functions include implementing new IT systems and maintaining the existing ones, co-operating with other organizations and scientific research. In that way, the sources of crises in the VORG can be inadequate response to incidents, poor communication and education following the inadequate decision-making.

The crisis caused by an inadequate response to the occurrence of incidents: The reaction to the occurrence of incidents is important for each function in the organization. A reaction to the crisis depends on the quality of IT systems, and the way the employees cope with crises. In this case, the education agent functions are primairly a periodic check up (announced or unannounced) on the employees and the incident-response systems as well.

The crisis caused by an inadequate communication and education: In organizations with an inflexible hierarchy, the employees have to recognize a crisis, but they are also required to respect the rules when addressing the superiors. An organization has to be prepared for the events that could cause a crisis. This is enabled by the initial state activities. In this example, the education agent is used to forward only important information to the collegium.

The crisis caused by an inadequate decision making: Decision making is mostly related to the supervisors and the executive staff. During the crisis it is necessary that the supervisors let the emergency teams make decisions. It is also essential that the decision-making staff is tested and that their work is revised by accredited experts. One way of checking the competence is to introduce certain deadlines and demands for the personnel that should be a part of the top management.

Conclusion

Many different errors can cause crises that vary in intensity, duration and consequences. Educating staff, checking their skills and a qualitative structure of an organization represent the basis of a quick and accurate response to a crisis. Nevertheless, human errors as well as system failures may happen. These errors can be prevented by the functions of the education agent which consists of a status indication agent and a management agent. The education agent is realized as a software or hardware-based module which functions at a basis for the IT system activities before, during and after the crisis. The causes of crises are inadequate responses to the occurrence of incidents, inadequate communication and education as well as inadequate decision making, which is explained in details in the illustrative example of the VORG *organization.*

Key words: *agent-based modeling, information systems, error influence in modeling, crisis*

Datum prijema članka: 13. 06. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 16. 07. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 17. 07. 2011.

A NEW GUIDANCE LAW FOR A TACTICAL SURFACE-TO-SURFACE MISSILE

Ćuk V. *Danilo*, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Department for Weapon Systems, Belgrade,

Abobaker H. S. *Mostafa*, University of Azawia, Faculty of Engineering, Aeronautical Department, Azawia, Libya,

Mandić D. *Slobodan*, Ministry of Defence, Military Technical Institute, Division for Rocket Dynamics, Belgrade

FIELD: Aeronautical and Space Engineering

ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

Modern tactical surface-to-surface missiles, equipped with strap-down inertial navigation systems, achieve very good accuracy compared with free-flight rockets. The probable range dispersion mainly depends on instruments errors and longitudinal disturbances such as rocket motor total-impulse deviation as well as differences between the estimated and actual values of the axial force and head wind. This paper gives an extension of the correlated velocity concept for surface-to-surface missiles without a thrust-terminating mechanism. The calculated parameters of the correlated velocity are stored into the memory of an onboard guidance computer. On the basis of the correlated velocity concept, the modified proportional navigation with the adjustment of the time-to-go of the missile to the target was proposed. It is shown that the new guidance law can compensate for the longitudinal disturbances of different levels successfully. The effectiveness of the proposed guidance method was confirmed by means of the calculated probable range and lateral dispersion for the anticipated disturbances in the guidance system.

Key words: *Guidance Law, Surface-to-Surface Missile, Correlated Velocity, Proportional Navigation,"Six-Degree-Of-Freedom" Model*.

Introduction

Free flight rockets exhibit high impact point dispersion at ranges longer than 50 km. The range accuracy of 1% is possible for free flight rockets using modern technologies, but this performance cannot be accepted even for the area weapons with a range of 120 km. A more significant improvement in accuracy is achieved if the rocket is equipped with

an appropriate guidance and control system. The different control systems for a rocket with a range of 120 km were studied in Ref. 1. It was shown that the rocket with a strapdown inertial navigation system (SDINS) and a flight path angle control system can easily attain the circular error probable of 4 mils for the total-impulse tolerances of $\pm 2\%$. Depending on the total-impulse deviation, the prescribed values for the velocity vector angle should be corrected with an appropriate function. This is a disadvantage of the method because the correction of the flight path angle was defined by the author through the computation by trial and error.

The nominal trajectory tracking control law was applied in Ref. 2 for a direct fire short range rocket to reduce impact point dispersion using a lateral pulse jet control mechanism. This method was also used in Ref. 3 to improve accuracy of artillery rockets with a range of about 28 km. The other guidance laws applied to a direct fire rocket such as proportional navigation and parabolic and proportional navigation guidance have been studied in Ref. 4. A low cost guidance for a multiple launch rocket system was described in Ref. 5 with a goal to attain the required accuracy for both area and point–hit rockets. In the vertical plane, flight path steering and instantaneous impact point prediction was applied. A proportional navigation method was implemented to eliminate lateral errors. The impact point dispersion was reduced to a level lower than 4 mils at a range of 49.5 km.

In the case of a surface-to-surface missile (SSM) with SDINS, the dominant errors are total-impulse deviations, thrust and aerodynamic misalignment, inertial sensors errors (scale factor and bias errors), mal-launch, initial conditions (position and alignment), target location errors, wind and density disturbances, and aerodynamic coefficients deviations (axial and normal force errors). It was shown in Ref. 1 that disturbances in a cross-flow plane (for example, thrust and aerodynamic misalignment, or side wind) can be compensated successfully. This does not apply to disturbances acting in the longitudinal axis (total-impulse deviations, axial force differences, and head wind). The dispersion of unguided artillery rockets with extended range has been studied in Ref. 6.

The modifications of proportional navigation guidance for the application to a cannon-launched projectile and a gyro-stabilized projectile were presented in Refs. 7 and 8, respectively.

The purpose of this paper is to study a new guidance law for SSM with SDINS in terms of their ability to cope with longitudinal disturbances. Therefore, the concept of the correlated velocity, given in Refs. 9 and 10, will be extended for a missile without a thrust-terminating mechanism. The obtained data are fed into the guidance law to generate a demanded acceleration. The new guidance method, named here the correlated velocity proportional navigation guidance (CV PNG), is analyzed using a probable range and lateral dispersions as well as the maximum longitudinal disturbances that could be neutralized by means of aerodynamic controls.

Computation of the correlated velocity

The correlated velocity is defined to be a vector required by the missile at the specified position and time to achieve the position of the target for a given value of the total flight time. This velocity is usually required by the missile at burnout in order to hit a given target after free flight in the vacuum. In this paper the concept of the correlated velocity or the required velocity is extended to the flight of a SSM through the atmosphere when a thrust-terminating mechanism does not exist. The numerical procedure for the determination of the correlated velocity is developed for the passive flight of the missile in the presence of aerodynamic forces, while for the powered flight the nominal thrust versus time is included as well. The constraints for the computation of the correlated velocity are: the position of the missile coincides with that of the target ($\mathbf{r} = \mathbf{r}_T$) at the end its mission, and the total time of flight is equal to the given value t_{Tf} .

In the case of a SSM the mission is completely defined before launch and a nominal (reference) trajectory is available. The reference trajectory may be realized as a ballistic or controlled flight. The deviation of the missile from the reference trajectory is assumed to be small, so that the linear theory can be employed to generate the correlated velocity at the specified point in the space. Most of the computation for the correlated velocity is done before the mission. This concept is known as the implicit guidance.

The reference trajectory of the missile is in the vertical plane determined by the missile and target position vectors ($\mathbf{r}, \mathbf{r}_T$). Motions out of the reference trajectory plane are not considered for the present. Two components of the correlated velocity should be determined and the third one in the horizontal plane is equal to zero.

In order to compute the correlated velocity, the six-degree-of-freedom mathematical model is applied and all the necessary phenomena for the unperturbed motion are included. The parameters of the missile at the beginning of the ballistic flight (at an arbitrary control point) are denoted with the subscript 0.

Computation by the ground based computer

The position of the missile with respect to the Earth is given with cylindrical coordinates. If the initial velocity $\boldsymbol{V}_0$ for $t = t_0$ is chosen in such a way that the missile flies to the target after the time t_{Tf} , we say that this

velocity is equal to the correlated velocity (Fig. 1). The following equation can be written:

$$\mathbf{r}_T\left(t_{Tf}\right)-\mathbf{r}\left(\mathbf{r}_0,\mathbf{v}_0,\,t_0,\,t_{Tf}\right)=0 \tag{1}$$

where: $\mathbf{r}_T=\left[x_T \quad h_T\right]^T$, $\mathbf{r}_0=\left[x_0 \quad h_0\right]^T$, and $\mathbf{v}_0=\left[V_0 \quad \gamma_0\right]^T$ are the coordinates of the target and the missile, and the velocity of the missile on the nominal trajectory for $t=t_0$. Having in mind $\mathbf{v}_0=\mathbf{v}_c$, Eq. (1) may be rewritten:

$$\mathbf{r}_T\left(t_{Tf}\right)-\mathbf{r}\left(\mathbf{r}_0,\mathbf{v}_c,t_0,t_{Tf}\right)=0 \tag{2}$$

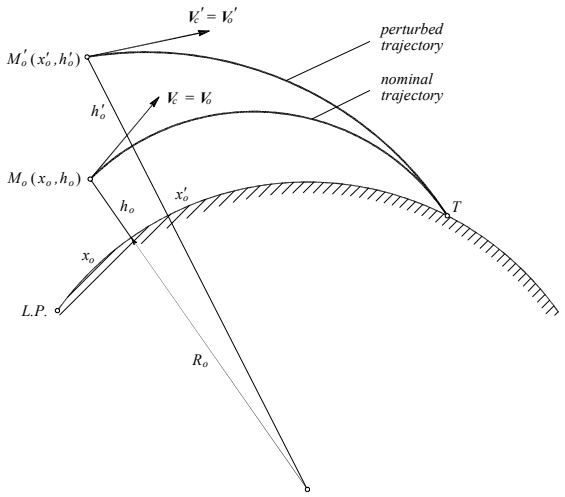


Figure 1– Correlated velocity for the reference and the perturbed trajectory.

In the case of the perturbed motion, the missile is at the position M_0' for $t=t_0'$ (Fig. 1), where the new correlated velocity vector $\mathbf{v}_c'$ can be found to satisfy

$$\mathbf{r}_T\left(t_{Tf}\right)-\mathbf{r}\left(\mathbf{r}_0',\mathbf{v}_c',t_0',t_{Tf}\right)=0 \tag{3}$$

The second term in Eq. (3) can be developed into Taylor's series with respect to the reference trajectory (point M_0)

$$\mathbf{r}_T\left(t_{Tf}\right)-\mathbf{r}\left(\mathbf{r}_0,\mathbf{v}_c,t_0,t_{Tf}\right)-\left[\frac{\partial\mathbf{r}}{\partial\mathbf{r}_0}\Delta\mathbf{r}_0+\left(\frac{\partial\mathbf{r}}{\partial\mathbf{v}_c}\right)\Delta\mathbf{v}_c+\left(\frac{\partial\mathbf{r}}{\partial t_0}\right)\Delta t_0\right]=0 \tag{4}$$

where the partial derivatives are given for the parameters of the nominal trajectory

$$\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{r}_0}=\begin{bmatrix}\frac{\partial x}{\partial x_0} & \frac{\partial x}{\partial h_0}\\ \frac{\partial h}{\partial x_0} & \frac{\partial h}{\partial h_0}\end{bmatrix},\ \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t_0}=\begin{bmatrix}\frac{\partial x}{\partial t_0}\\ \frac{\partial h}{\partial t_0}\end{bmatrix},\ \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{v}_c}=\begin{bmatrix}\frac{\partial x}{\partial V_c} & \frac{\partial x}{\partial \gamma_c}\\ \frac{\partial h}{\partial V_c} & \frac{\partial h}{\partial \gamma_c}\end{bmatrix}$$

$$\Delta\mathbf{r}_0=\mathbf{r}_0'-\mathbf{r}_0=\begin{bmatrix}x_0'-x_0\\ h_0'-h_0\end{bmatrix},\ \Delta\mathbf{v}_c=\mathbf{v}_c'-\mathbf{v}_c=\begin{bmatrix}V_c'-V_c\\ \gamma_c'-\gamma_c\end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\Delta t_0=t_0'-t_0$$

The partial derivatives are approximated using the numerical procedure, for example

$$\frac{\partial x}{\partial x_0}=\frac{x\left(x_0+\Delta x,h_0,V_c,\gamma_c,t_0,t_{Tf}\right)-x\left(x_0,h_0,V_c,\gamma_c,t_0,t_{Tf}\right)}{\Delta x} \tag{6}$$

The differential correction for the correlated velocity can be found from Eq. (4) under the condition Eq. (2)

$$\Delta\mathbf{v}_c=-\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{v}_c}\right)^{-1}\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{r}_0}\right)\Delta\mathbf{r}_0-\left(\frac{\partial r}{\partial \mathbf{v}_c}\right)^{-1}\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t_0}\right)\Delta t_0 \tag{7}$$

Using new notations

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathbf{v}_c}{\partial \mathbf{r}_0}&=-\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{v}_c}\right)^{-1}\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{r}_0}\right)\\ \frac{\partial \mathbf{v}_c}{\partial t_0}&=-\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial \mathbf{v}_c}\right)^{-1}\left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t_0}\right)\end{aligned} \tag{8}$$

gives the formula for the differential correction of the correlated velocity

$$\Delta\mathbf{v}_c=\frac{\partial \mathbf{v}_c}{\partial \mathbf{r}_0}\Delta\mathbf{r}_0+\frac{\partial \mathbf{v}_c}{\partial t_0}\Delta t_0=\begin{bmatrix}\Delta V_c\\ \Delta\gamma_c\end{bmatrix} \tag{9}$$

Since the correlated velocity is defined in terms of its magnitude V_c and the flight path angle in the vertical plane γ_c, the Q-matrix is presented with

$$\mathbf{Q}=\frac{\partial \mathbf{v}_c}{\partial \mathbf{r}_0}=\begin{bmatrix}\frac{\partial V_c}{\partial x} & \frac{\partial V_c}{\partial h}\\ \frac{\partial \gamma_c}{\partial x} & \frac{\partial \gamma_c}{\partial h}\end{bmatrix} \tag{10}$$

The developed formula for the correction of the correlated velocity requires the Q-matrix which links a differential change in the missile position vector to a corresponding change in the correlated velocity for the fixed target

and the constant total time of flight. The second term in Eq. (9) represents the influence of the perturbation in the initial time on the change of the correlated velocity. The correlated velocity at the point M_0' of the perturbed trajectory is derived on the basis of its vector at M_0 on the nominal trajectory

$$\mathbf{v}_c' = \mathbf{v}_c + \Delta\mathbf{v}_c \tag{11}$$

The output data of the numerical algorithm for the correlated velocity in *n* control points of the reference trajectory, generated by the ground based computer, are

$$t_i, \mathbf{r}_i, \mathbf{v}_{c_i}, \mathbf{Q}_i = \left(\frac{\partial \mathbf{v}_c}{\partial \mathbf{r}_0}\right)_i, \quad i = 1,2,3,...n \tag{12}$$

where t_i - the time of flight, $\mathbf{r}_i$ - the column matrix of the missile position in the vertical plane defined by cylindrical coordinates, $\mathbf{v}_{c_i}$ - the column matrix of the correlated velocity in the vertical plane defined with the magnitude and the angle, $\mathbf{v}_{c_i} = \left[V_{c_i} \quad \gamma_{c_i}\right]^{\mathrm{T}}$, the Q_i - matrix that links a differential change in the missile position to the corresponding change in the correlated velocity in the vertical plane. This set of computed data for each control point on the reference trajectory is stored in the memory of the onboard computer.

Computation by the onboard computer

The position of the missile (M) at the time *t* is determined with $\mathbf{r} = \left[x \quad z\right]^{\mathrm{T}}$ shown in Fig. 2. The corresponding point on the reference trajectory (M') for the same time is determined with

$$\mathbf{r}' = \left[x' \quad z'\right]^{\mathrm{T}} = \mathbf{r}^*(t) \tag{13}$$

where the star denotes the reference trajectory and the coordinates of M' are obtained by linear interpolation of data given at the control points.

The correlated velocity at M' is also found by the linear interpolation of data in Eq. (12)

$$\mathbf{v}_c' = \left[V_c' \quad \gamma_c'\right]^{\mathrm{T}} = \mathbf{v}_c^*(t) \tag{14}$$

The position of the missile with respect to the reference trajectory is transformed in the frame that is fixed to the correlated velocity $\boldsymbol{V}_c'$

$$\mathbf{e} = \left[e_x \quad e_z\right]^{\mathrm{T}} = \mathbf{C}_v(\gamma_c')\Delta\mathbf{r}' \tag{15}$$

where

$$\Delta\mathbf{r}' = \mathbf{r}' - \mathbf{r} = \begin{bmatrix} x' - x & z' - z \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} \tag{16}$$

$$\mathbf{C}_v(\gamma_c') = \begin{bmatrix} \cos\gamma_c' & -\sin\gamma_c' \\ \sin\gamma_c' & \cos\gamma_c' \end{bmatrix} \tag{17}$$

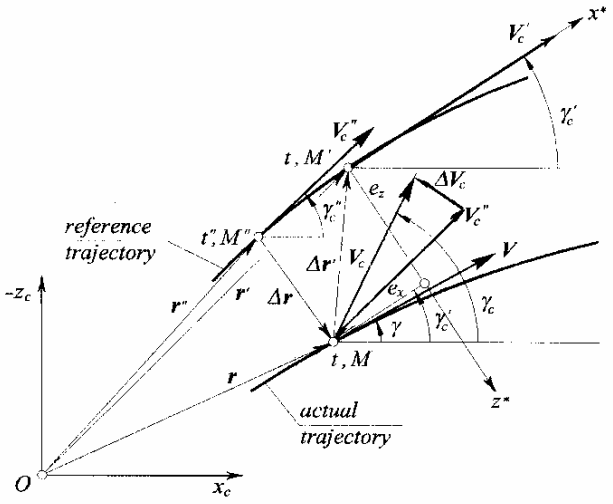


Figure 2 – Geometry of the guidance errors in the vertical plane.

If the missile is behind and below the point M', $e_x > 0$ and $e_z > 0$. Using the approximation that the point $M''(-e_x, 0)$ is on the reference trajectory (Fig. 2), we can determine its position in the cylindrical reference frame and the corresponding correlated velocity:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}'' &= \mathbf{r}^*(t'') \\ \mathbf{v}_c'' &= \mathbf{v}_c^*(t'') \end{aligned} \tag{18}$$

where

$$\begin{aligned} t'' &= t - \Delta t'' \\ \Delta t'' &= \frac{e_x}{V_c'} \end{aligned} \tag{19}$$

The concept of the correlated velocity gives the following identities (see Fig. 2):

$$\mathbf{r}(\mathbf{r}', \mathbf{v}_\mathbf{c}', t, t_{Tf}) = \mathbf{r}_T \tag{20}$$

$$\mathbf{r}(\mathbf{r}'', \mathbf{v}_c'', t - \Delta t'', t_{Tf}) = \mathbf{r}(\mathbf{r}'', \mathbf{v}_c'', t, t_{Tf} + \Delta t'') = \mathbf{r}_T \tag{21}$$

Since $t_{Tf} - (t - \Delta t'') = (t_{tf} + \Delta t'') - t$, the correlated velocity at the actual position of the missile is computed as:

$$\mathbf{v}_c(\mathbf{r}, t, t_{Tf} + \Delta t'', \mathbf{r}_T) = \mathbf{v}_c(\mathbf{r}'', t, t_{Tf} + \Delta t'', \mathbf{r}_T) + \Delta\mathbf{v}_c \tag{22}$$

$$\Delta\mathbf{v}_c = \mathbf{Q}(\mathbf{r}'', t, t_{tf} + \Delta t'', \mathbf{r}_T)(\mathbf{r} - \mathbf{r}'') \tag{23}$$

The **Q**-matrix is calculated using the linear interpolation of data given in Eq. (12)

$$\mathbf{Q}(\mathbf{r}'', t, t_{tf} + \Delta t'', \mathbf{r}_T) = \mathbf{Q}^*(t'') \tag{24}$$

The point M'' in Fig. 2 is estimated in such a way that its correlated velocity corresponds to the new value of the total time of flight $t_{tf} + \Delta t''$.

The concept of the correlated velocity can be extended to the missile which does not have a thrust–terminating mechanism, but the automatic adjustment of the total time of flight is required according to the suggestion in this paper.

The basic functions of the onboard computer in the determination of the correlated velocity vector and the deviation of the missile from the reference trajectory are shown in Fig. 3. Instead of using the missile's actual position ($\mathbf{r}$), the input vector in the block diagram is obtained from SDINS ($\tilde{\mathbf{r}}$).

The flight path angle of the correlated velocity in the horizontal plane

$$\chi_c = -\tan^{-1}\frac{y}{x_T - x} \tag{25}$$

where *y* is the deviation of the missile from the reference trajectory plane, *x* the range of the missile in the cylindrical frame and x_T is the range of the target.

Guidance System Presentation

In the case of a tactical SSM the application of the proportional navigation is adopted to the concept of the correlated velocity. The line of sight is the arc length from the missile current position M to the target T, shown in Fig. 4. The closing velocity is equal to the correlated velocity. If there is no perturbation, the missile flies along the arc s with the correlated velocity V_c. However, if the actual velocity is deflected from the correlated velocity, it is necessary to generate the normal acceleration that is proportional to the line-of-sight rate:

$$f_{zd} = N' V_c \dot{\lambda} \tag{26}$$

where N' is the effective navigation ratio [11-12], V_c is the closing velocity (in this case the magnitude of the correlated velocity), and $\dot{\lambda}$ is the line-of-sight rate defined as

$$\dot{\lambda} = \frac{V\sin(\gamma_c - \gamma)}{s} \approx \frac{V(\gamma_c - \gamma)}{s} \tag{27}$$

The arc length *s* can be approximated with

$$s \approx \frac{ds}{dt} t_{go} = V_c t_{go} \tag{28}$$

where the time-to-go is

$$t_{go} = (t_{Tf} + \Delta t'') - t \tag{29}$$

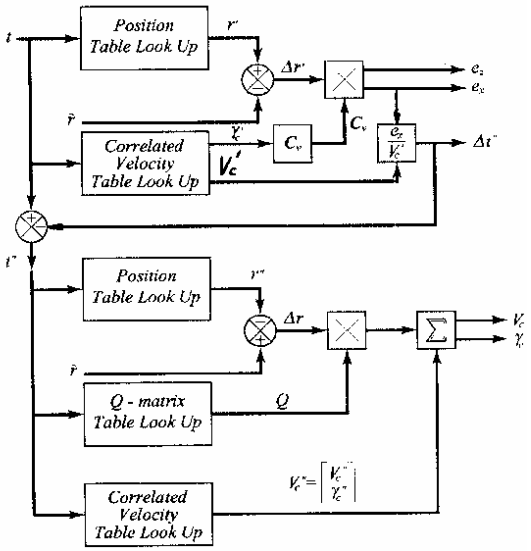


Figure 3 – Onboard computation of the correlated velocity

Substitution of Eq. (27) with Eqs. (28) and (29) into Eq. (26) yields the demanded acceleration in the vertical plane

$$f_{zd} = \frac{N'\tilde{V}(\gamma_c - \tilde{\gamma})}{(t_{Tf} + \Delta t'') - t} \tag{30}$$

The demanded acceleration in the horizontal plane is given by

$$f_{yd} = \frac{N'\tilde{V}\cos\tilde{\gamma}(\chi_c - \tilde{\chi})}{(t_{Tf} + \Delta t'') - t} \tag{31}$$

where the flight path angle of the correlated velocity χ_c is determined in Eq. (25).

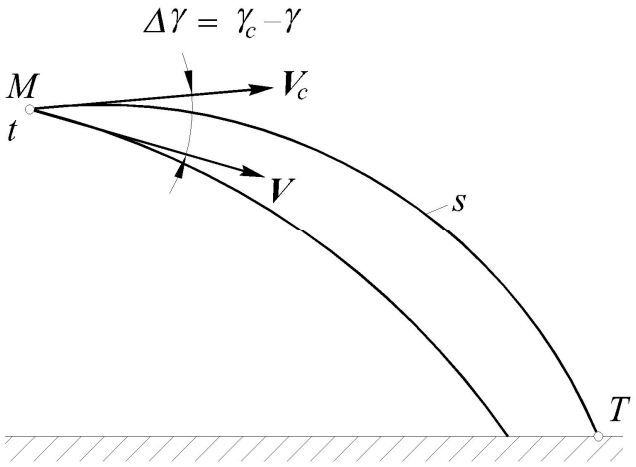


Figure 4 – Geometry of proportional navigation in the vertical plane.

Control system presentation

The control system used in a tactical SSM is a typical autopilot with three rotational channels: pitch, yaw, and roll subsystems. A roll stabilized missile is considered. The lateral autopilot receives demanded accelerations from the guidance computer, presented in the previous section, and processes them to the demanded deflections of the aerodynamic control surfaces of pitch (η_d) and yaw (ς_d) channels. Both the pitch and yaw channel are composed of three loops: rate, synthetic stability and lateral acceleration. The equations for the computation of the demanded control deflections are as follows:

Pitch channel

$$\begin{aligned} i_z' &= K_{ac}^{(1)}\left(\frac{1}{k_{ac}^{(1)}} f_{zd} - \tilde{f}_z\right) + \tilde{q} \\ i_z &= \int i_z' dt \\ \eta_d &= K_r^{(1)}\left(K_i^{(1)} i_z + \tilde{q}\right) \end{aligned} \tag{32}$$

Yaw channel

$$\begin{aligned} i_y' &= K_{ac}^{(2)}\left(-\frac{1}{k_{ac}^{(2)}} f_{yd} + \tilde{f}_y\right) + \tilde{r} \\ i_y &= \int i_y' dt \\ \zeta_d &= K_r^{(2)}\left(K_i^{(2)} i_y + \tilde{r}\right) \end{aligned} \tag{33}$$

Roll channel

$$\xi_d = -\left[K_\phi \left(\phi_d - \tilde{\phi} \right) - K_p \tilde{p} \right] \tag{34}$$

The input signals are obtained from the inertial navigation system: $\tilde{f}_z, \tilde{f}_y$ - specific forces in the pitch and yaw channels, $\tilde{q}, \tilde{r}$ - the pitch and yaw rates, $\tilde{\phi}, \tilde{p}$ - the roll angle and rate. The parameters of the control system ($K_{ac}^{(i)}, k_{ac}^{(i)}, K_i^{(i)}, i = 1,2$) for the lateral autopilot and K_ϕ, K_p for the roll autopilot were determined using classical design methods presented in Refs. [13-14], for example.

The missile uses the actuator unit with four independent actuators for moving four aerodynamic surfaces. The positive deflections of the fins are shown in Fig. 5.

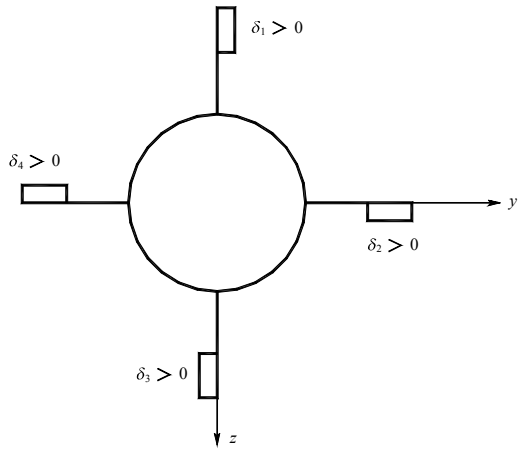


Figure 5 – Positive deflections of the fins (rear view).

The demanded values of the aileron (ξ_d), the elevator (η_d) and the rudder (ς_d) deflections are transformed to the demanded angle of each fin:

$$\begin{aligned} \delta_{2d} &= \xi_d + \eta_d \\ \delta_{4d} &= \xi_d - \eta_d \\ \delta_{1d} &= \xi_d - \varsigma_d \\ \delta_{3d} &= \xi_d + \varsigma_d \end{aligned} \tag{35}$$

The dynamics of each actuator is described with the second order differential equation:

$$\ddot{\delta}_i + 2\mu_{ac}\omega_{ac}\dot{\delta}_i + \omega_{ac}^2 \delta_i = \delta_{id}, \quad i = 1,2,3,4 \tag{36}$$

The aerodynamics coefficients were calculated in terms of the equivalent deflections of the pitch (δ_m), the yaw (δ_n), and the roll (δ_l) controls in the body reference frame:

$$\begin{aligned}\delta_m &= \frac{1}{2}(\delta_2 - \delta_4)\\ \delta_n &= \frac{1}{2}(\delta_3 - \delta_1)\\ \delta_l &= \frac{1}{4}(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4)\end{aligned} \tag{37}$$

Simulation results

In this section, we conduct simulation studies for a tactical surface-to-surface missile to demonstrate the effectiveness of the proposed guidance law CV PNG. The rocket motor burns for $\sim 7\,\mathrm{s}$ in nominal flight conditions and imparts a total-impulse of 1400 kNs to the missile. The missile leaves the launcher with a velocity of 56 m/s after 0.3 s. The maximum range of $\sim 121\,\mathrm{km}$ is achieved for the elevation angle of 55 deg after 188 s of flight. As a numerical example, the reference trajectory for the missile with nominal thrust vs. time was chosen to hit a ground target at the range of 100 km to the north from a launch point at the latitude of 45 deg. The elevation angle is equal to $\gamma_0 = 42.2332\,\mathrm{deg}$, and the correction of the zero azimuth angle to compensate the Coriolis force is equal to $\Delta A_0 = -0.28218\,\mathrm{deg}$. The total time of ballistic flight is equal to 142.084 s. The velocity of the missile is increased from 56 m/s to 1276 m/s for the nominal thrust. The results of the numerical simulation were obtained by running the Fortran computer program "GMTC6DOF - CV PNG" [15]. The control points for the calculation of the correlated velocity and the matrices of the influence coefficients were chosen for $2\,\mathrm{s} \le t \le 142\,\mathrm{s}$ with the interval of 1 s. The total time of flight was made round to $t_{Tf} = 142\,\mathrm{s}$. The parameters of the control points defined in Eq. (12) are uploaded to the computer program before the numerical simulation.

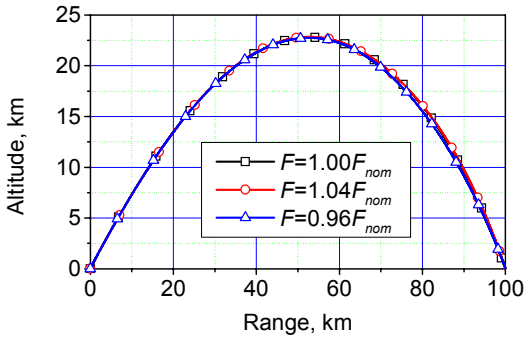
The proposed proportional navigation guidance is based on the determination of the correlated velocity for the missile without a thrust terminating mechanism. The "heading error" is estimated with respect to the arc of the trajectory as a line-of-sight. The effective navigation ratio is set to the usual value of $N' = 4$. The guidance scheme was taken from Ref. [5]. In the vertical plane, the flight path steering was used until the apogee ($t = 70\,\mathrm{s}$) to stabilize the angle of the correlated velocity. At the apogee, the guidance system is switched to the proportional navigation presented in this paper. In

the horizontal plane, the line-of-sight rate is calculated using the angle of the correlated velocity given with Eq. (25). The time-to-go is constant until the apogee and it corresponds to the value of this point. After the apogee, the time-to-go is estimated using the total time of flight and the current time of flight. At the beginning of the trajectory ($t \le 2\,\mathrm{s}$), the controlled flight stabilizes the zero demanded acceleration, and at the end of flight ($t \ge 137\,\mathrm{s}$), the missile flies with the last computed demanded acceleration.

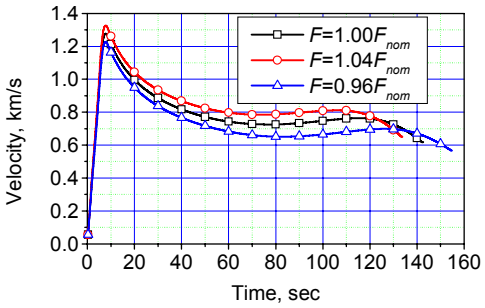
Figures 6-9 compare trajectories, velocities, flight path angles, and control deflections for the example missile with total impulse deviation of $\pm 4\%$ against the reference trajectory parameters. The total impulse deviations were realized by the multiplication of the nominal thrust with a constant factor of 1.04 or 0.96. Very good results were obtained even for the unrealistic high total-impulse deviation of $\pm 4\%$ that produces, for example, the change of the velocity (-74, +61) m/s at $t = 80\,\mathrm{s}$. If the total-impulse is increased for +4% of the nominal value, the range miss distance is 21 m (0.2 mils). In the case of the reduced total impulse for -4%, the range miss distance is 56 m, or 0.56 mils.

The results of the numerical simulation show that CV PNG can cope with high longitudinal disturbances without inserting additional terms that depend on the difference between the nominal and the measured velocity. The method of the computation of the correlated velocity and the adjustment of the total time of flight provide the compensation of the axial errors through a change of the flight path angle only. If the total impulse is increased, the total time of flight is corrected to a lower value in comparison with the nominal case as shown in Fig. 10. The opposite situation occurs for the reduced total-impulse.

In the case of a lower value of the total impulse, greater values of the control deflection and the angle of attack are required in comparison with the corresponding quantities when the total-impulse is increased (Fig. 9). It is easier to suppress a positive deviation of the total-impulse than a negative value of this rocket performance.



Figire 6 – Influence of a total-impulse deviation on the missile trajectory.



Figire 7 – Influence of a total-impulse deviation on the missile velocity

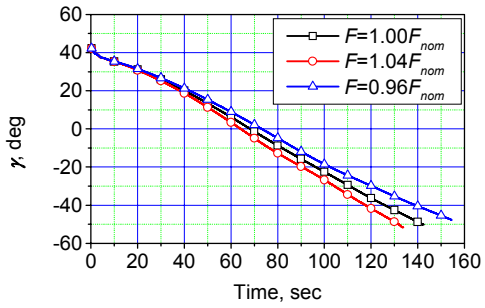


Figure 8 – Influence of a total-impulse deviation on the missile flight path angle

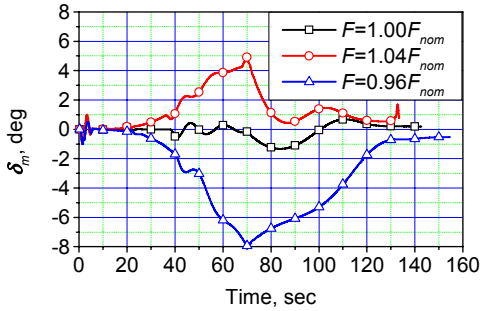


Figure 9 – Influence of a total-impulse deviation on the missile control deflection

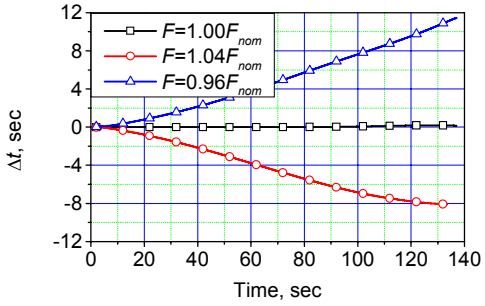


Figure 10 – Influence of a total-impulse deviation on the adjustment of the total time of flight

Figs. 11 and 12 give the comparisons between the missile velocity parameters (magnitude and flight path angle) and the correlated velocity characteristics for both reference trajectory and computed data. There is no great difference between the computed values of the correlated velocity, V_c, and those in the control points on the reference trajectory, $V_c(\mathrm{ref})$. However, in order to compensate for the increased velocity due to a thrust deviation of 4%, the diagram of the computed angle of the correlated velocity γ_c is deflected from the corresponding diagram of the reference trajectory, $\gamma_c(\mathrm{ref})$, as shown in Fig. 12. The flight path angle γ follows the diagram of the computed angle of the correlated velocity γ_c.

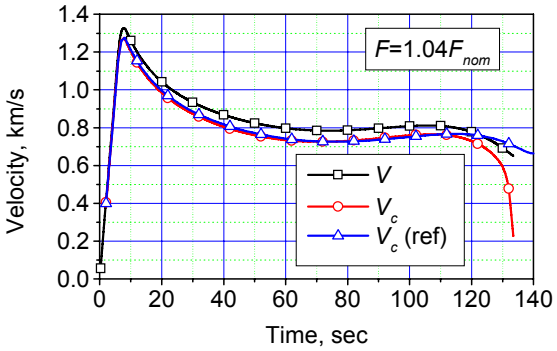


Figure 11 – Missile velocity and correlated velocity vs time.

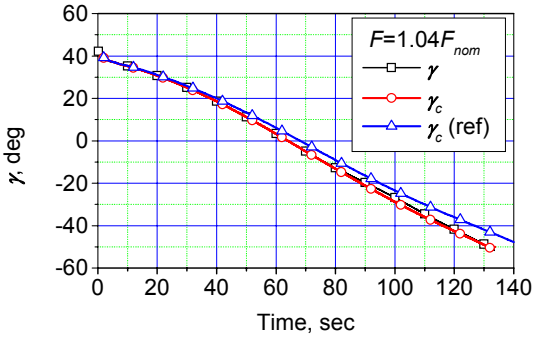


Figure 12 – Flight path and correlated velocity angles vs time.

Figs. 13-15 compare the results of the numerical simulation for CV PNG with a chosen constant total time of flight of 142 s against the diagrams obtained using a variable total time of flight adopted during the missile flight as shown in Fig. 10. In the case of the constant time of flight, the range miss distance is equal to 1.4 km, or 1.4 % of the nominal range. The evident difference between all parameters, except velocity, are present

and the generated control deflection for a constant total time of flight cannot suppress the error due to the total-impulse deviation of +4% well. For this version, there is instability in the lateral acceleration after 100 s of flight (Fig. 15) that may be the reason of the increased range miss distance.

The comparison of the results given in Figs. 13-15 proves that it is necessary to adopt the total time of flight in order to achieve a high accuracy of SSM.

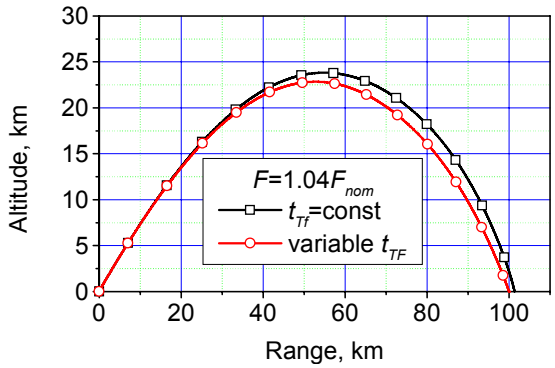


Figure 13 – Influence of the total time of flight on the trajectory.

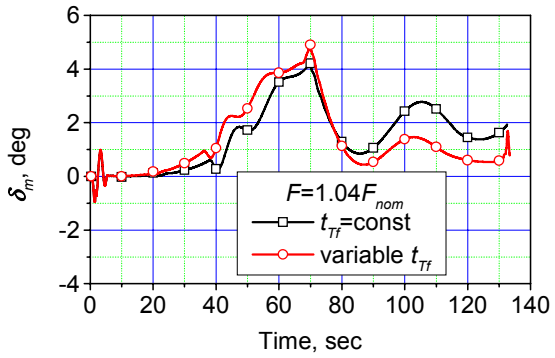


Figure 14 – Influence of the total time of flight on the control deflection.

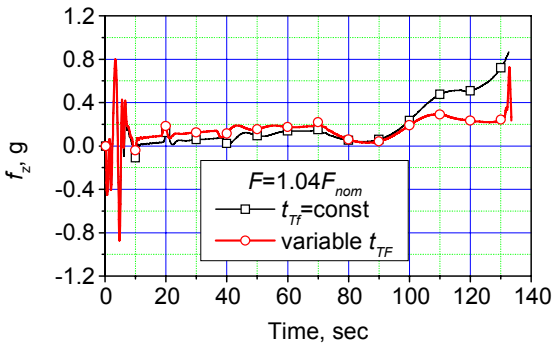


Figure 15 – Influence of the total time of flight on the lateral acceleration.

Fig. 16 compares the impact points at a range of 100 km for the missile with an ideal rocket motor, and with a thrust magnitude deviation and misalignment. The instrument errors are described with the scale factor errors and the fixed bias: 1σ of the scale factor error for both gyros and accelerometers is 0.1%, 1σ of the fixed bias for gyros is 5 deg/hour, and 1σ of the fixed bias for accelerometers is 0.5 mg. The standard deviations of the thrust for the actual rocket motor are: $\sigma_F = 2\%$ for the thrust magnitude, and $\sigma_\varepsilon = 2\,\text{mrad}$ for the thrust misalignment. All random variables are independent Gaussian random variables, except the angle of the plane of thrust misalignment that has a uniform distribution in the interval of $[0, 2\pi]$ relative to the body frame. A Monte Carlo simulation was applied on a sample size of 42 trajectories. The probable range and lateral dispersions for the missile with an ideal rocket motor are 1.25 mils and 0.41 mils, respectively. Approximately, the same parameters for the missile with simulation of the actual rocket motor were obtained. The comparison of the impact point dispersions show that the disturbances due to tolerances of a rocket motor (magnitude deviation and thrust misalignment) were suppressed with CV PNG very well. Hence, the accuracy of the missile with CV PNG depends on the accuracy of the applied instruments only.

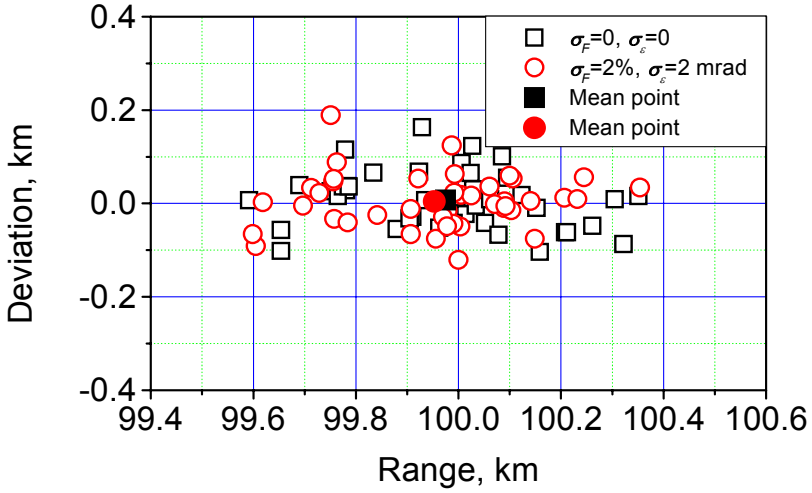


Figure 16 – Impact point dispersion of the missile.

Conclusions

The ability of the guidance law CV PNG to improve dispersion performances of SSM was demonstrated using a six-degree-of-freedom numerical simulation. The guidance errors were generated using the "measured" data from SDINS and the computation of the correlated velocity. The concept of the correlated velocity was extended to the application for a tactical surface-to-surface missile with no thrust terminating mechanism. The adjustment of the total time of flight was included in the numerical procedure for the determination of the correlated velocity.

The guidance law CV PNG can cope with lateral disturbances such as thrust misalignment and side wind successfully. The probable lateral dispersion is about 0.4 mils and it depends mainly on instruments errors. The probable range dispersion is less than 1.3 mils of the nominal range.

References

[1] Gregoriou, G., *CEP Calculation for a Rocket with Different Control System*, J. Guidance, Vol. 11, No. 3, 1988, pp. 193-198.

[2] Jitpraphai, T., and Costello, M., *Dispersion Reduction of a Direct Fire Rocket Using Lateral Pulse Jets*, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 38, No. 6,2001, pp. 929-936.

[3] Zhao, H., Wang, F., and Lin, Q., *The Investigation about Using Different Guidance Laws on Improving Impact Point Deviation of a Rocket*, *22nd* International Symposium on Ballistics, Vol. 1, National Defense Industrial Association, USA with International Ballistics Committee, Vancouver BC, Canada, 2005, pp. 81-87.

[4] Jitraphai, T., Burchett, B., and Costello, M., *A Comparison of Different Guidance Schemes for a Direct Fire Rocket With a Pulse Jet Control Mechanism*, Oregon State University, Corvallis, 2002.

[5] Gamble, A. E., and Jenkins, P.N., *Low Cost Guidance for the Multiple Launch Rocket System (MLRS) Artillery Rocket*, IEEE AES Systems Magazine, January 2001, pp. 33-39.

[6] Ćuk, D., *Influence of Range Extension on Dynamic Stability of Artillery Rockets with Wrap Around Fins*, Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik, Vol. 55, No. 3, pp. 296-307, Ministry of Defence, Belgrade, Serbia, 2007.

[7] Morrison, Ph. H., and Amberntson, D. S., *Guidance and Control of a Cannon-Launched Guided Projectile*, J. Spacecraft, Vol. 14, No. 6, pp. 328-334.

[8] Ćuk, D., *Trajectory Correction of Gyroscopic Stabilized Projectile Using Proportional Navigation*, Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik, Vol. 58, No. 1, pp. 13-32, Ministry of Defence, Belgrade, Serbia, 2010.

[9] Siouris, G. M., *Missile Guidance and Control Systems*, Springer, New York, 2004.

[10] Ćuk, D., *Choice of the Rotational Factor of the Thrust Vector for the Ballistic Missile With Lambert Guidance*, Military Technical Courier/ Vojnotehnički glasnik, Vol. 57, No. 2, pp. 133-146, Ministry of Defence, Belgrade, Serbia, 2009.

[11] Garnel, P., *Guided Weapon Control Systems*, 2nd ed., Pergamon, New York, 1980.

[12] Nesline, F. W., and Zarchan, P., *A New Look at Classical vs Modern Homing Missile Guidance*, J. Guidance and Control, Vol. 4, No. 1, 1981, pp. 78-85.

[13] Nesline, F. W. and Nesline, M. L., *How Autopilot Requirements Constrain the Aerodynamic Design of Homing Missiles*, American Control Conference Proceedings, June 1984, pp. 716-730.

[14] Ćuk, D., Mandić, S., *Comparison of Different Lateral Acceleration Autopilots for a Surface-to-Surface Missile,* Military Technical Courier/Vojnotehnički glasnik, Vol. 59, No. 3, pp. 7-28, Ministry of Defence, Belgrade, Serbia, 2011.

[15] Ćuk, D., *The program Guided Missile Trajectory Calculation by using 6 DOF Model (GMTC6DOF) and the method Correlated Velocity Proportional Navigation Guidance (CV PNG)*, 2007, cukd@eunet.rs.

NOVI ZAKON VOĐENJA ZA TAKTIČKU RAKETU ZEMLJA–ZEMLJA

OBLAST: vazduhoplovstvo, raketna i svemirska tehnologija
VRSTA ČLANKA: originalni naučni rad

Sažetak

Savremene rakete zemlja–zemlja, opremljene besplatformnim sistemom inercijalne navigacije, postižu veoma dobru tačnost u poređenju sa nevođenim raketama. Verovatno odstupanje po dometu zavisi uglavnom od instrumentalnih grešaka i poremećaja u pravcu uzdužne ose rakete kao što su devijacija totalnog impulsa raketnog motora, razlike u procenjenim i stvarnim vrednostima aksijalne sile i čeoni vetar. Ovaj rad daje proširenje koncepta korelisane brzine na rakete zemlja–zemlja koje nemaju mehanizam za prekid rada raketnog motora. Sračunati parametri korelisane brzine smešteni su u memoriju kompjutera za vođenje na raketi. Na osnovu koncepta korelisane brzine, predložena je modifikacija proporcionalne navigacije koja obuhvata podešavanje vremena do susreta rakete i cilja. Pokazano je da novi zakon vođenja može uspešno da kompenzira uzdužne poremećaje različitog nivoa. Efikasnost predložene metode vođenja potvrđena je preko sračunatih verovatnih odstupanja po dometu i pravcu za očekujuće poremećaje u sistemu vođenja.

Uvod

Nevođene rakete imaju veliko rasturanje padnih tačaka na dometima preko 50 km. Uz primenu savremenih tehnologija ova kategorija raketa može dostići tačnost 1% od dometa. Međutim, ova performansa nije prihvatljiva čak ni za rakete vatrene podrške. Značajno poboljšanje tačnosti postiže se ugradnjom besplatformnog sistema inercijalne navigacije (SDINS) i konstrukcijom odgovarajućeg sistema vođenja i upravljanja rakete. Predmet ovoga rada je prikaz novog zakona vođenja za taktičke ra-

kete zemlja–zemlja (Z–Z). Za razliku od objavljenih radova u kojima se izučavaju algoritmi proračuna korelisane brzine za rakete koje najveći deo putanje realizuju u bezvazdušnom prostoru, u ovom radu daje se metoda proračuna korelisane brzine za rakete bez uređaja za prekid rada raketnog motora i pri letu kroz atmosferu.

Proračun korelisane brzine

Korelisana brzina se definiše kao vektorska veličina koju raketa treba da ima u proizvoljnoj tački da bi dostigla cilj za zadato vreme. Prikazani proračun korelisane brzine ima dve specifičnosti: 1) raketa nema uređaj za prekid rada raketnog motora, pa se proračun obavlja i za aktivnu i pasivnu fazu leta, i 2) proračun putanje u prisustvu sile potiska i aerodinamičkih sila i momenata vrši se pomoću modela „šest stepeni slobode kretanja" (6-DOF). Numerički podaci o korelisanoj brzini rakete generišu se u određenom broju kontrolnih tačaka na referentnoj putanji i predstavljaju osnovu za tzv. implicitno vođenje.

Proračun pomoću zemaljskog kompjutera

Budući da je misija rakete Z–Z u potpunosti definisana neposredno pre lansiranja, kao referentna putanja bira se balistička putanja sa elementima gađanja koji omogućavaju pogodak cilja u mirnoj atmosferi bez bilo kakvih poremećaja. Dat je postupak proračuna **Q***-matrice koja određuje priraštaj korelisane brzine zbog diferencijalne promene vektora položaja rakete u odnosu na referentnu putanju. Definisani su svi potrebni ulazni podaci o referentnoj putanji i korelisanoj brzini koji se unose u memoriju kompjutera ugrađenog u raketu.*

Proračun pomoću kompjutera na raketi

Dat je postupak proračuna korelisane brzine u realnom vremenu polazeći od odstupanja rakete od referentne putanje. Pokazano je da se koncept korelisane brzine može proširiti i na raketu bez uređaja za prekid rada raketnog motora, s tim da se u toku leta vrši podešavanje ukupnog vremena leta prema metodi datoj u ovom radu.

Prikaz sistema vođenja

Kao metoda vođenja usvojena je proporcionalna navigacija s tim što „liniju viziranja cilja" predstavlja putanja po kojoj se raketa kreće korelisanom brzinom od proizvoljnog položaja do željenog cilja. Greška vođenja je ugaona brzina „linije viziranja cilja" koja se određuje na osnovu ugaonog odstupanja stvarne brzine, određene navigacionim algoritmom SDINS-a, od korelisane brzine rakete. Ova metoda vođenja nazvana je proporcionalna navigacija na osnovu korelisane brzine rakete (CV PNG).

Prikaz sistema upravljanja

Kao sistem upravljanja raketom primenjen je klasičan trokanalni autopilot sa stabilizacijom propinjanja, skretanja i valjanja. Kanali propinjanja i skretanja dobijaju zahtevano normalno ubrzanje na osnovu proračuna po metodi CV PNG. Imaju tri povratne veze: po ugaonoj brzini, integra-

lu ugaone brzine i normalnom ubrzanju. Raketa poseduje četiri nezavisna aktuatora aerodinamičkih upravljačkih krila pomoću kojih se realizuju komande propinjanja, skretanja i valjanja.

Rezultati simulacije

Rezultati numeričke simulacije po modelu „6 – DOF" dobijeni su pomoću fortranskog programa „GMTC6DOF – CV PNG". Korišćena je sledeća šema vođenja: u vertikalnoj ravni do temena putanje primenjeno je upravljanje pravcem vektora brzine, a od temena metoda CV PNG; u horizontalnoj ravni koristi se proporcionalna navigacija, s tim što je do temena putanje vreme do susreta cilja konstantno i odgovara ovoj tački na putanji, a od temena putanje menja se u skladu sa promenom tekućeg vremena leta rakete. Predloženi zakon vođenja CV PNG uspešno kompenzuje ekstremno odstupanje totalnog impulsa raketnog motora od $\pm 4\%$ *. Data je komparativna analiza parametara vođenja za varijante sa korekcijom i bez korekcije ukupnog vremena leta u uslovima ekstremnog odstupanja totalnog impulsa. Primenom Monte Karlo simulacije analiziran je uticaj instrumentalnih grešaka SDINS-a (greška skaliranja i sistematska greška brzinskih žiroskopa i akcelerometara), kao i slučajnog odstupanja sile potiska (intenziteta i ekscentriciteta) na verovatna odstupanja po dometu i pravcu.*

Zaključak

U radu je predložena nova metoda vođenja za rakete zemlja–zemlja koja se zasniva na modifikaciji proporcionalne navigacije i korišćenju podataka o korelisanoj brzini. Koncept korelisane brzine je proširen na taktičke rakete Z–Z koje nemaju uređaj za prekid rada raketnog motora, a let realizuju u uslovima u kojima su bitne aerodinamičke sile i momenti. Pokazano je da je predložena metoda vođenja efikasna i pri ekstremno velikom odstupanju totalnog impulsa raketnog motora. Verovatna odstupanja po pravcu i dometu višestruko su smanjena u odnosu na iste veličine kod nevođenih raketa Z–Z.

Ključne reči: *zakon vođenja, raketa zemlja–zemlja, korelisana brzina, proporcionalna navigacija, model „šest stepeni slobode kretanja"*.

Datum prijema članka: 11. 07. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 08. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 08. 2011.

PRILOG ISTRAŽIVANJU UTICAJA ISKOŠENOSTI OSOVINA NA POTROŠNJU GORIVA MOTORNOG VOZILA

Demić D. *Miroslav*, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Katedra za motorna vozila i motore, Kragujevac

OBLAST: motori i motorna vozila
VRSTA ČLANKA: pregledni članak

Sažetak:

Potrošnja goriva je važna za ocenu performansi motornih vozila, a pažnja joj se poklanja još u fazi projektovanja vozila. Kasnije, u eksploatacionim uslovima, nastoji se da parametri vozila i potrošnja goriva budu unutar dopuštenih granica. Pri servisiranju najčešće se imaju u vidu parametri motora, ali praksa pokazuje da postoje i drugi uticajni parametri koji su značajni za potrošnju goriva.

U ovom radu istražen je uticaj iskošenosti osovina na potrošnju goriva tokom ravnomerne vožnje. Dobijeni rezultati pokazali su da je najmanja potrošnja goriva u slučaju kada su osovine normalne na podužnu osu simetrije vozila. Kako upravljački točkovi, zbog stabilizacije, imaju, pored ostalih parametara oslanjanja upravljačkih točkova, i ugao konvergencije, koji na potrošnju goriva može da pokaže sličan efekat kao i iskošenost prednje osovine, u radu je izvršeno istraživanje i uticaja tog fenomena. Naime, razvijen je metod optimalnog izbora geometrije oslanjanja upravljačkih točkova, sa aspekta istovremene minimizacije sile u poprečnoj sponi trapeza i potrošnje goriva. Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa podacima kod izvedenih analognih vozila.

Ključne reči (regular): *vozilo, iskošenost osovina, potrošnja goriva.*

Uvod

Kao što je poznato, pod ekonomičnošću potrošnje goriva podrazumevaju se karakteristike koje su određene potrošnjom goriva u toku eksploatacije motornih vozila [7,12,21]. Ekonomičnost potrošnje goriva u značajnoj je meri određena karakteristikama motora, i to časovnom potrošnjom i specifičnom potrošnjom goriva. U praksi se, najčešće, za ocenu ekonomičnosti potrošnje goriva koristi potrošnja goriva na 100 km pređenog puta, dok je u nekim zemljama u opticaju veličina koja je njena recipročna vrednost. Ekonomičnost potrošnje goriva može se definisati [7] u različitim eksploatacionim uslovima:

– na otvorenom putu, pri konstantnoj brzini kretanja vozila,

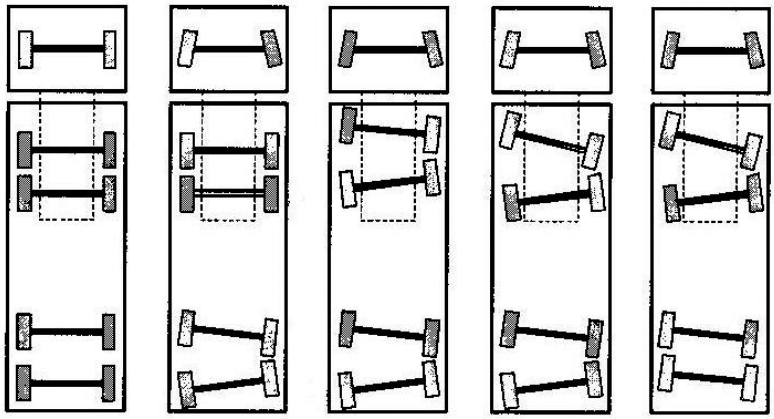
demic@kg.ac.rs

– prosečna potrošnja goriva na određenom putu i
– gradska potrošnja goriva.

Napominjemo da za ocene potrošnje goriva u eksploatacionim uslovima postoje standardizovani testovi [7], a mogu se izvoditi kako u putnim tako i u laboratorijskim uslovima, o čemu ovde neće biti reči.

Praksa ukazuje na postojanje korelacije parametara potrošnje goriva i stanja vozila, odnosno uslova eksploatacije [17,21]. Naime, u [21] se eksplicitno navodi sa kojim procentom otpor vazduha, brzina vozila, stanje pneumatika, pritisak vazduha u pneumaticima, način vožnje itd. utiču na stvarnu potrošnju goriva. Primera radi, kod teretnih motornih vozila dat je podatak da je uticaj pneumatika najveći do oko 80 km/h, a iznad te brzine veći uticaj ima aerodinamika vozila. Imajući u vidu da su u [21] dati kompletni podaci, ovde o tome neće biti više reči.

U ovom radu objasni će se jedan fenomen koji ima uticaja na potrošnju goriva. Naime, u eksploataciji iz raznih razloga dolazi do iskošenosti osovina vozila u odnosu na njihovu poprečnu osu simetrije. Ta pojava je štetna jer utiče kako na bezbednost vozila tako i na druge eksploatacione parametre. Ocenjuje se celishodnim da se ovaj fenomen, u ovom radu, analizira sa aspekta potrošnje goriva. Iskošenost osovina ilustrovaće se na primeru tegljača sa poluprikolicom, slika 1 [21].



Slika 1 – Ilustracija iskošenosti osovina
Figure 1 – Illustration of axle inclination

Metod

U prethodnom tekstu pomenuli smo karakteristične slučajeve eksploatacije vozila i odgovarajuće potrošnje goriva. Očigledno je da se ti uslovi, grubo, mogu svrstati u dve kategorije: stacionarno (konstantna brzina) i nestacionarno kretanje vozila. Imajući u vidu [7,12,19] da je anali-

tički veoma teško opisati potrošnju goriva pri nestacionarnom kretanju vozila, u ovom radu će se posmatrati ravnomerno kretanje vozila opremljenog mehaničkom transmisijom, pri čemu se neće ništa izgubiti od opštosti istraživanja.

Potrošnja goriva pri ravnomernom kretanju vozila na 100 km pređenog puta može se izračunati na osnovu izraza [7,12,19]:

$$Q = 100\frac{Q_H}{v}, \tag{1}$$

gde su:

– Q , [dm^3], – potrošnja goriva na 100 km pređenog puta,

– Q_H, [dm^3/h], – časovna potrošnja goriva,

– v , [km/h], – brzina kretanja motornog vozila.

Časovna potrošnja goriva može se izračunati na osnovu eksperimentalno poznate specifične potrošnje goriva [7,12,19,17, 22]:

$$Q_H = \frac{g_e \quad P_e}{1000}, \tag{2}$$

gde su:

– Q_H , [dm^3 /h], – časovna potrošnja goriva,

– g_e , [gr/kWh], – specifična potrošnja goriva,

– P_e , [kW], – potrebna snaga motora za ostvarivanje ravnomernog kretanja motornog vozila, u datim eksploatacionim uslovima.

Za ostvarivanje ravnomernog kretanja motornog vozila brzinom v neophodno je angažovati snagu motora u W:

$$P_e = \frac{v\sum R}{\eta_u}, \tag{3}$$

gde su:

ΣR, [N], – rezultirajući otpori pri ravnomernom pravolinijskom kretanju vozila, o kojima će kasnije biti reči,

v, [m/s], brzina vozila,

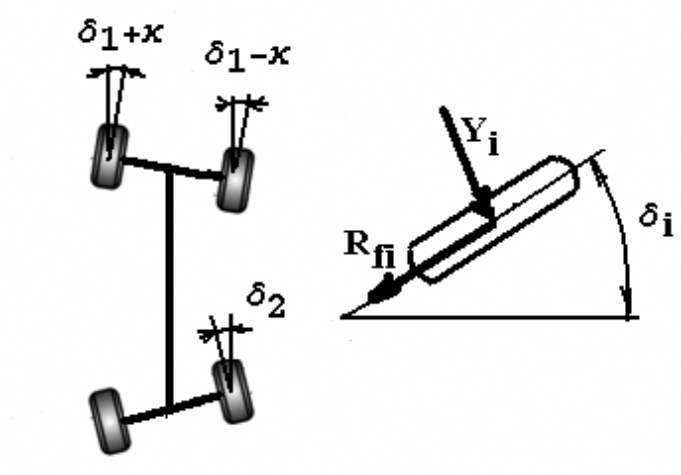
η_u ,[/], – ukupni stepen iskorišćenja transmisije.

Na osnovu izraza (1–3) dobija se:

$$Q = \frac{g_e \quad \sum R}{10^4 \quad \eta_u}, \tag{4}$$

Opisani postupak za izračunavanje potrošnje goriva je prikladan za vršenje uporednih analiza u fazi projektovanja vozila, ali on ne daje sasvim tačne rezultate jer ne obuhvata sve parametre koji utiču na potrošnju goriva [7,12,18], pa se ona, kao što je napomenuto, najčešće utvrđuje eksperimentalnim putem.

Kako u izrazu (4) figuriraju otpori, uključujući i otpore usled iskošenosti osovina, izračunaćemo ukupan otpor pri ravnomernom kretanju vozila. Posmatraćemo dvoosovinsko teretno vozilo kod kojeg su osovine iskošene za uglove δ_1 i δ_2, a kod kojeg smo ugao konvergencije prednjih točkova označili sa κ, kao što ilustruje slika 2.



Slika 2 – Ilustracija iskošenosti prednje i zadnje osovine i konvergencije prednjih točkova (i=1 za prednje – izraz (5), a i=2 za zadnje točkove)
Figure 2 – Illustration of front and rear axle inclination and convergence of front wheels (i=1 for front wheels-expression (5) and i=2 for rear wheels)

Prema slici 2, imamo:

$$\delta_{1l} = \delta_1 - \chi, \qquad \delta_{1d} = \delta_1 + \chi. \tag{5}$$

gde su:

$\delta_{1,}[rad],-$ iskošenost prednje osovine,

$\chi,[rad],-$ ugao konvergencije,

$\delta_{1l},\delta_{1d},[rad],-$ stvarni uglovi prednjeg levog i prednjeg desnog točka, respektivno.

Kao najjednostavniji, i za male uglove povođenja veoma prihvatljiv, biće korišćen linearni model kotrljanja elastičnog točka pod dejstvom bočnih sila, pa na osnovu njega možemo napisati relacije koje definišu bočne sile po točkovima [7, 9–12,15,19]. Pri tome će se pretpostaviti da su radijalne dinamičke sile jednake na levoj i desnoj strani, što je prihvatljivo jer se radi o pravolinijskom ravnomernom kretanju vozila. Na osnovu toga imamo:

$$
\begin{aligned}
Y_{1l} &= 0,5 \quad k_{y1} \quad Z_1 \quad \delta_{1l}\,, \\
Y_{1d} &= 0,5 \quad k_{y1} \quad Z_1 \quad \delta_{1d}\,, \\
Y_{2l} &= 0,5 \quad k_{y2} \quad Z_2 \quad \delta_2, \\
Y_{2d} &= 0,5 \quad k_{y2} \quad Z_2 \quad \delta_2 \quad .
\end{aligned}
\tag{6}
$$

gde su:

Z_1 i Z_2, [N], – radijalne dinamičke sile na prednjoj i zadnjoj osovini, respektivno,

k_{y1}, k_{y2}, [1/rad], – koeficijenti proporcionalnosti,

δ_{1l}, δ_{1d}, [rad], – stvarni uglovi povođenja prednjeg levog i desnog točka, respektivno (izraz 5),

δ_2,[rad], – ugao iskošenosti zadnjih tokova.

Otpori kotrljanja po točkovima dati su izrazima [7,12,19]:

$$
\begin{aligned}
R_{f1l} &= 0.5 \quad Z_1 f_1 \quad \cos\alpha, \\
R_{f1d} &= 0.5 \quad Z_1 f_1 \quad \cos\alpha, \\
R_{f2l} &= 0.5 \quad Z_2 f_2 \quad \cos\alpha, \\
R_{f2d} &= 0.5 \quad Z_2 f_2 \quad \cos\alpha.
\end{aligned}
\tag{7}
$$

gde su:

Z_1 i Z_2, [N], – Radijalne dinamičke sile na prednjoj i zadnjoj osovini, respektivno,

f_1, f_2, [/], – koeficijenti otpora kotrljanja,

α,[rad], – ugao podužnog nagiba puta.

Imajući u vidu iskošenost točkova, projekcije bočnih sila i otpora kotrljanja na pravac kretanja vozila date su izrazom:

$$
R^u = R_{1l} + R_{1d} + R_{2l} + R_{2d}\,, \tag{8}
$$

gde su:

$$
\begin{aligned}
R_{1l} &= R_{f1l} \quad \cos\delta_{1l} + Y_{1l} \quad \sin\delta_{1l}, \\
R_{1d} &= R_{f1d} \quad \cos\delta_{1d} + Y_{1l} \quad \sin\delta_{1d}, \\
R_{2l} &= R_{f2l} \quad \cos\delta_2, \\
R_{2d} &= R_{f2d} \quad \cos\delta_2.
\end{aligned}
\tag{9}
$$

Otpore vazduha i kotrljanja definišu izrazi [7,12,18]:

$$R_\alpha = m \quad g \quad \sin\alpha$$
$$R_v = k \quad A \quad v^2 \quad , \tag{10}$$

gde su:

m, [kg], – masa vozila,

g,[m/s^2], – ubrzanje Zemljine teže,

k, [Ns^2/m^4], – koeficijent otpora vazduha,

A, [m^2], – čeona površina vozila,

v,[m/s], – brzina vozila,

α,[rad], – ugao podužnog nagiba puta.

Na osnovu izraza (6-10) možemo napisati rezultira projekciju svih otpora na pravac kretanja vozila:

$$\sum R = R_\alpha + R_v + R^u \tag{11}$$

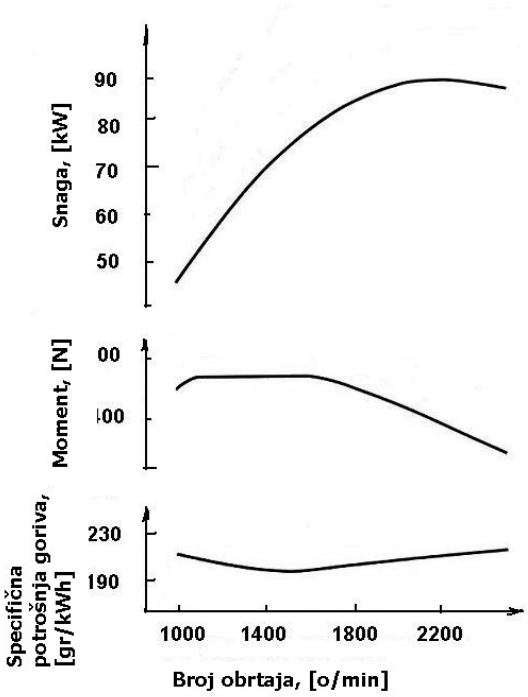
Imajući u vidu izraze (4–11), možemo zaključiti da iskošenost osovina utiče na potrošnju goriva pri ravnomernom kretanju vozila, jer u izrazima figuriraju uglovi iskošenosti prednje i zadnje osovine.

Da bismo ilustrovali ovaj fenomen, posmatraće se vozilo iz proizvodnog programa FAP [22], čije su brzinske karakteristike motora date na Slici 3, a neki parametri u tabeli 1.

Radi analize uticaja iskošenosti osovina na potrošnju goriva, realizovan je program u Paskalu. Pri tome su varirani uglovi iskošenosti u granicama -1,5 do 1,5 stepeni.

Da bi se uzeo u obzir uticaj brzine vozila, ugla podužnog nagiba puta, i stepena prenosa, uvedena je pretpostavka da se vozilo kreće u oblasti brojeva obrtaja minimalne potrošnje goriva, tako da su na osnovu spoljašnje brzinske karakteristike prikazan na slici 3. izračunate brzina i odgovarajući uspon u uslovima rada motora u oblasti ekonomične potrošnje goriva.

Pri ovoj analizi nameće se još jedan fenomen, jer je poznato da se zbog bolje upravljivosti, upravljački točkovi oslanjaju tako da imaju svoju definisanu prostornu geometriju. Jedan od uglova koji može da ima sličan efekat na potrošnju goriva kao i iskošenost osovina jeste ugao konvergencije. Na osnovu izraza (4–11) se vidi da ugao konvergencije utiče na potrošnju goriva, ali se on zbog uticaja na upravljivost prednjih točkova ne može anulirati. Zbog toga je neophodno da se prilikom izbora parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova uzme u obzir, pored opterećenja delova sistema za upravljanje, i potrošnja goriva, o čemu će biti reči.



Slika 3 – Spoljašnje brzinske karakteristike motora
Figure 3 – Engine performance over its operating range

Tabela 1
Table 1

Neki podaci o vozilu
Some vehicle specifications

Mase po osovinama (prednja/zadnja),[kg/kg]	5200/8200
Prenosni odnosi u menjaču, [/]	7,52;4,32;2,62;1,61;1,0;0,82
Prenosni odnos u glavnom prenosniku, [/]	5,714
Dinamički poluprečnik točka, [m]	0,577
Koeficijent otpora vazduha, [Ns/m^3]	0,02
Čeona površina,[m^2]	3,5
Ukupni stepen iskorišćenja transmisije, [/]	0,95
Koeficijenti otpora kotrljanja napred/pozadi, -	0,01/0,01
Koeficijent bočne proporcionalnosti pneumatika, prednji/zadnji, [rad^{-1}]	110,64/130,00

Geometrija oslanjanja upravljačkih točkova pokazuje značajan uticaj na opterećenje sistema za upravljanje, vibracije i stabilnost upravljačkih točkova, habanje pneumatika, moment otpora zaokretanju u mestu, moment na točku upravljača (u vezi sa zamorom vozača) itd. Bliža definicija i objašnjenja pomenutih pojmova dati su u [6, 7, 9–15, 17, 19, 20], pa se ovde neće detaljnije izlagati. Na osnovu izloženog može se zaključiti da je ovom problemu neophodno posvetiti maksimalnu pažnju, kako u fazi projektovanja tako i u fazi održavanja vozila.

Kao što je poznato, u fazi izrade idejnog projekta vozila mnogi njegovi parametri nisu poznati. Zbog toga se geometrija oslanjanja upravljačkih točkova najčešće, u ovoj fazi razvoja projekta, definiše po analogiji sa sličnim već izvedenim rešenjima. Međutim, pored analognih tehničkih rešenja, projektanti moraju raspolagati i analitičkom metodom za brzo definisanje orijentacionih vrednosti parametara geometrije, čija bi se konačna optimizacija obavila uz korišćenje eksperimentalnih postupaka (ispitivanje prototipova, nulta serija) [6].

Da bi se u ovim istraživanjima stvorili uslovi za analizu uticaja parametara geometrije oslanjanja na potrošnju goriva i opterećenje delova sistema za upravljanje, neophodno je pored izraza za potrošnju goriva definisati i izraz koji omogućava izračunavanje sile u poprečnoj sponi trapeza upravljanja [6, 7].

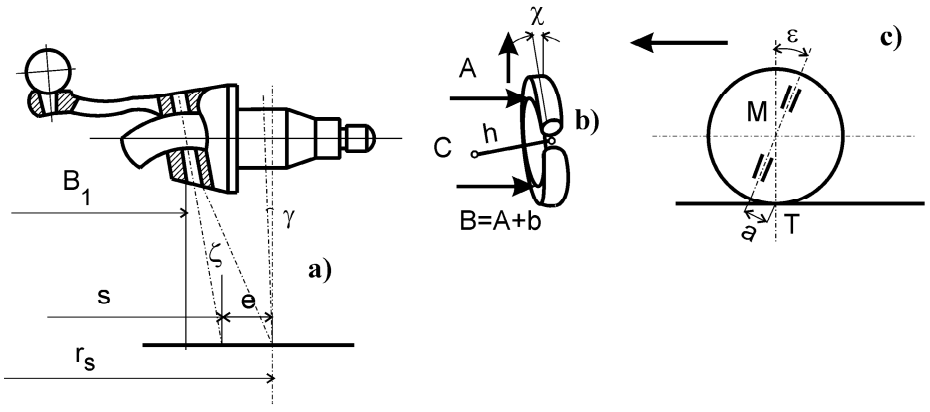
Radi lakšeg praćenja daljeg teksta, na slici 4 šematski su prikazani parametri geometrije u vertikalnoj (a), horizontalnoj (b) i bočnoj ravni (c), gde su korišćene sledeće oznake:

γ, [rad], bočni nagib točka,

ζ,[rad], bočni nagib osovinice rukavca,

κ, [rad], ugao konvergencije,

ε, [rad], ugao zatura osovinice rukavca.



Slika 4 – Šematski prikaz parametara geometrije oslanjanja desnog prednjeg točka
Figure 4 – Schematic view of the suspension geometry parameters of the right front wheel

Na osnovu slike 4, veličina e data je izrazom:

$$e = SP = PQ - SQ = h\cos\kappa(\cos\gamma - \sin\gamma \quad tg\zeta) - r_s \quad \sin\gamma + \cos\gamma g\zeta) \quad (12)$$

Veličina d data je izrazom:

$$d = CS \quad tg\varepsilon = \frac{OC}{\cos \quad \delta} \quad tg\varepsilon = (r_s \quad \cos\gamma + h \quad \sin\gamma \quad \cos\kappa) \quad \frac{tg\varepsilon}{\cos\zeta} \quad (13)$$

Poluprečnik zaokretanja definiše izraz:

$$r_0 = \sqrt{e^2 + d^2} \quad (14)$$

Sa slike 4 očigledna je i sledeća relacija:

$$a = MT\sin\varepsilon = r_s\cos\gamma\sin\varepsilon \quad (15)$$

Otpor kotrljanja na prednjoj osovini dat je izrazom (7), a bočna sila, usled konvergencije točkova, pri ravnomernom kretanju vozila može se odrediti izrazom (6), pri čemu umesto uglova iskošenosti prednjih točkova treba koristiti ugao konvergencije χ.

Radi lakšeg izlaganja, na slici 5 šematski je prikazano delovanje pomenutih sila na desni upravljački točak. Sa slike 5 se vidi da bočna sila usled konvergencije točka Y_κ teži da istegne poprečnu sponu, a otpor kotrljanja R_f da je sabije.

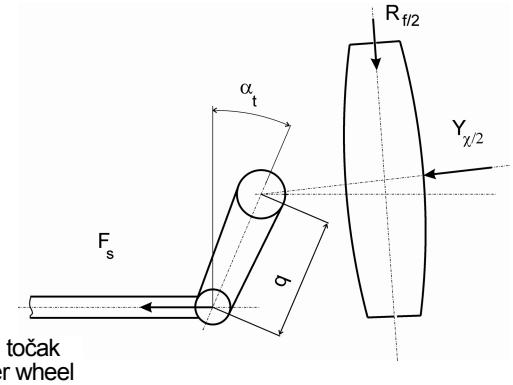
Na osnovu izraza (12–15) i slike 2, sila u sponi trapeza upravljačke osovine može se odrediti korišćenjem formule:

$$F_s = \frac{m_1 g(f \quad r_0 - k_\kappa \quad a)}{q \quad \cos\alpha_T} \quad (16)$$

Kao što smo već napomenuli, cilj ovih istraživanja bio je da se ugao konvergencije upravljačkih točkova izračuna iz uslova istovremene minimizacije potrošnje goriva vozila i sile u sponi trapeza upravljača. Zbog toga je funkcija cilja definisana u obliku:

$$\Phi = Q + F_s \quad (17)$$

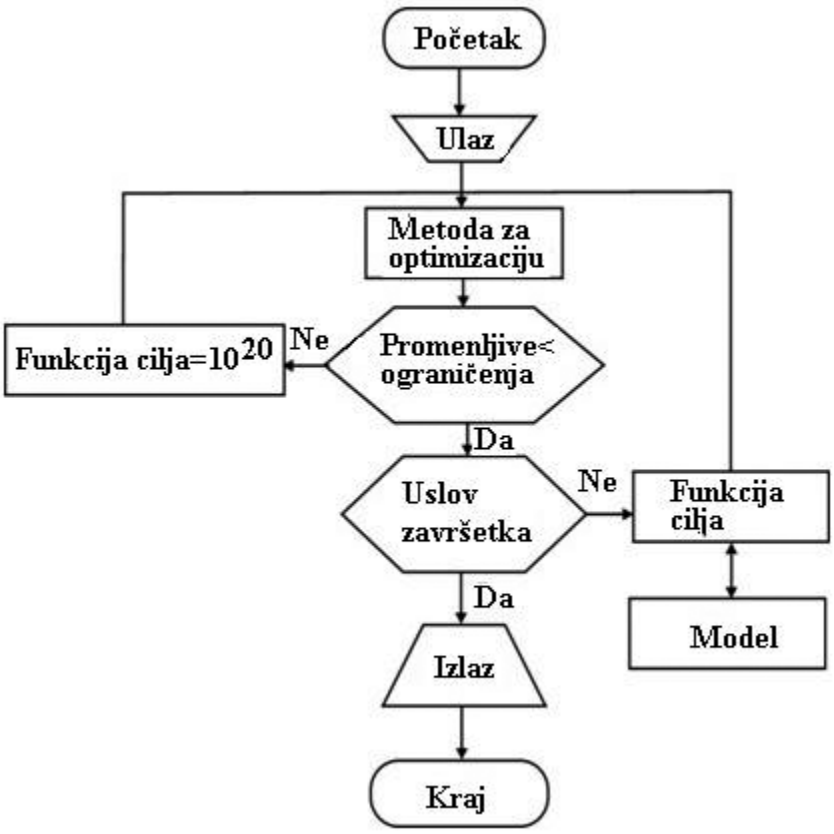
gde su Q i F_s definisani izrazima (4) i (16).



Slika 5 – Sile koje deluju na desni upravljački točak
Figure 5 – The forces acting on the right steer wheel

U [6, 7, 9–15, 17, 19] ukazano je na složenost problema optimizacije parametara motornih vozila klasičnim metodama. Takođe je ukazano i na neminovnost primene numeričkih metoda nelinearnog programiranja, a time i elektronskih računara. Imajući u vidu složenost problema, autor je u [2, 3, 4, 5] razvio opšti postupak za rešavanje problema optimizacije i odgovarajući program, čiji je blok dijagram prikazan na slici 6.

U slučaju optimizacije parametara oslanjanja upravljačkih točkova, postupak se sastoji u tome da se matematički opiše problem (izrazi 1–16) i izračuna vrednost funkcije cilja (izraz 17). Problem izračunavanja minimuma funkcije cilja date izrazom (17) rešen je metodom Hooke-Jeevesa [1], a uključivanje u proces konstruktivnih ograničenja, datih u tabeli 2, metodom spoljašnjih kaznenih funkcija. Iterativni proces je završen kada je razlika dveju susednih vrednosti funkcije cilja bila $1e^{-20}$. Program optimizacije napisan je u programskom jeziku Paskal.



Slika 6 – Blok-dijagram programa optimizacije
Figure 6 – Block diagram of the optimization program

Tabela 2
Table 2

Granične vrednosti parametara oslanjanja upravljačkih točkova
Limit values of the suspension parameters of steer wheels

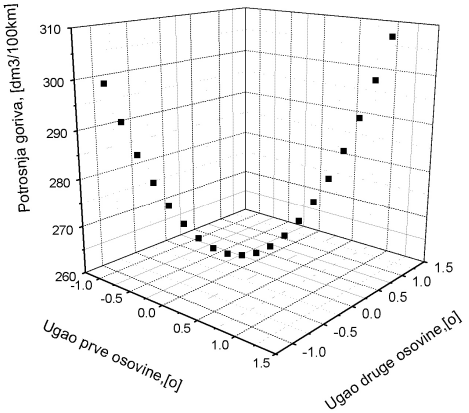
Bočni nagib točka, [°]	Bočni nagib osovinice rukavca, [°]	Ugao konvergencije, [°]	Ugao zatura osovinice rukavca, [°]
$-1 \le \gamma \le 5$	$-2 \le \zeta \le 15$	$-0{,}5 \le \chi \le 0{,}5$	$0 \le \varepsilon \le 10$

Parametri trapeza posmatranog vozila su: h= 0,161m, q = 0,230 m, α_T= 12°, b_1= 1,75 m, α, β= 33°/40°.

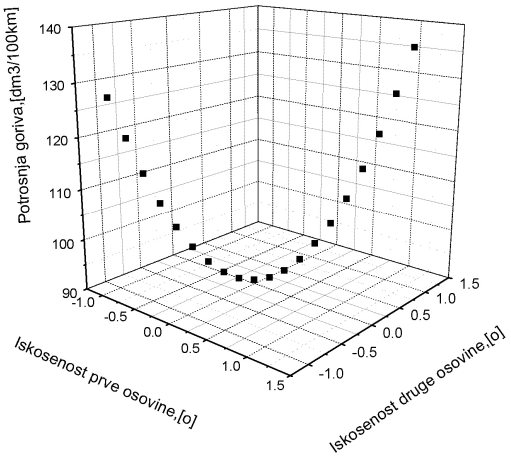
Analiza rezultata i diskusija

Da bismo ukazali na uticaj iskošenosti osovina na ekonomičnost potrošnje goriva, na slikama 7–9 dati su ilustrativni primeri za prvi, treći i peti stepen prenosa u menjaču.

Analizom delimično prikazanih podataka sa slika 7–9 možemo uočiti poznate činjenice da brzina vozila, podužni nagib puta i prenosni odnos u menjaču utiču na potrošnju goriva pri pravolinijskoj ravnomernoj vožnji, što je poznato i u saglasnosti je sa [7, 12, 21]. Preciznije rečeno, niži stepeni prenosa dovode do veće potrošnje goriva u posmatranim uslovima kretanja vozila. Ono što je značajno da se uoči na pomenutim slikama jeste da iskošenost osovina utiče na potrošnju goriva i da je potrošnja goriva minimalna kada su osovine upravne na podužnu osu simetrije vozila, tj. kada je iskošenost jednaka nuli. Očigledno je da sa porastom iskošenosti raste i potrošnja goriva. To govori o tome da se tokom održavanja vozila mora posvetiti značajna pažnja i iskošenosti osovina.

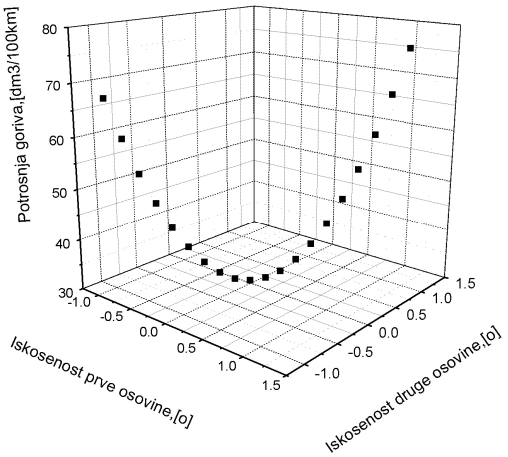


Slika 7 – Uticaj uglova iskošenosti osovina na potrošnju goriva pri brzini od 7,59 km/h i usponu od 9,03% (prvi stepen prenosa)
Figure 7 – Influence of axle inclination angles on fuel consumption at a speed of 7.59 km/h, and on the climb of 9.03% (first gear)



Slika 8 – Uticaj uglova iskošenosti osovina na potrošnju goriva pri brzini od 21,79 km/h i usponu od 2,45% (treći stepen prenosa)
Figure 8 – Influence of axle inclination angles on fuel consumption at a speed of 21.79 km/h, and on a gradient of 2.45% (third gear)

Kao što smo pomenuli, cilj istraživanja bio je da se parametri oslanjanja upravljačkih točkova izračunaju iz uslova istovremene minimizacije sile u poprečnoj sponi trapeza upravljanja i potrošnje goriva. Pri tome je postupak optimizacije sproveden sa više grupa početnih parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova, ali to nije imalo uticaja na njihove optimalne vrednosti. Tokom optimizacije korišćene su vrednosti za brzine vozila: 20, 40, 60 i 80 km/h, a izračunate optimalne vrednosti date su u tabeli 3.



Slika 9 – Uticaj uglova iskošenosti osovina na potrošnju goriva pri brzini od 57,10 km/h i usponu od 0,15% (peti stepen prenosa)
Figure 9 – Influence of axle inclination angles on fuel consumption at a speed of 57.10 km/h, and on a gradient of 0.15% (fifth gear)

Analizom podataka iz tabele 3 može se utvrditi da brzina vozila utiče na veličinu minimalne vrednosti funkcije cilja. To je razumljivo jer sila u poprečnoj sponi trapeza i potrošnja goriva zavise od brzine kretanja vozila, a kod nižih stepena prenosa veća je i potrošnja goriva. Međutim, optimalni parametri geometrije oslanjanja upravljačkih točkova ne zavise od brzine kretanja vozila.

Ova činjenica je i veoma logična, jer su u praksi, kod vozila, ovi parametri definisani još u procesu projektovanja vozila, a tokom eksploatacije vozila moraju se održavati u dopuštenim granicama. Treba uočiti da se izračunate vrednosti parametara koji definišu geometriju oslanjanja upravljačkih točkova nalaze u granicama postojećih na već izvedenim vozilima [7], pa se ovaj postupak može koristiti u početnim fazama razvoja teretnih motornih vozila.

Tabela 3
Table 3

Optimalne vrednosti parametara geometrije oslanjanja upravljačkih točkova
Optimal values of the parameters of the suspension geometry of steer wheels

Brzina, [km/h]	20	40	60	80
Bočni nagib točka,[°]	6.490E-0001	6.490E-0001	6.490E-0001	6.490E-0001
Bočni nagib osovinice rukavca,[°]	1.825E+0000	1.825E+0000	1.825E+0000	1.825E+0000
Ugao konvergencije, [°]	6.502E-0002	6.502E-0002	6.502E-0002	6.502E-0002
Ugao zatura osovinice rukavca, [°]	1.079E+0000	1.079E+0000	1.079E+0000	1.079E+0000
Minimum funkcije cilja,[/]	3.131E+001	3.067E+001	2.662E+001	2.899E+001

Zaključak

Na osnovu izvršenih analiza, može se zaključiti sledeće:

1. iskošenost osovina pogoršava ekonomičnost potrošnje goriva tokom ravnomerne vožnje posmatranog teretnog motornog vozila;

2. parametri geometrije oslanjanja upravljačkih točkova optimizirani iz uslova istovremene minimizacije potrošnje goriva i sile u poprečnoj sponi trapeza upravljanja ne zavise od brzine kretanja vozila. Međutim, njih treba održavanjem vozila dovesti u optimalne granice jer, pored uticaja na stabilizaciju upravljačkih točkova, ugao konvergencije utiče i na potrošnju goriva.

Literatura

[1] Bunday, B., *Basic Optimization Methods*, Edward Arnold Ltd, 1984.

[2] Demić, M., *Optimization of Vehicles Elasto-Damping Elements Characteristics from the Aspect of Ride Confort*, *Vehicle System Dynamics,* 23 (1994), pp. 351–377.

[3] Demić, M., *Analysis of influence of design parameters on steered wheels shimmy of heavy vehicles* (1996) *Vehicle System Dynamics* 26 (5), pp. 343–379

[4] Demić, M., *Optimization of characteristics of elasto-damping elements from aspect of oscillatory comfort and vehicle handling* (1996) *International Journal of Vehicle Design* 17 (1), pp. 76–91

[5] Demić, M., *The definition of the tires limit of admissible nonuniformity by using the vehicle vibratory model* (1999) *Vehicle System Dynamics* 31 (3), pp. 183–211.

[6] Demić, M., Minić, M., Savić, R., *Analitičko definisanje parametara GUT u fazi projektovanja teretnih vozila*, *SIS – FAP*, Priboj,1993, str 1–15.

[7] Demić, M., *Teorija kretanja motornih vozila*, Tehnički fakultet u Čačku, 1999.

[8] Furunžijev, R., *Avtomatizirovannoe proektirovanie kolebateljnih sistem*, "Višaja škola", Minsk, 1977.

[9] Genta, A., *Motor Vehicle Dynamics*, Politecniko di Torino, 2003.

[10] Gillespie, T. D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 1992.

[11] Hačaturov, A.i dr., *Dinamika slstemi:doroga-šina-avtomobilj-voditelj*, Mašinostroenie, Moskva, 1975.

[12] Janković, D., Todorović, J., *Teorija kretanja motornih vozila*, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.

[13] Milidrag, S., Časnji, F., Muzikravić, V., Poznanović, N., *Sistemi upravljanja motornih vozila*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.

[14] Minić, M., *Sistemi za upravljanje teretnih vozila,* ABC glasnik, Beograd, 1992.

[15] Mitschke, M., *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, Springer Verlag, 1983.

[16] Petrić, J., Zlobec, S., *Nelinearno programiranje*, Naučna knjiga, Beograd, 1983.

[17] Popović, Z., Milidrag, S., Lazarević, D., *Izbor optimalne periodičnosti preventivne aktivnosti održavanja motornih vozila tokom skladištenja* (1996), Vojnotehnički glasnik, 6, str. 653–662.

[18] Simić, D., *Dinamika motornih vozila-stabilnost upravljanja*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1974.

[19] Simić, D., *Motorna vozila*, Naučna knjiga, Beograd, 1988.

[20] Vesić, M., Muždeka, S., *Analiza uticaja kinematske šeme sistema za zaokret brzohodih guseničnih vozila na bilans snage pri zaokretu*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 55, No. 2, pp. 149–160, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2007.

[21] *Cummins MPG Guide*, 2003.

[22] *FAP: Informacije*, 2011.

CONTRIBUTION TO RESEARCH OF THE INFLUENCE OF AXLE OBLIQUE ALIGNMENT ON MOTOR VEHICLE FUEL CONSUMPTION

FIELD: Engines and Motor Vehicles
ARTICLE TYPE: Review Paper

Summary:

Fuel consumption is of great importance for a vehicle performance evaluation, starting from the development design stage. Later, in service conditions, considerable efforts are made to keep consumption parameters within acceptable limits. Periodical vehicle servicing is mostly focused on the control of engine parameters, although there are some other influential parameters that may produce a considerable impact on fuel consumption.

Introduction

It is well known that low fuel consumption is related to the characteristics determined by fuel consumption during normal vehicle exploitation. In addition, the low fuel consumption is mainly characterized by engine properties, in particular the fuel consumption per hour and the specific fuel consumption. In practice, for the evaluation of fuel consumption, the consumption at every 100 km is usually used, while in some countries its reciprocal value is considered.

This paper will analyze a phenomenon that influences fuel consumption. In particular, during vehicle exploitation, many reasons cause the axles of the vehicle to be inclined with respect to the transversal symmetry axes. This phenomenon is very harmful because it can influence vehicle safety and other exploitation parameters. It is, therefore, important to analyze this problem from the aspect of fuel consumption.

The method

The influence of inclined vehicle axles on fuel consumption during the steady vehicle motion is analyzed. Namely, when a vehicle axle is inclined, the wheels are also inclined, and in that case there are projections of lateral forces onto a total drag motion due to wheel elasticity. In the equation of fuel consumption during the steady vehicle motion, a lateral force component appears as resistance, due to the convergence of steer wheels. In order to analyze the influence of the axle inclination on fuel consumption, a program in Pascal is realized, and during the dynamic simulation the inclination angles are changed from -1.5 to 1.5 degrees. Since there is an influence of wheel convergence angles on fuel consumption, it is necessary to include fuel consumption into the optimisation of the steer wheels geometry (in references sometimes referred to as the suspension of the steered wheels geometry, wheels lateral inclination angle and convergence, lateral and longitudinal caster angle of the king pin). A parameter optimization method is thus developed, based on simultaneous minimization of fuel consumption and forces in the transversal steering trapezoid rod. The optimization is based on the implementation of the Hooke-Jeeves method and external penalty functions.

Results analysis and discussion

The analysis of the fuel consumption data obtained by dynamic simulation shows that vehicle velocity, longitudinal road inclination and gear ratio have a significant influence on fuel consumption during the steady vehicle motion. It is of particular importance that the analysis has shown that the axle inclination influences fuel consumption and the fuel consumption is at the minimum level when the axles are normal to the longitudinal vehicle symmetry axis, i.e. when the inclination is equal to zero. It is obvious that by increasing the axle inclination, the fuel consumption also increases. Therefore, during the vehicle service, it is important to take into account the axle inclination as well.

As mentioned before, the main scope of the research is that steer wheels geometry parameters are calculated during a simultaneous minimisation of the force in the steering trapezoid rod and the vehicle fuel consumption. The process of optimization is carried out with several groups of initial geometry parameters of the steer wheels geometry, but that did not have any influence on their optimal values. During the optimization, different vehicle velocity values are used: 20, 40, 60 and 80 km/h.

The final data analysis has shown that the vehicle velocity has the influence on a minimum value of the objective function. It is understandable, since the force in the steering trapezoid rod and fuel consumption are dependent on vehicle velocity, and the lower gear ratio is, the bigger fuel consumption is. But, the optimal parameters of the steer wheels geometry are not dependent on the vehicle velocity. This fact is logical, since in the practice these parameters are defined for a vehicle in the phase of vehicle development, and during the vehicle exploitation they have to be carried out at their limit values. It is possible to notice that the calculated parameter values defining the steer wheels geometry are within the limits of existing vehicles and that is why this method can be used at the initial stage of vehicle development, i.e. when the steer wheels geometry is not defined yet.

Conclusion

On the basis of the analysis, it is possible to draw the following conclusions:

The inclination of the axle increases the fuel consumption during the steady motion of the considered vehicle.

The parameters of the steer wheels geometry, optimised by a simultaneous minimization of the vehicle fuel consumption and the force in steering trapezoid rod, are independent of vehicle motion velocity. However, it is important to get their optimal values by service conditions, because besides influening the steer vehicle stability, the convergence angle has the influence on fuel consumption as well.

Key words: *vehicle, axle inclination, fuel consumption*

Datum prijema članka: 31. 01. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 23. 05. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 24. 05. 2011.

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, 2012., Vol. LX, No. 1

THERMAL DESCRIPTION OF HYPOEUTECTIC Al-Si-Cu ALLOYS USING SILICON EQUIVALENCY

Djurdjevic B. *Mile*, Nemak Europe GmbH,
Frankfurt, Germany

FIELD: Chemical Technology, Materials Science
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Abstract:

The modeling of casting processes has remained a topic of active interest for several decades, and availability of numerous software packages on the market is a good indication of the interest that the casting industry has in this field. Most of the data used in these software packages are read or estimated from the binary or multi-component phase diagrams. Unfortunately, except for binary diagrams, many of ternary or higher order phase diagrams are still not accurate enough. Having in mind that most of the aluminum binary systems are very well established, it has been tried to transfer a multi-component system into one well known Al-Xi pseudo binary system (in this case the Al-Si phase diagram was chosen as a reference system). The new Silicon Equivalency (Si_{EQ}) algorithm expresses the amounts of major and minor alloying elements in the aluminum melts through an "equivalent" amount of silicon. Such a system could be used to calculate several thermo-physical and solidification characteristics of multi component as cast aluminum alloys. This lends the model the ability to make predictions of solidification characteristics of cast parts, where cooling rates are slow and the solidification process has to be known in great detail in order to avoid problems in the casting. This work demonstrates how the Si_{EQ} algorithm can be used to calculate characteristic solidification temperatures of the multi-component hypoeutectic Al-Si-Cu alloys as well as their latent heats. SA statistical analysis of the results obtained for a wide range of alloy chemical compositions shows a very good correlation with the experimental data and the Si_{EQ} calculations.

Key words: *(regular): Al-Si-Cu Alloys, Silicon Equivalency, Binary Phase Diagrams, Liquidus Temperature, Eutectic Temperatures.*

Introduction

The modeling and control of casting processes has remained a topic of active interest for several decades, and the availability of numerous software packages (Magma[1], Thermo-Calc[2], Fact-Sage[3], Pro-

mile.djurdjevic@nemak.com

Cast[4], Calphad[5], Pandat[6], WinCast[7] etc.) on the market are a good indication of the interest that casting industries and researchers have in this field. Most of the data used in the above listed software packages are based on binary or multi-component phase diagrams but unfortunately; except for binary diagrams, many of ternary or higher order phase diagrams are still not accurate enough for this purpose. Keeping in mind that most aluminum binary systems are very well established, the transferring of a multi-component system into a well known Al-Xi "*quasi-binary*" system has a great industrial and research potential. This type of system could be used to calculate several thermo-physical and solidification process parameters of multi component aluminum alloys in either cast or melt treated conditions. In order to calculate the various thermo-physical and metallurgical parameters of solidifying aluminum casting alloys, the characteristic solidification temperatures of the alloy must be known with the highest possible degree of accuracy. Unfortunately, few equations are reported in the literature that relates the compositions of many commercially important hypoeutectic aluminum-silicon-copper series of alloys to their liquidus [8,9,10] and eutectic [11] temperatures.

The cast hypoeutectic aluminum-silicon-copper alloys are widely used in many automotive components. These alloys are characterized by their low density, light weight, relative low melting temperatures, negligible gas solubility (with the exception of hydrogen) excellent castability, good corrosion resistance, electrical and thermal conductivity and good machinability. The major alloying elements; silicon, copper and magnesium, are primarily responsible for defining the aluminum alloy microstructure. Silicon is added to improve castability, fluidity, as well as to reduce shrinkage and to give superior mechanical properties. The presence of copper improves tensile strength at the expense of a reduction in ductility and corrosion resistance. Magnesium is purposely added into aluminum alloys to increase their hardness and strength after heat treatment. Manganese controls the intermetallic form of iron phase, leading to improve ductility, strength at high temperature and casting soundness. Iron is a major impurity element in this type of aluminum alloys. Its higher content decreases the ductility, castability and machinability of aluminum alloys. Minor alloying elements such as Sr, Na, B, Ti and Sb are intentionally added into aluminum melt to improve structural and mechanical properties of cast parts. All these major and minor alloying elements have a significant impact on the solidification path of particular aluminum alloys.

The Al-Si phase diagram is the base component system for this series of alloys. This is a binary eutectic type phase diagram with limited aluminum and silicon solubility. The solubility of silicon in the aluminum melt reaches a maximum of 1.6wt% at the 577^{o}C eutectic temperature. The maximum solubility of aluminum in silicon at the eutectic temperature is still questionable, and according to some literature data is approx. 0.015% [12]. The concentration of silicon, which corresponds to the eutectic reaction, is still not accurately defined or accepted among researchers, despite the

fact that this diagram has often been investigated. In the available literature the following values for eutectic concentration of silicon were found: 11.9wt.%[13], 12.3wt.% [14] and 12.6wt.% [12]. In this work the value of 12.3 wt% of Si will be used as the eutectic concentration of silicon as well as 577^{o}C as the temperature at which eutectic reaction occurs.

The purpose of this paper is to develop a general method for the calculation of the characteristic solidification temperatures (liquidus temperature, Al-Si and Al-Si-Cu eutectic temperatures) of multi-component hypoeutectic aluminum-silicon copper alloys, based on their known chemical compositions. The accuracy of the developed algorithms will be determined by comparing the calculated values of the characteristic solidification temperatures with the measured values obtained using the thermal analysis technique. In addition, the various software packages will be used to calculate characteristic solidification temperatures and the obtained results will be compared with the calculated temperatures determined using the SiEQ procedure. The applicability of the equivalency algorithm to calculate some other thermo-physical properties (latent heat) of aluminum alloys will be also briefly discussed in this paper.

Development of the Silicon Equivalent (Si_{EQ}) Algorithm

The liquidus and solidus temperatures of the Al-Si phase diagram decrease uniformly with the increase in the amount of silicon and reach the minimum at the eutectic composition (12.3wt.%). The same behavior can be observed in the liquidus and solidus lines in most binary eutectic types of aluminum alloys as presented in Fig. 1[15].

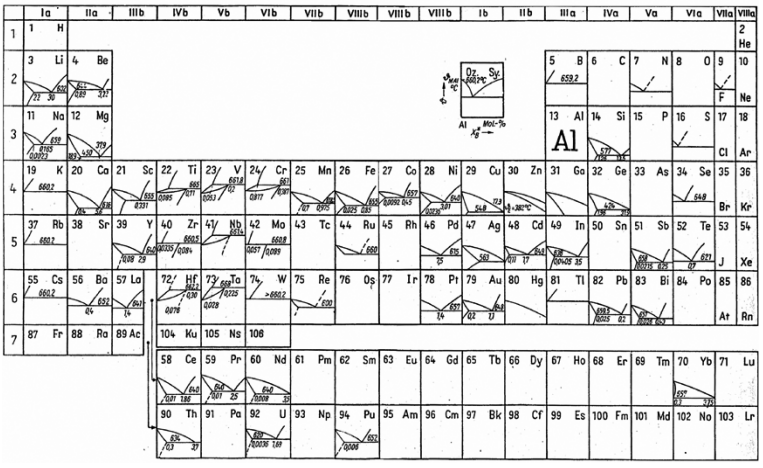


Figure 1 - Al-Xi binary phase diagram [15]
Slika 1 - Al-Xi binarni fazni dijagram [15]

Mathematically, the liquidus line of any eutectic binary Al-Xi phase diagrams from Fig. 1 can be accurately expressed by the second order polynomial as follows:

$$T^{Al\text{-}Xi}_{LIQ} = A - B \cdot Xi - C \cdot Xi^2 \quad (1)$$

where:

$T^{Al\text{-}Xi}_{LIQ}$ is the liquidus temperature of the binary Al-Xi system, °C

Xi is the amount of the alloying element in wt.%.

A is the melting point of pure aluminum: 660.452°C.

B, C, are polynomial coefficients.

Therefore, the liquidus line for the Al-Si binary system can be expressed respectively as follows:

$$T^{Al\text{-}Si}_{LIQ} = 660.452 - 6.11 \cdot Si - 0.057 \cdot Si^2 \quad (2)$$

The visual analysis of two liquidus lines of the binary systems, Al-Si and Al-Xi as presented in Fig. 2, shows that the "equivalent effect" on the liquidus temperature of the aluminum alloy can be obtained by using "equivalent" concentrations of Si and Xi alloying elements.

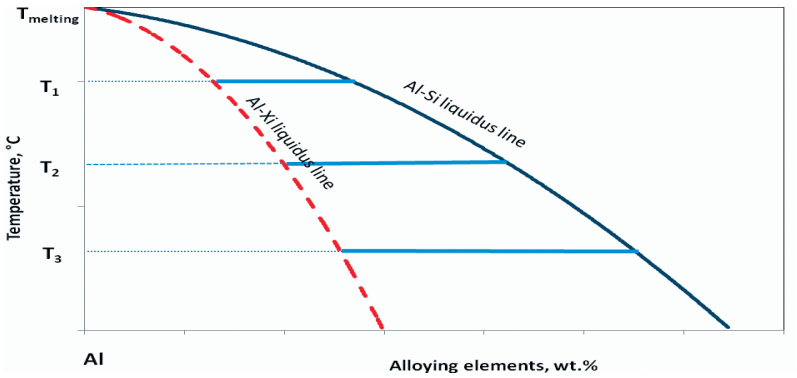


Figure 2 - Superimposed liquidus lines of Al-Si and Al-X_i binary systems
Slika 2 - Superponirane likvidus linije za Al-Si i Al-Xi binarne sisteme

This means that the influence of any alloying element in the aluminum melt on its liquidus temperature can be expressed as the effect of an "equivalent amount" of silicon (wt%). The isothermal concentration difference between the Si and Xi alloying elements can be mathematically expressed as follows:

$$Si^{Xi}_{EQ,\ @T = CONSTANT} = Si(wt\%) - Xi(wt\%) \quad (3)$$

Silicon as a major alloying element for hypoeutectic Al-Si-Cu series of alloys was chosen as the reference element. It is also known to have the most significant influence on the casting properties of Al-Si-Cu family of alloys (e.g. fluidity, latent heat and shrinkage).Taking into considera-

tion the whole temperature range between the melting temperature of pure aluminum and the eutectic temperature of an observed binary alloy, the following relationship can be established between Si^{Xi}_{EQ} and the concentration of the alloying element Xi:

$$Si^{Xi}_{EQ} = a_0^{Xi} + b_0^{Xi}\,Xi + c_0^{Xi}\,Xi^2 \qquad (4)$$

where:

Si^{Xi}_{EQ} is the silicon equivalent for any alloying element expressed in wt. %

a_0^{Xi}, b_0^{Xi}, c_0^{Xi} polynomial coefficients for a considered alloying element

Xi the concentration of alloying elements in wt%

Figs. 3a and 3b summarize the effect of some major, minor and other elements, such as impurities, grain refiners, silicon modifiers, etc. on the Si^{Xi}_{EQ}. Their effect has been expressed in the polynomial form according to Eq. (4).

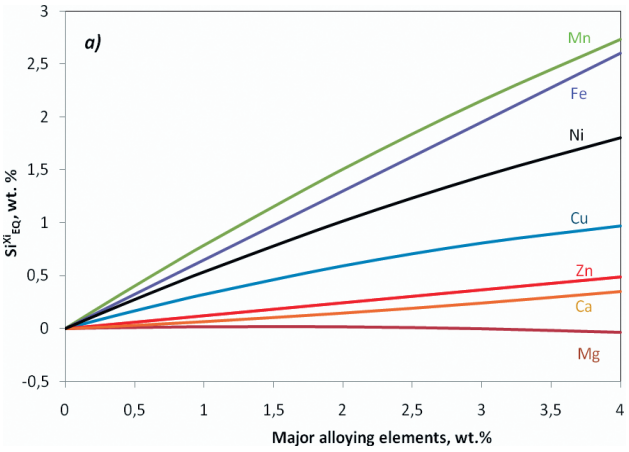


Figure 3 a - The effect of major alloying elements on the Si^{Xi}_{EQ} for hypoeutectic alloys
Slika 3 a - Uticaj glavnih legirajucih elemenata na Si^{Xi}_{EQ} za hipoteticke legure

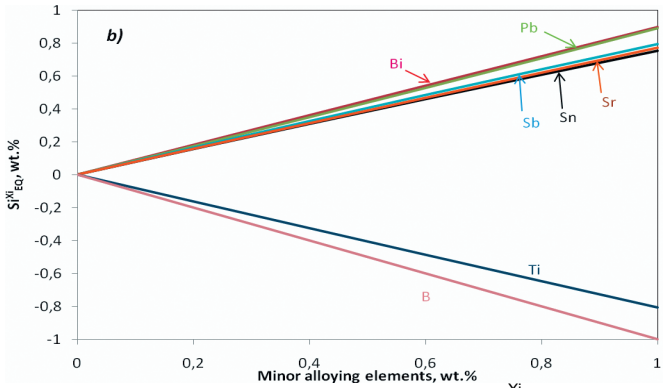


Figure 3 b - The effect of minor alloying elements on the Si^{Xi}_{EQ} for hypoeutectic alloys.
Slika 3 b - Uticaj minornih legirajucih elemenata na Si^{Xi}_{EQ} za hipoteticke legure

Manganese Mn has the strongest effect on the Si^{Xi}_{EQ} (Fig 3a). The effect of other major alloying elements decreases in the following order Fe, Ni, Cu, Zn, Ca and Mg, respectively. This order corresponds to the slope value ($\Delta T/\Delta Xi$) of the liquidus line for a particular binary Al-Xi phase diagram. The effect of some other elements on the value of the Si^{Xi}_{EQ} has been presented in Fig. 3b. It is interesting to notice the similar effect of grain refiners (Ti and B), silicon modifiers (Sr and Sb) and low melting points elements (Bi and Pb) on the increase or decrease of the Si^{Xi}_{EQ} value.The Si_{EQ} for alloying elements as well as for some impurity elements can be determined as a sum of individual contributors (ΣSi^{Xi}_{EQ}) plus the effect of silicon itself, and can be expressed as follows:

$$Si_{EQ} = Si + \Sigma Si^{Xi}_{EQ} \quad (5)$$

The characteristic solidification temperatures for multi component Al-Si-Cu series of alloys can be calculated using the following equations:

$$T^{Al\text{-}Si\text{-}Cu\text{-}\Sigma i}_{LIQ} = 660.452 - 6.11 \cdot Si_{EQ} - 0.057 \cdot Si_{EQ}^2 \quad (6)$$

$$T^{AlSi}_{,E} = 660.452 - ((6.11 \cdot Si_{EQ} + 0.057 \cdot Si_{EQ}^2) \cdot 12.3/Si \quad (7)$$

$$T^{Al\text{-}Si\text{-}Cu}_{E} = T_{LIQ} - (6.11 \cdot Si_{EQ} - 0.057 \cdot Si_{EQ}^2) \cdot 12.3/Si \quad (8)$$

Using the Si_{EQ} method some other thermo-physical properties such as fraction solid and latent heat [16] can also be calculated.

Literature Review of Equations for the Calculation of Characteristic Solidification Temperatures for Al- Alloys

In the available literature a number of published equations are found for calculation of the liquidus temperature from the known chemical composition of the iron base melts. Unfortunately, there are only two published equations for calculation of the liquidus temperature, related to multi-component aluminum alloys. These equations are shown below and later will be compared with the newly developed equations based on the Si_{EQ} algorithm. The best known equation for calculating the liquidus temperature of aluminum alloys (T_{LIQ}), based on their known chemical compositions, was developed by Drossel [8] using the multiple regression analysis of the experimental data:

$$T_{LIQ} = 661 - 4.97\ Si - 0.15\ (Si)^2 - 6.13\ Cu - 17.4\ Mg + 2.72\ Zn + 5.08 CuMg \quad (9)$$

Unfortunately, equation (9) is valid only for the following ranges of chemical compositions (expressed in wt%); therefore, its applicability is limited:

$Si \leq 9.30$; $Cu \leq 2.50$; $Mg \leq 0.60$; $Fe \leq 1.15$; $Mn \leq 0.40$; $Zn \leq 0.63$; $Ni \leq 0.43$;$Ti \leq 0.05$

The next equation for predicting T_{LIQ} of aluminum alloys, for Al-Si-Cu systems, has been developed by Vijayaraghavan at al. [9]. Using the data from the ternary aluminum-silicon-copper phase diagram and applying the multiple regressions analysis, the following mathematical relation has been obtained:

$$T_{LIQ} = 664 - 6.9\ Si - 2.5\ Cu \quad (10)$$

Equation 10, based on Al, Si and Cu concentrations only, fails to account for the potentially important influence of other components (for example Mg, Mn, Fe, Zn and Ti); therefore, a substantial error may be involved. This is evident from the fact that the equation's constant (664°C) is considerably higher than the known melting point of pure aluminum (660.452°C).

The available literature provides two equations developed by Modolfo [10] and Gruzleski [11] that can be used to calculate the aluminum-silicon eutectic growth temperature of the Al-Si-Cu series of aluminum alloys. These equations are based on the effect of the chemical composition of the melt on the depression of the aluminum-silicon eutectic temperature. The effect of each particular element has been derived using literature data and the authors' own experimental data. The equations read as follows:

$$T^{AlSi}_{,E} = 577 - (12.5/Si) * (4.43\ Mg + 1.43\ Fe + 1.93\ Cu + 1.7\ Zn + 3.0\ Mn + 4.0\ Ni) \quad (11)$$

$$T^{AlSi}_{,E} = 660.452 - (6.11\ Si + 0.057\ Si^2)(12.6/Si) - (3.4\ Cu + 1.34\ Fe + 6.3\ Mg + 1218.9Sr - 32965\ Sr^2 - 4.293\ Sb + 186.3\ Sb^2 - 495.5\ Sb^2), \quad (12)$$

– all the element amounts are given in weight percentages.

In the literature there are no equations for calculating the Al-Si-Cu eutectic temperature or the solidus temperature for the Al-Si series of alloys.

Experimental Procedure Materials

Twelve synthetic hypoeutectic Al-Si-Cu compositions were made by melting a charge of Al-5wt.% Si, Al-7wt.% Si, Al-9wt.% Si and Al-11 wt.% Si base alloys and adding 1, 2 and 4 wt.% Cu. The chemical compositions of the resulting alloys, as determined using Optical Emission Spectroscopy, are shown in Tab. 1.

Table 1 - Chemical compositions (wt.%) of the experimental synthetic aluminum alloys and their characteristic T_{LIQ} and $T^{AlSi}{}_{E}$ temperatures measured using the Thermal Analysis (note that only major alloying elements are summarized).

Tabela 1 - Hemijski sastavi (u tezinskim procentima) za eksperimentalne sinteticke legure aluminijuma i njihove karakteristicne legure T_{LIQ} and $T^{AlSi}{}_{E}$ merene koriscenjem termijske analize (samo glavni legirajuci elementi su ovde prikazani)

Alloy	Si	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn	T_{LIQ}	$T^{AlSi}{}_{,E}$	$T^{AlSiCu}{}_{,E}$
AlSi5Cu1	4.85	1.03	0.14	0.27	0.01	0.01	626.6	572.4	543.6
AlSi5Cu2	5.01	2.06	0.13	0.25	0.01	0.01	622.8	569.2	534.5
AlSi5Cu4	4.89	3.85	0.13	0.26	0.01	0.01	618.3	562.4	512.5
AlSi7Cu1	7.13	0.96	0.14	0.28	0.01	0.01	613.3	573.1	526.0
AlSi7Cu2	7.05	1.98	0.13	0.28	0.01	0.01	610.0	569.1	508.0
AlSi7Cu4	6.75	4.38	0.14	0.28	0.01	0.01	604.6	569.3	509.6
AlSi9Cu1	9.16	1.05	0.14	0.27	0.01	0.01	597.3	572.4	516.3
AlSi9Cu2	9.02	2.44	0.12	0.27	0.01	0.01	589.9	570.2	506.5
AlSi9Cu4	9.45	4.38	0.14	0.27	0.01	0.01	584.4	566.4	502.8
AlSi11Cu1	10.84	0.94	0.14	0.27	0.01	0.01	579.4	574.5	509.3
AlSi11Cu2	10.92	1.95	0.14	0.26	0.01	0.01	576.7	573.2	501.6
AlSi11Cu4	10.55	4.36	0.13	0.27	0.01	0.01	567.7	NA	NA

Melting Procedure

The alloys were melted in a reverberatory furnace. During processing, the melt was covered with a protective nitrogen gas atmosphere to prevent hydrogen and oxygen contamination. No grain refining agents were added to the melt. The ingots used were pre-modified with Sr.

Thermal Analysis (TA) Procedure

The samples with the masses of approximately 300g $\pm$ 10g were poured into stainless steel cups. Two specially designed supersensitive K type thermocouples were inserted into the melt and the temperatures between 750 – 400^{o}C were recorded. The data for TA was collected using a high-speed National Instruments Data Acquisition system linked to a personal computer. Each TA trial was repeated three times. Consequently, 36 samples were gathered in total.

Results and discussion

Numerical solidification models have become an important tool for increasing quality and reducing the production costs of cast parts. These numerical models offer a greater potential for improving product quality and leading to a better understanding of the physics of solidification. Without accurate input data the predictions of models are meaningless. Presentl, there is a lack of accurate thermo-physical properties data for most of the Al-Si series of aluminum alloys. Therefore, the purpose of this paper was to develop a mathematical/analytical model for calculating a characteristic solidification temperature for hypo Al-Si-Cu alloys based on their chemical compositions.

In order to statistically evaluate the accuracy of equations (6-11), additional twelve alloys (see Table 2) have been chosen from the literature [11, 17-22]. The main purpose for taking into consideration all 24 alloys (12 alloys from the literature and 12 alloys from the current experiments) was to statistically prove the reliability of the newly developed silicon equivalency concept and to check the accuracy of the newly developed equations (6-8) over a wide chemical range. All calculated liquidus temperatures are compared with the measured ones, and the corresponding statistical parameters of this data are presented in Table 3.

Table 2 - Chemical compositions (wt.%) of Al-Si-Cu alloys and their characteristic T_{LIQ} and $T^{AlSi}_{NUC,\,E}$ temperatures measured using the Thermal Analysis

Tabela 2 - Hemijski sastavi (u tezinskim procentima) za Al-Si-Cu legure i njihove karakteristicne temperature T_{LIQ} i T^{AlSi}_{NUC} merene koriscenjem termijske analize

Lit	Si	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn	T_{LIQ}	$T^{AlSi}_{,E}$	$T^{AlSiCu}_{,E}$
[17]	6.823	1.562	0.10	0.458	0	0.01	613.6	572.3	NA
[17]	7.034	2.325	0.08	0.503	0	0.01	610.8	571.6	NA
[17]	7.362	3.693	0.10	0.491	0	0.02	606.7	568.0	NA
[18]	5.10	2.91	0.30	0.27	0.05	0.03	622.8	567.2	NA
[18]	5.75	3	0.31	0.30	0.05	0.04	615.7	NA	NA
[19]	12	3.39	0.20	1.55	0.01	0.03	565.7	NA	NA
[20]	6.05	2.99	0	0.27	0	0.03	614	NA	NA
[21]	7	0.003	0.05	0.35	0.01	0.02	612.8	NA	NA
[22]	9.2	0.01	0.26	1.28	0.06	0.06	592	576.0	NA
[22]	9.3	2.6	0.52	0.59	0.11	0.51	585	566.0	492.0
[11]	5.9	3.3	0.21	0.01	0.02	0.07	616	563.8	520.0
[11]	5.01	1.4	0.22	0.52	0.02	0.02	622	570.0	540.0

Table 3 summarizes the following statistical parameters: multiple regression correlation coefficients – R^2, standard deviation - σ, average values, minimum and maximum differences between the calculated and the

measured temperatures. Table 3 shows that all three equations used to calculate the liquidus temperature of the Al-Si-Cu series of aluminum alloys according to the R^2 criteria show acceptable predictions. The statistical analysis reveals that the application of equations (9) and (10) for the calculation of liquidus temperature results in a higher standard deviation, and more scatter in the predictions compared to the proposed model equation (6).

Table 3 - Regression coefficients, standard deviations and average values of the liquidus temperature calculated using the Silicon Equivalency Method and the method developed by other authors.

Tabela 3 - Regresioni koeficijenti, standardna odstupanjaiprosecne vrednosti likvidus temperature racunate koriscenjem silicon ekvivalentnog metoda i metoda razvijenih od drugih autora

Statistical Data	T_{LIQ}			$T^{AlSi}{}_E$	$T^{AlSiCu}{}_E$
Equation #	(6)	(9)	(10)	(7)	(8)
R^2	0.98	0.95	0.97	0.88	0.77
Standard Deviations	2.81	3.89	3.33	1.39	7.26
Average Value	-1.75	5.75	-2.40	-1.07	-0.09
Minimum	-5.63	-1.96	-8.49	-2.96	-14.03
Maximum	2.08	12.33	2.73	2.77	10.62

Equation (9) developed by Drossel is less accurate than the other two equations, (6) and (10). One of the reasons for this is the fact that this equation is valid only for the following ranges of chemical alloy compositions (expressed in weight percent): Si $\leq$ 9.30; Cu $\leq$ 2.50; Mg$\leq$ 0.60; Fe $\leq$ 1.15; Mn $\leq$ 0.40; Zn $\leq$ 0.63; Ni $\leq$ 0.43; Ti $\leq$ 0.05

Therefore, the applicability is limited to alloys that have chemical compositions falling outside of the above mentioned ranges. Vijayaraghavan's equation (10), which shows statistically better results than Drossel's equation (9), is limited because it applies only to those alloys for which T_{LIQ} can be estimated using only Al, Si and Cu concentrations as independent variables. It fails to account for the potentially important influence of other components (e.g. Mg, Mn, Fe, Zn and Ti). Therefore, a substantial error is created in its estimate of the liquidus temperature in those cases where the components mentioned above have a considerable influence. This is evident from the fact that the equation's constant (664^{o}C) is considerably higher than the known melting point of pure aluminum (660.452^{o}C). Figs. 4, 5 and 6 depict a plot of the characteristic solidification temperatures for each of the aluminum alloys presented in Ta-

ble 1 and Table 2 versus their experimentally determined counterparts using equations (6), (7) and (8). The experimental temperatures have been measured using the Thermal Analysis technique.

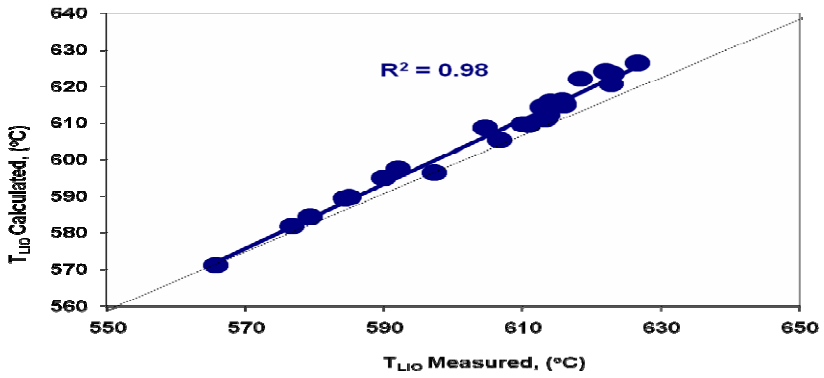


Figure 4 - Calculated versus measured liquidus temperature using equation (6)
Slika 4 - Izracunate u odnosu na merene likvidus temperature koriscenjem jednacine (6)

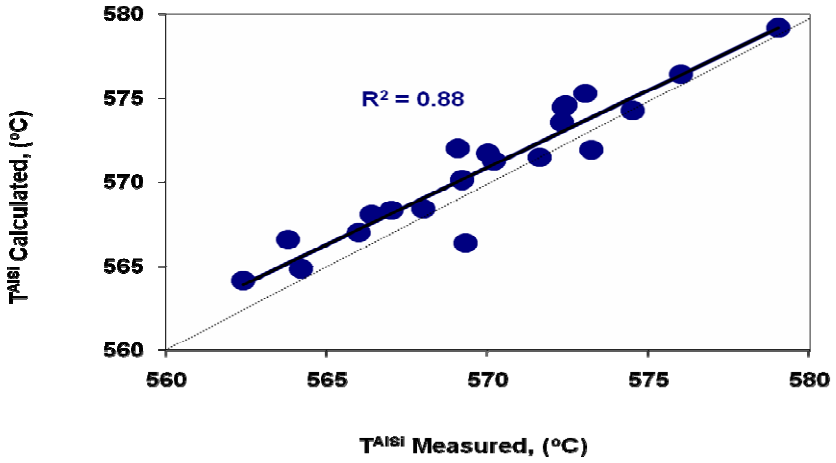


Figure 5 - Calculated versus measured Al-Si eutectic nucleation temperature using equation (7)
Slika 5 - Izracunate vrednosti u odnosu na merene Al-Si eutekticke temperature nukleacije koriscenjm jednacine (7)

The cooling curves and their first derivative have been used to determine the values of the characteristic liquidus temperatures for each particular chemical composition of alloys as presented in Table 1. For the same chemical composition the value of liquidus temperatures have been calculated using the Si_{EQ} method. Factsage, Thermocalc and Pandat software packages have been used also to calculate the liquidus tempe-

rature. Fig. 7 shows the comparison between the measured values of the liquidus temperature and the calculated ones obtained by applying various software packages. This Fig. 7 shows very good agreement between all applied calculating procedures.

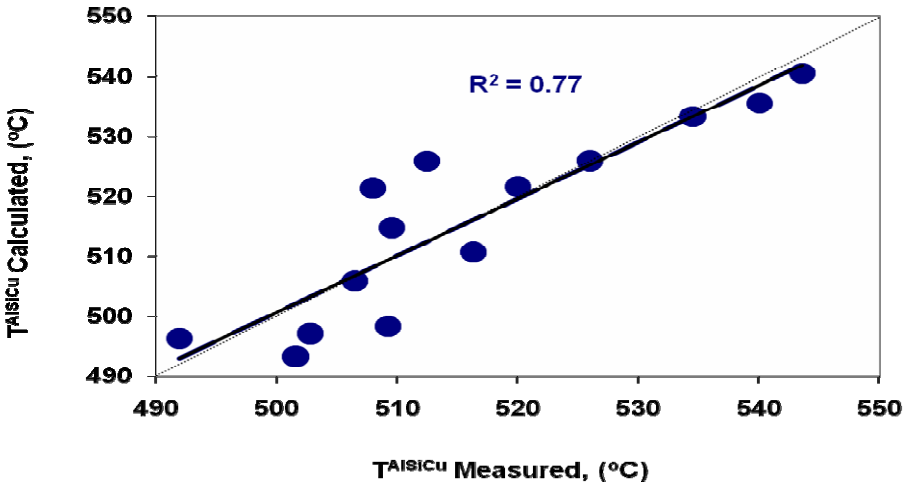


Figure 6 - Calculated versus measured Al-Si-Cu eutectic nucleation temperature using equation (8)
Slika 6 - Racunate vrednosti prema merenim Al-Si-Cu eutektickim temperaturama nukleacije koriscenjem jednacine (8)

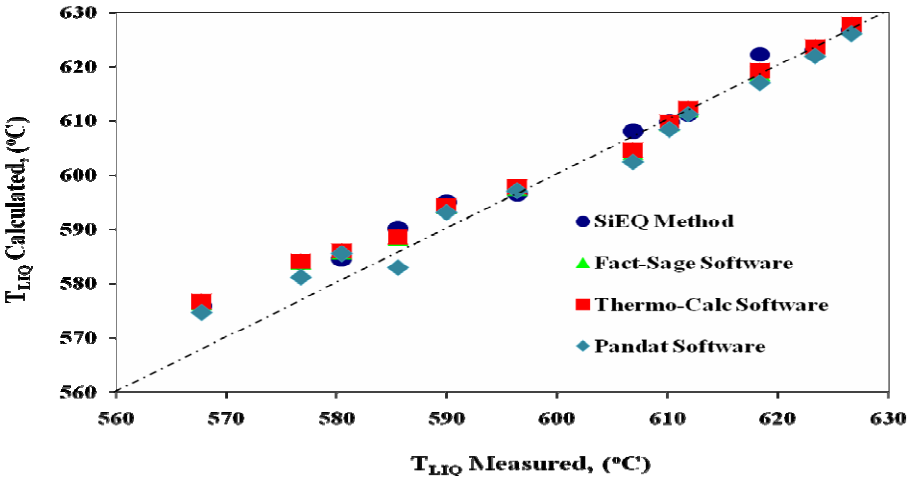


Figure 7 - Calculated versus measured liquidus temperature obtained using various analytical approaches.
Slika 7 - Racunate vrednosti prema merenim likvidus temperaturama dobijene korscenjem razlicitih analitickih pristupa

The accuracy of the calculated liquidus temperature in the proposed model equation (6) is dependent solely on the accuracy of the coefficients, by means of which a corresponding alloy content is converted into an equivalent silicon weight percent. However, these coefficients are derived from the liquidus lines in the respective binary systems, and their reliability is closely related to the accuracy with which the liquidus curves are experimentally determined and numerically fitted. Therefore, some inaccuracy is also observed by applying this method. In order to exclude this source of error, a re-examination of the liquidus lines on the silicon rich side of the respective binary systems or even better for the ternary Al-Si-Xi system would be necessary. Another advantage of a new Si_{EQ} method can be recognized in its application to calculate both eutectic temperatures in the Al-Si series of alloys. Potentially, a similar approach could be used to develop an equation for the calculation of the solidus temperature of aluminum multi component alloys.

Application of the Si_{EQ} procedure: calculation of the latent heat

The latent heat of solidification is a thermo physical property of the material. During the solidification process, every substance releases a certain amount of heat that characterizes this substance. By definition, the latent heat is the energy required to solidify 1kg of a liquid, expressed in J/g or J/mol. The mathematical modeling and simulation of the process of solidification of metals and alloys is inaccurate without the knowledge of this property. Therefore, there is always a necessity to show the value of the latent heat of any alloy in advance. For pure metal a good data library is available to obtain the value of latent heat [23, 24]. Unfortunately, there is no easy way to get the value for the latent heat of solidification of multicomponent alloys that solidify in a given temperature range (mushy zone), either using measuring techniques or calculating procedures. For all alloys which solidify in a given temperature range, the evolution of the latent heat begins at the liquidus temperature. The release of the latent heat continues until the alloy reaches its solidus temperature. In the mushy zone (the region between the liquidus and the solidus temperature), the substance is neither in a totally liquid phase nor in a totally solid phase, but is a mixture containing a fractional amount of both liquid and solid.

Several models of the latent heat release have already been proposed for modeling casting solidification. These models include the linear and quadratic releases of the latent heat between the liquidus and solidus temperatures, as well as the use of the Lever Rule and Scheil's equation [25]. Each of these models assumes that the amount of the latent

heat released is proportional to the increase of the fraction solid in the casting. The latent heat of solidification of any alloy depends on its chemistry and the microstructure developed during the solidification process. The solidification path of these alloys was observed and the corresponding latent heat released during solidification was measured using a Differential Scanning Calorimeter (DSC).

Applying the method of silicon equivalency, the multi-component aluminum alloys can be considered as pseudo binary Al-Si_{EQ} alloys. In this case the solidification path of these alloys can be described through a formation of a primary □-Al solid solution and through the precipitation of the Al-Si eutectic (secondary aluminum and primary silicon). Applying the Si_{EQ} method, the multi-component aluminum alloys are transferred into a recognized Al-Si_{EQ} pseudo binary system. Using the Lever Rule, the amount of primary α–aluminum can be calculated, assuming that the precipitated α-aluminum solid solution has the same value for the latent heat of solidification as pure aluminum. Applying the same principle, the amount of secondary aluminum present in the remaining eutectic as well as the amount of primary silicon can be calculated. For non-equilibrium solidification conditions the Scheil's equation could be applied to calculate the amount of fraction solid of primary and eutectic phases.

When the latent heat has been released under the equilibrium condition, the latent heat of solidification can be calculated as follows:

$$L^{Al\text{-}Si}_{HEAT\ of\ SOLIDIFICATION} = f^{\alpha\text{-}Al}_{PRIMARY}\ L_{HEAT\ of\ PURE\ Al} + f^{\alpha\text{-}Al}_{SECONDARY}\ L_{HEAT\ of\ PURE\ Al} + f^{Si}_{E}\ L_{HEAT\ of\ PURE\ Si} \quad (11)$$

The solidification path of 12 Al alloys from Table 1 and their corresponding latent heats released during the solidification process have been also experimentally determined and measured using a Differential Scanning Calorimeter (DSC) apparatus. The latent heat of solidification has been measured taking into consideration the area between the DSC curve and the base line. This area is proportional to the latent heat energy released during solidification. For the same chemical composition, the value of the latent heat has also been calculated using the novel Si_{EQ} method proposed in this work. Fig. 8 shows the comparison between the measured values of the latent heat of solidification and the calculated ones obtained by applying the novel algorithm for the calculation of the latent heat.

The results presented in Fig. 8 show a close agreement between the calculated and the experimental values for the latent heat. The high standard correlation ($R^2 = 0.9$) confirms that it is possible to estimate the latent heat of the solidification of the series of Al alloys that solidified under equilibrium conditions using the novel method based on the Si_{EQ} algorithm.

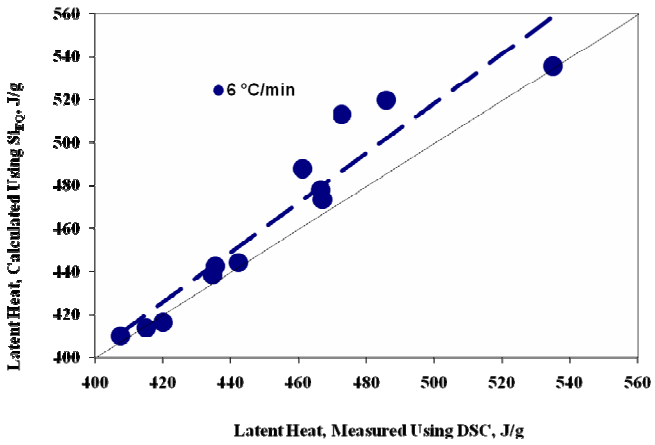


Figure 8 - Comparison between the measured and calculated values of the latent heat for the Al alloys taken from Table 1

Slika 8 - Poredjenje izmedju merenih i proracunatih vrednosti za latentnu toplotu za legure aluminijuma preuzetih iz tabele 1

Conclusions

A novel Si_{EQ} method has been used to calculate the liquidus temperatures of hypo multi-component aluminum-silicon alloys. The calculation procedures presented in this paper are more accurate than those found in the literature. Experiments have been carried out to observe the effect of chemistry of the series of Al alloys (Si = 5, 7, 9 and 11 wt% and Cu = 1, 2 and 4 wt. %) and the cooling rate (6°C/min) on the amount of the released latent heat during solidification. In this paper a novel method has been developed to rapidly calculate the latent heat of the solidification of the series of Al alloys. The model is based on the assumption that the latent heat of the alloy is released at the rate proportional to the formation of fraction solid during solidification. Multi-component aluminum alloys have been analyzed as pseudo binary by applying the already developed method of silicon equivalency. The results of these calculations were found to be fairly accurate in comparison to the measured values. It was noted that there is still a need for a possibility for improvement of the accuracy of the calculated latent heat values by including the effect of interaction among elements from the aluminum melt. According to the measured and calculated latent heat values for the Al-Si-Cu series of aluminum alloys, the latent heat of solidification is strongly dependent on the Si content and only slightly dependent on the Cu content.

References

[1] web site: http://www.magmasoft.de/

[2] web site: http://www.thermocalc.com/

[3] web site: http://www.factsage.com/

[4] web site: http://www.esi-group.com/products/casting/procast

[5] web site: http://www.calphad.org/

[6] web site: http://www.computherm.com/pandat.html

[7] web site: http://www.rwp-simtec.de/index.php?id=12

[8] Drossel, G.; "Der Einflusse von Schmelzebehandlungen auf die Dichtheit von Gusskoerpern aus Al-Si-Gusslegierungen", *Giessereitechnik*, vol. 27, No. 1, p. 7, (1981).

[9] Vijayaraghavan, R., Pelle, N., Boileau, J., Zindel, J. , Beals, R.; "A Micro Model for Al-Si Alloys", *Scripta Materialia*, vol. 35, No. 7, pp. 861, (1996).

[10] Mondolfo, L. F.: "*Aluminum Alloys, Structure and Properties*", Butterworths, London pp. 213/614 (1979).

[11] Tenekedjiev, H., Mulazimoglu, Closset, B. and Gruzleski, J., "*Microstructures and Thermal Analysis of Strontium Treated Aluminum Silicon Alloys*", American Foundrymen's Society, Inc. Des Plaines, Illinois, 1995.

[12] ASM Handbook Volume 3: *Alloy Phase Diagrams*, The Materials Information Society, 1992.

[13] Kissing, R. J. and Wallace, J. F.; Refinement of Aluminum-Silicon Alloys, *Foundry*, April 1963, p.74.

[14] Wang, O. G. and Davidson, J. C., "Solidification and Precipitation Behavior of Al-Si-Mg Casting Alloys'; *Journal of Materials Science* 36, 2001, pp. 739.

[15] Barthel, J., Buhrig, E., Hein, K., and Kucl, L.; *Kristallisation aus der Schmelze*, VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, Leipzig, (1983).

[16] Djurdjevic, M. B., et al.:, 'The Effect of Chemistry and Cooling Rate on the Latent Heat Released during the Solidification of the 3XX Series of Aluminum Alloys', *Materials Science Forum*, March 2007, Vols. 539-543, pp. 299-304.

[17] Djurdjevic, M. B. et al., "Calculation of Liquidus Temperature for the Aluminum 3XX Series of Alloys", *AFS Transactions*, 1998, v. 47, 143-147.

[18] Kearney, A.; "Thermatest thermal analysis system for quality control of molten aluminum", Proceedings from the Conference on Thermal Analysis of Molten Aluminum, Rosemont, Illinois, p. 169 (Dec. 11-12, 1984).

[19] Carbonier, J. and Rechiney, C.; "Foundry monitoring of aluminum alloys using thermal analysis", Proceedings from the Conference on Thermal Analysis of Molten Aluminum, Rosemont, Illinois, p. 121 (Dec. 11-12, 1984).

[20] Winter, B. P., Ostram, T. R., Sleder, T. A., Trojan, P. K., and Pehlke, R. D.; "Mould dilation and volumetric shrinkage of aluminum alloys in green and dry sand molds" *AFS Transactions*, vol. 87, p.259 (1993).

[21] Lakshmanan, A. N.; "Crystallization and dissolution studies of iron intermetallics in Al-Si Alloys", Ph.D. Thesis. Universite du Quebec a Chicoutimi, (1994).

[22] Bäckerud, L., Chai, G. and Tamminen, J.*;* "*Solidification Characteristics of Aluminum Alloys*", Volume 2, AFS/SKANALUMINIUM, Oslo, 1986, 95-105.

[23] ASM Specialty Handbook, *Aluminum and Aluminum Alloys*; Edited by J. R. Davis, ASM International The Materials Information Society: May 1994.

[24] web site: http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic.

[25] Djurdjevic, M. B. et al.; "Modeling of Fraction Solid for the 319 Aluminum Alloy", *AFS Transactions*, 1999, vol. 14, p. 173.

IZRAČUNAVANJE KARAKTERISTIČNIH TEMPERATURA OČVRŠĆAVANJA PODEUTEKTIČKIH Al-Si-Cu LEGURA PRIMENOM SILICIJUM EKVIVALENTA

OBLAST: hemijske tehnologije, materijali
VRSTA ČLANKA: originalni naučni rad

Rezime:

Modeliranje procesa livenja tema je koja je poslednjih nekoliko desetina godina neprestano prisutna u livarstvu i zajedno sa brojnim softverskim paketima, koji se sve češće primenjuju u dnevnoj livačkoj praksi, dobar su pokazatelj koliki interes livačka industrija ima danas u njihovoj primeni. Većina ulaznih podataka koji se koriste u ovim modelima/softverima najčešće je izvedena iz analize odgovarajućih dvojnih, trojnih i višekomponentnih dijagrama stanja. Nažalost, osim za binarne sisteme tačnost ovih podataka, nije potvrđena kod trokomponentnih i višekomponentnih sistema. Imajući u vidu da su binarni sistemi aluminijuma prilično detaljno i tačno ispitani, napravljen je pokušaj da se bilo koji podeutektički višekomponentni sistem aluminijuma prevede u Al-Si ekvivalentni binarni sistem (u konkretnom slučaju Al-Si binarni sistem je izabran kao ekvivalentni). Pri tome je uveden novi pojam, silicijum ekvivalent (Si_{EQ}), koji izražava uticaj bilo kog legirajućeg elementa prisutnog u leguri aluminijuma kroz ekvivalentnu količinu silicijuma. Novouspostavljeni algoritam primenjuje se za izračunavanje karakterističnih temperatura očvršćavanja višekomponentnih rastopa aluminijuma, kao i nekih njihovih termo-fizičkih osobina (npr. latentne toplote topljenja). Ovaj rad je potvrdio da se Si_{EQ} algoritam može koristiti za izračunavanje karakterističnih temperatura očvršćavanja kod višekomponentnih podeutektičkih Al-Si-Cu legura, kao i njihovih latentnih toplota topljenja. Statistička analiza dobijenih rezultata izračunatih primenom metode Si_{EQ} i izmerenih karakterističnih temperatura očvršćavanja višekomponentnih legura aluminijuma pokazala je veoma visoku korelaciju, čak i za slučaj kada su glavni legirajući elementi (Si i Cu) varirali njihove sastave u dosta širokim opsezima.

Ključne reči: *Al-Si-Cu legure, silicijum ekvivalent, Binarni dijagrami stanja, Likvidus temperature, Eutektičke temperature*

Datum prijema članka: 24. 10. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 06. 11. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 07. 11. 2011.

CORROSION AND CONSERVATION OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Bore V. Jegdić[1], *Slavica* S. Ristić[1],
Suzana R. Polić-Radovanović,[2] Ana B. Alil[1]
[1]Institute GOŠA, Belgrade
[2]CIK, Central Institute for Conservation

FIELD: Materials Science (Metals), Mechanical Engineering
(Surface Metal Protection Technologies)
ARTICLE TYPE: Review Paper

Summary:

This paper analyzed the conditions for the occurrence of corrosion processes on historically important weapons and military equipment made of steel during the period in outdoor environment. A considerable attention has been given to the characteristics of the most important corrosion products formed on the steel surface. The formation of akaganite, β-FeOOH is a sign of active corrosion under a layer of corrosion products. The conditions that cause the formation and regeneration of hydrochloric and sulphuric acid during the exposure to the elements were analyzed. The most often applied methods of diagnostics and procedures of removing active corrosion anions (desalination) were described as well. The NaOH solution of certain pH values still has the most important application for the desalination process. The procedures for cleaning the surface before the application of protective coatings and the application of chemicals that transform rust into stable compounds were discussed. As protective coatings, different types of organic coatings plated on well-prepared steel surfaces were used and sometimes special types of waxes as well. This paper presents the results of the tests of corrosion products taken from the exhibits of weapons and military equipment from the Military Museum in Belgrade.

Key words: (regular): *arms and military equipment, conservation, steels, corrosion, corrosion products.*

ACKNOWLEDGEMENTS:

The work was financed by the Ministry of Education and Science of Serbia, Project No. 34028, and by the Ministry of Culture of Serbia.

borojevic@yahoo.com

Jegodić, B. at al, Corrosion and conservation of weapons and military equipment, pp. 169–182

Introduction

Corrosion is the destruction of metals and alloys caused by chemical or electrochemical reaction with the surrounding environment [1]. Electrochemical corrosion is a result of the electrochemical reactions and liable to the law of the electrochemical kinetics. This includes all cases of corrosion in a humid atmosphere, in the soil, as well as corrosion in the electrolyte solutions. During electrochemical corrosion, two or more electrochemical reactions occur on metal surface at the same time. An anodic reaction is the dissolution of metal or transition metal ions in the solution, while a cathodic reaction is the reduction of oxidation agents occurring in the solution. It is usually the reduction of oxygen. In acidic media, the reduction of hydrogen ions occurs [1-3] at the same time.

Anodic current (current of metal dissolution) is called corrosion current Icorr and it can be taken as a measure of the corrosion process rate. Faraday's law connects the mass of dissolved metal with a value of corrosion current. In general (uniform) corrosion, anodic and cathodic reactions take place on the same surface, so the corrosion rate is expressed through the relation of the current and the surface, i.e. the corrosion current density, $j_{corr} = I_{corr}/A$. In the case of localized forms of corrosion, anodic and cathodic currents must also be equal, but the anodic and cathodic surface areas can be very different, because the dissolution of metal is much more intensive at some places [3].

Weapons and military equipment made of steel underlie to corrosion during the process of exploitation in the outdoor environment. On their surface a layer of corrosion products (rust) is gradually formed, with corrosion aggressive ions, such as chloride and sulphate anions, often incorporated in the rust structure. When certain weapons or military equipment get out of use and become important artifacts of cultural heritage, they are properly processed and conserved and become available, in the museums, to the future generations.

The types of corrosion

General (uniform) corrosion is characterized by a uniform decrease of the thickness of metal, without significant localized attacks. During this type of corrosion, the replacement of anodic and cathodic sites occur, resulting in approximately equal dissolution of metal on the whole metal surface. The corrosion rate is usually expressed by the penetration of corrosion into the depth of metal, in definite time and expressed in the μm $year^{-1}$. This form of corrosion is much less dangerous related to the localized forms of corrosion. On the metal surface, more or less insoluble layer of corrosion products can be formed, slowing down the progress of further corrosion [3].

Galvanic (contact or bimetallic) corrosion occurs during the contact of two or more different metals or alloys in the presence of electrolyte. The basic conditions for the appearance of this type of corrosion are an electrical contact between dissimilar metals, the presence of electrolyte and the potential difference between metals in contact. A layer of atmospheric moisture or hygroscopic salts and impurities on the metal surface can play the role of the electrolyte. A great impact for the occurrence of galvanic corrosion has the conductivity of the electrolyte, where corrosion is more intense when the conductivity of the electrolyte is higher. Corrosion is limited to the narrow surface of metal in contact at low electrolyte conductivity. At higher conductivity of the electrolyte, corrosion can occur at larger distances between different metals. For contact corrosion, the potential difference between metals is essential. If the potential difference is greater, contact corrosion is more intense. Based on the galvanic series of metals (ASTM G 82) we can predict the behaviour of different metals in contact, in corrosion environments in particular. As it is known, galvanic series are series of metals arranged in order of increasing values of their electrode potentials in certain corrosion environments. During the contact corrosion, the anode to cathode surfaces ratio is important. If the lower metal surface with anodic behaviour is in relation to the metal surface with cathodic behaviour, the more intense is the corrosion of anode metal [3,4].

Pitting corrosion is a highly localized corrosion attack which forms corrosion holes (pits). It was found that pits are formed in the areas of destruction of the protective film on the metal surface. If the film is damaged mechanically or chemically, it should be restored or a pitting corrosion process will occur. In the presence of halide ions, especially Cl^- ions, pits formation usually occurs. While the temperature increases, the tendency of metals and alloys to form pits also increases. The formation of stable pits on the steel surface will not occur if the temperature is lower than some critical value, which is called the critical pitting temperature [3].

Crevice corrosion more often occurs in the places of contact between structural elements, if they form a crevice magnitude of 0.1 mm. The phenomenon of crevice corrosion is based on differential aeration. In areas with higher concentrations of oxygen, the cathodic reaction takes place, while in places with lower concentrations the anodic reaction occurs. Therefore, due to a difficult access of oxygen, steel within the crevice is rapidly dissolved. Also, due to the hydrolysis of metal ions in crevices, acidic environment forms reducing the pH value, which further accelerates the metal dissolution process. This type of corrosion follows similar laws as pitting corrosion. If there is a greater conductivity of electrolyte and a bigger cathodic metal surface outside the crevice, the rate of metal dissolution in the crevice is higher [3,5].

Intercrystalline corrosion is a form of local corrosion, manifested by the dissolution of the grain boundary area. An improper heat treatment of some aluminium alloys or austenitic and ferritic stainless steels causes the precipitation of certain phases at grain boundaries and then fast inter-

granular corrosion [3]. This type of corrosion causes a large deterioration in the mechanical properties of metals. Intergranular corrosion is not found in structural carbon steel, and it will not be further considered.

Selective corrosion (dealloyng) is a form of corrosion which leads to the selective dissolution of less rare alloy components. For example, the selective dissolution of Zn, so-called dezincification, takes place on brass surfaces and leaves a porous, mechanically weak matrix of Cu. The presence of chloride ions and the increase in temperature accelerate dezincification. Selective corrosion occurs in other alloys, e.g. graphitization in cast iron, dealuminization in Al-bronze, or denikelization in Cu-Ni alloys [3].

Stress corrosion cracking is a process which occurs when the necessary electrochemical, mechanical and metallurgical conditions exist. When hydrogen ions are present at the crack tip as the product of corrosion reactions, the crack growth can occur by the process of local hydrogen embrittlement. These processes are often the cause of fractures in exploitation. The environments that cause stress corrosion cracking are usually water-based and they can be solutions or adsorbed moisture layers. Stress corrosion cracking usually takes place by influence of specific ions present in the corrosion environment. For example, stress corrosion cracking of the brass, traditionally called a season cracking, usually occurs in the presence of NH_4^+ ions. Chloride ions cause cracking of aluminium alloys and stainless steel, while hydroxyl ions cause cracking of structural carbon steel. Stress corrosion cracking usually starts at surface defects formed during mechanical processing, welding, etc. It can also start at surface defects created during the process of corrosion, such as pitting, intercrystalline corrosion, etc. [3].

Microbiological corrosion is a form of corrosion in which micro organisms play an important role. Micro organisms can initiate or accelerate corrosion processes. For example, certain micro organisms, present in water or other corrosion environments, can produce a bio film on the metal surface. Since the metal surface is not uniformly covered by the bio film, a concentration cell is formed and corrosion processes initiated. In addition, the metabolic products of micro organisms can cause the acidification of the local environment. It changes the corrosion behaviour of metals. The changed kinetics of anodic and cathodic reactions affects the protective properties of the surface film or causes the formation of corrosive deposits [3].

The environmental factors that cause damage

Most types of structural carbon steels corrode when exposed to the outdoor environment without protective coatings. A layer of rust formed on the steel surface is porous, poorly adherent and it often cracks. Layers of rust provide little protection to the base metal from the effects

of oxygen and moisture. Cracking and destruction of rust layers occur as a consequence of the formation of new corrosion products of steel whose molar volume is approximately three times higher than the molar volume of steel. Generally, carbon steels have a higher corrosion rate in the outdoor environment than aluminium, copper, lead or zinc, particularly in industrial and coastal conditions [6,7]. Some corrosion products formed on the steel surface exposed in the open air are shown in Table 1.

Corrosion of steel is an electrochemical process: anodic reaction is oxidation of Fe to Fe^{2+} ions and the cathodic reaction is usually a reduction of dissolved oxygen. When Fe^{2+} ions are present in a solution, different types of corrosion products can be formed and can precipitate on the steel surface. A rust layer generally includes the inner layer of black magnetite, Fe_3O_4 (and other amorphous steel corrosion products) and the outer layer of iron oxy-hydroxide: goethite, α-FeOOH, lepidocrocite, γ-FeOOH and akaganite, β-FeOOH. Other corrosion products can be formed, depending on the ions present in the environment [6,7].

Sulphate ions accelerate the steel corrosion rate. Iron (II) sulphate compounds are formed when steel corrodes in the presence of sulphate ions. During the evaporation of water, iron (II) sulphate crystallize (rozenite, $FeSO_4$ $4H_2O$, siderotile, $FeSO_4$ $5H_2O$, melanterite, $FeSO_4$ $7H_2O$). In the presence of moist air, iron (II) sulphate oxidizes and hydrolyzes by reaction [8]:

$$FeSO_4 + 1/4O_2 + 3/2H_2O \rightarrow FeOOH + 2H^+ + SO_4^{2-} \quad (1)$$

It can be seen from reaction (1) that the precipitation of iron oxy-hydroxides (lepidocrocite, goethite) occurs, and sulphate ion appears in the form of sulphuric acid. Sulphuric acid gives to sulphate ions a capability of re-action on the remaining metal surface, forming a corrosion cycle. A certain amount of sulphate ions is removed from the solution (corrosion cycle) because they are incorporated into the layer of rust as a relatively insoluble iron (III) hydroxide sulphate, as butlerite, jarosite or natrojarosite.

Table 1. Some corrosion products identified on a steel surface exposed to the outdoor environment [6].

Tabela 1. Neki korozioni produkti identifikovani na površini čelika izloženih otvorenom prostoru [6].

Chemical name	Mineral name	Chemical formula	Color
Iron oxide	Magnetite	Fe_3O_4	Black
Iron oxy-hydroxide	Goethite	α-FeOOH	Yellow-brown
Iron oxy-hydroxide	Akaganeite	β-FeOOH	Red-brown

Iron oxy-hydroxide	Lepidocrocite	γ-FeOOH	Orange
Iron sulphate tetrahydrate	Rozenite	$FeSO_4$ $4H_2O$	Green
Iron sulphate pentahydrate	Siderotil	$FeSO_4$ $5H_2O$	White
Iron sulphate heptahydrate	Melanterite	$FeSO_4$ $7H_2O$	Blue-green
Iron hydroxide sulphate dihydrate	Butlerite	$Fe(OH)SO_4$ $2H_2O$	Orange
Iron potassium hydroxide sulphate	Jarosite	$Fe_3K(OH)_6(SO_4)_2$	Yellow-brown
Iron sodium hydroxide sulphate	Natrojarosite	$Fe_3Na(OH)_6(SO_4)_2$	Yellow-brown

Chloride ions are easily transported through the layer of rust where they can attack steel, form soluble salts and the complexes of iron chloride, and cause a rapid corrosion of steel. During the corrosion of steel in the solutions containing low concentrations of chloride ions, goethite and lepidocrocite start to precipitate; however, at higher concentrations of chloride ions, the other iron oxy-hydroxide, known as akaganite, is formed. Akaganeite is usually written as β-FeOOH; however, since chloride ions incorporate and stabilize its structure, the chemical formula that includes chloride ions is $FeO_{0.833}(OH)_{1.167}Cl_{0.167}$. Chloride ions increase the corrosion rate of steel, because they participate in the following corrosion cycle [9]:

$$2Fe + 4H^+ + 4Cl^- + O_2 \rightarrow 2Fe^{2+} + 4Cl^- + 2\ H_2O \quad (2)$$

$$2Fe^{2+} + 4Cl^- + 3\ H_2O + ½\ O_2 \rightarrow 2FeOOH + 4H^+ + 4Cl^- \quad (3)$$

The most important stage in this cycle is that chloride ions form a soluble salt with iron (II) ions, which allows that the cycle flows. If the iron (II) chloride is insoluble, then it will be precipitated and the cycle will be broken.

Crevice corrosion can occur on any metal sculpture in the outdoor environment, but it usually occurs under crevices, for example on complex weapons and military equipment [10-13]. Gaps exist on the metal-metal joints or joints metal-other material, such as seals, biological or external sludge deposits. The rate of diffusion of oxygen into gaps is limited, so an oxygen concentration cell is formed within the crevice area [5,6]. This area becomes anodic and corrodes (Fig. 1). The acidity and concentration of dissolved metal ions in the gap increase, causing a significant increase of the corrosion rate of steel. The progress of crevice corrosion is frequently observed visually by leaking outside the crevice edge of the dissolved corrosion products of steel.

The desalination of weapons and military equipment

In the conservation of the museum artifacts of weapons and military equipment, the diagnostic of the exhibits with different non-destructive methods is a very important step. Visual observations of archaeological artifacts covered with a thick layer of corrosion products are not possible for the estimation of how much is left of non-corroded metal and whether there are cracks or other defects in the base metal (Fig. 2a). Most authors consider that the radiographic method is the most reliable to evaluate the amount of non corroded steel, and the types and forms of damage (Fig. 2b). Multiple radiographic examinations give reliable results [14]. Fig. 3 shows the artifacts from the weapons collection in the Military Museum in Kalemegdan, during the radiographic examination.

Figure 1. Russian tank T34 from World War II (Military Museum in Belgrade)
Slika 1. Ruski tenk T34 iz drugog svetskog rata (Vojni muzej u Beogradu)

a) b)

Figure 2. a) Fibula from the Roman times BC (before conservation), covered with a layer of corrosion products (Museum in Novi Sad), b) Radiographic image of an MS 4 revolver (Museum in Smederevo)
Slika 2. a) Kopča iz rimskog perioda pre nove ere (pre konzervacije), prekrivena slojem korozionih produkata (Muzej u Novom Sadu), b) radiografski snimak revolvera MS 4 (Muzej u Smederevu)

Another important step before the conservation is desalination of artifacts. The desalination treatments of corroded, historically important artifacts of weapons and military equipment are designed to remove as many chloride ions as possible from the layer of corrosion products (Figure 2a). Alkaline solutions, which allow the desorption of chloride ions and also lead to the passivation of the iron and steel surface, are usually applied [7,15].

North and Pearson [16] have developed a model that describes the process of diffusion of chloride ions from the layer of corrosion products, where, as they assumed, Cl^- ions are equally distributed within the layer of corrosion products. Their model, considered as a uniform model, gives an overall picture of the diffusion of chloride ions from the surface of artifacts of any shape. The model predicts that the chloride ions diffuse into the desalination solution immediately after their immersion, because they are uniformly distributed in a layer of corrosion products. Another model of the diffusion of Cl^- ions, developed by Selwyn et al. [17], is based on the fact that the chloride ions in the initial period are concentrated on the border between the steel surface and a layer of corrosion products. The model (abrupt model) predicts a time delay before the appearance of chloride ions in the desalination solution. The time delay corresponds to the period required for the diffusion of chloride ions from their initial position at the border with the steel surface, through the layer of corrosion products and finally into the desalination solution.

a) b)

Figure 3. Radiographic recording a) barrel of the French ship cannon, AN 1808 RUELLE, b) barrel of the French cannon 75/27 model 1911 Deport (Military Museum in Kalemegdan in Belgrade)

Slika 3. Prikaz radiografskog snimanja: a) cev francuskog brodskog topa AN 1808 RUELLE, b) cev francuskog topa75/27 model 1911 Deport (Vojni muzej u Beogradu)

Two key factors that affect the ability of chloride ion diffusion out of corrosion products are: whether the steel still corrodes in the desalination solution and whether the layer of corrosion products is porous enough to allow the diffusion of Cl^- ions into the solution [15]. If steel corrodes during the process of desalination, chloride ions will be attracted to new ions generated by Fe^{2+} corrosion and will prevent their diffusion into the surrounding solution. In the alkaline solution on the steel surface, a protective film of iron (II)

hydroxide is formed and gradually transformed into low soluble iron (III) hydroxide. Conservators usually used aqueous solutions of NaOH (0.1 to 0.5 mol dm^{-3}, pH 13-14) for the treatment of steel artifacts, and neutral EDTA solutions for treating non-ferrous metals and complex artefacts made of iron (steel) and other non-ferrous metals [15,18]. The treatments in NaOH solutions are very effective because of their high pH values that help in stopping the corrosion process by the passivation of steel surface, reducing the gradient of the electrical potential on its surface [15].

In order to reduce the steel corrosion rate, treatments that remove oxygen from the desalination solution are sometimes applied. Inert gas (e.g. nitrogen) passing through the solution is also applied [6,15]. Oxygen scavengers are used as well, such as sodium sulphite (Na_2SO_3). In addition to neutral sodium sulphite, the application of an alkaline solution known as alkaline sulphite (0.5 mol dm^{-3} NaOH + 0.5 mol dm^{-3} Na_2SO_3, pH 13.5) has recently been found [15]. One of the procedures that slows down the steel corrosion rate and facilitated the diffusion of chloride ions is the application of different types of electrochemical treatments [15]. In this case, the artifact must have a significant non-corroded metal core. Fig. 4 shows the composition of the crystalline phases present in the corrosion products taken from Cannon 75/27, prior to its conservation. The radiographic diagnostics and the testing of composition corrosion products are performed on this artifact [19]. It can be seen that, in addition to common corrosion products, the corroded steel surface shows the presence of akaganite, β-FeOOH, which contains incorporated chloride ions in their crystal structure.

The concentration of extracted chloride ions is usually continuously measured during desalination processes (eg. from NaOH solutions). The potentiometric titration, the ion-selective electrode or the ion chromatography methods are applied in order to determine the moment when chloride ions are almost completely extracted from the layer of corrosion products [15].

The conservation of weapons and military equipment

Conservators carry out the conservation procedures with the least possible damage to the weapons and military equipment in order to save them for the next generations. They take into account historical significance of artifacts and tend to maintain, as much as possible, the original materials by using the techniques that minimally damage metal surfaces. Conservators choose renewable coatings that can be removed and applied again in the future. Reparations of damaged parts or replacements of missing parts are often done. Galvanic corrosion is avoided by

applying the same material as the one weapons and military equipment were made of or by applying non-conductive materials to separate different metals (non-conductive polymers, teflon, seals, etc.). When the direct contact between dissimilar metals cannot be avoided, a risk from galvanic corrosion is reduced by applying the metals that are located in the galvanic series as close to the original ones as possible [3,6].

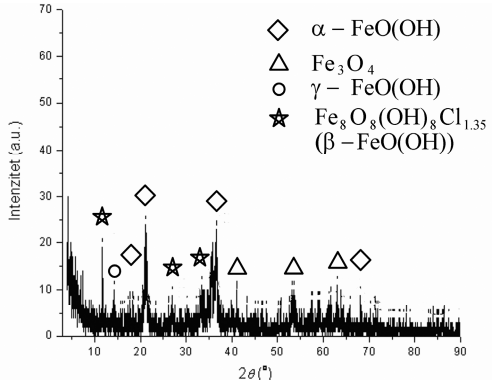


Figure 4. XRD diagram of the corrosion products taken from the French Cannon 75/27 model 1911 Deport.

Slika 4. XRD dijagram korozionih produkata uzetih sa francuskog topa 75/27 model 1911. Deport.

Cleaning and maintenance of the immediate environment of artifacts are carried out during the regular inspections of artifacts. Accumulated debris, leaves, and possibly the nests of birds and animals should be removed. Trees and local vegetation are cut down to allow a good air circulation and to deter birds. Graffiti are removed and damage identified in order to take repairing measures. Artifacts are washed with mild soap and water to remove accumulated dirt, salt and bird droppings. To repair small defects, wax coatings are applied. Frequent controls help in faster identification of problems [3,6].

Before removing old organic coatings, their content is tested for lead. Rigorous precaution conditions must be guaranteed upon the removal of such coatings because of the toxicity of lead. Red lead was used in the past as a barrier layer with very strong inhibitor properties, and white one as a pigment in organic coatings, for outdoor use. Organic coatings that contain lead are forbidden in many countries today [6].

The standard procedure for surface preparation before applying the organic coating is to remove all kinds of dirt, old coatings, existing rust, either chemically (eg., phosphoric acid, chemicals for removing organic coatings) or mechanically (e.g. abrasive blast). The drawback in the application of chemicals is that they can penetrate into the inner space, where it is difficult to remove them completely. Chemical removal of organic coatings or rust is usually limited to weapons and military equipment that can be completely disassem-

bled, cleaned, rinsed and reassembled. When applying the method of abrasive blast cleaning, the choice should be made among the materials and methods that least damage metal surface (e.g. soft abrasives and low pressures) and efficiently remove the surface material without damaging the historical importance of the base metal. The method of dry abrasive cleaning was used to remove organic coatings and rust from the surface of weapons and military equipment. The wet abrasive method is not commonly used because of some problems with subsequent rusting wetted areas of metals. However, this method is particularly suitable for removing pollution containing chlorides and sulphates on the steel surface. Unless soluble salts are removed prior to the application of organic coatings, it will cause premature deterioration of coatings [6].

Another approach to the preparation of rusted steel surfaces before applying the organic coatings is to remove rust and impurities that can be easily removed, while retaining the compact layer of rust with good adhesion on the metal surface. The steel surface is then treated with a chemical agent that converts rust, and the organic coating is applied [3,6]. Chemical agents for the rust conversion contain a polymer component (which accepts the cover compatible polymer coating) and tannic acid (which reacts with rust and form a blue-black film iron (III) tannate).

The application of organic coatings on steel is a common and effective method of controlling the process of rusting. It is important to apply a compatible system of the organic coatings according to the manufacturer's instructions. When the steel surface is properly cleaned (with removed chloride ions as well), the first basic grunt layer of the organic coating is applied and then the final cover layer of the compatible organic coating. A large number of different basic layers and the final cover organic coatings for the corrosion protection of weapons and military equipment in the outdoor environment are used [20]. Alkyd coatings are often used because of their relatively efficient protection against atmospheric corrosion and are easy to maintain [3,6]. Fig. 5 shows the conserved weapons from the collections of the Military Museum in Belgrade, shown in Fig. 3 during the radiographic examinations.

a) b)

Figure 5. a) French ship cannon AN 1808 RUELLE b) French Cannon, model 75/27 1911 Deport (Military Museum in Belgrade)

Slika 5. a) francuski brodski top AN 1808 RUELLE, b) francuski top 75/27 model 1911 Deport (Vojni muzej u Beogradu)

The application of wax coatings (and other coatings to prevent corrosion) is another method used to control rusting of weapons and military equipment in the outdoor environment. The applications of these coatings do not require complete removal of the existing rust and old organic coatings. It is necessary to degrease and remove dirt, as well as old coatings and rust layer of weak adhesion. Cleaning in the blast soft organic abrasive is confirmed as effective. Mixtures of waxes, such as these used to protect the surface of outdoor bronzes, are used for protection of steel surfaces containing a thin layer of rust with good adhesion. The commercial chemical products used to prevent corrosion (rust) were also used. These products, dried by solvent evaporation and based on petroleum, leave a protective film on the steel surface (the film often looks like wax), which provides some protection against corrosion in the outdoor environment. These products are used to protect military sculptures, industrial machinery and cast iron cannons [6].

Conclusions

This paper analyzes the corrosion processes on steel, the procedures to remove the corrosion active ions present in the layer of corrosion products (desalination) as well as the conservation of artifacts of weapons and military equipment.

The conditions affecting the corrosion processes in weapons and military equipment made of steel in the outdoor environment were analyzed. A considerable attention has been given to the description of the most important formed corrosion products. A sample of the corrosion products taken from Cannon 75/27 is given as an illustration of the experimental testing of the results. The corrosion product (akaganite, β-FeOOH) whose formation on the surface of the artifact is a sign of active corrosion of steel under a layer of corrosion products, identified on the cannon, is described.

In addition, the conditions that lead to the formation and regeneration of hydrochloric and sulphuric acid during the periods spent in the outdoor environment were discussed. The most applied procedures of removing corrosion active anions from the layer of corrosion products (desalination) were described. A desalination process in the NaOH solution of certain pH values still has the greatest application.

The paper also describes the metal surface cleaning before the application of protective coatings and the use of chemical agents that transform rust into a form of stable compounds. Various types of organic coatings, applied on the well-prepared surface of steels, are commonly used as protective coatings as well as special types of waxes.

Literature

[1] Revie, R. W. and Uhlig, H. H.: *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.

[2] Landot, D.: *Corrosion and Surface Chemistry of Metals*, Lausanne, Switzerland, 2007.

[3] Polić-Radovanović, S., Ristić, S., Jegdić, B. i Nikolić, Z.: *Metodološki i tehnički aspekti primene novih tehnika u zaštiti kulturne baštine*, Centralni institute za konzervaciju u Beogradu i Institut Goša, Beograd, str. 141-230., ISBN 978-86-86917-12-6

[4] Baboian, R.: *Galvanic Corrosion*, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Vol. 13A, ASM Handbook, ASM International, Ohio, 2003, pp. 210–213.

[5] Kelly, R. G.: *Crevice Corrosion,* Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Vol. 13A, ASM Handbook, ASM International, Ohio, 2003, pp. 242–247.

[6] Selwyn, L.: *Corrosion of Metal Artifacts Displayed in Outdoor Environments*, Corrosion: Environments and Industries, Vol. 13C, ASM Handbook, ASM International, Ohio, pp. 289-305.

[7] Selwyn, L.: *Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional*, Canadian Conservation Institute, 2004.

[8] Graedel, T. E. and Frankenthal, R.P.: *Corrosion mechanisms for iron and low alloy steels exposed to the atmosphere*, Journal of the Electrochemical Society, Vol. 137, No. 8, pp. 2385-2394, 1990.

[9] Askey, A., Lyon, S. B., Thompson, G. E., Johnson, J. B. Wood, G. C. Cooke M. and Sate, P., *The Corrosion of Iron and Zinc by Atmospheric Hydrogen Chloride,* Corrosion Science, Vol. 34, No. 2, pp. 233-247, 1993.

[10] Jovičić, S., *Primena sredstava za zaštitu od korozije–put ka ekonomičnijem održavanju*, Vojnotehnički glasnik /Military Technical Courier, Vol. 57, No. 2, pp. 94-100, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2009.

[11] Ilić, S. i Marjanović, G., *Fenomen erozije cevi naoružanja*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 3, pp. 28-42, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2009.

[12] Majkić, Z. Đ. and Vukčević, N. S., *Analiza vrsta I lokacija veza i nekih konstruktivnih zahteva pri ugradnji različitih tipova nadgradnji na transportna vozila*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 2, pp. 120-141, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.

[13] Donevski, D. V., *Metodologija izbora naoružanja za primenu na lakim terenskim točkaškim vozilima*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 2, pp. 29-40, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.

[14] Thickett, D., Lambarth, S. and Wyeth, P.: *Determining the Stability and Durability of Archaeological Materials*, 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem, Israel, 25-30 May 2008, pp. 1-10.

[15] Selwyn, L.: *Overview of archaeological iron: the corrosion problem, key factors affecting treatment, and gaps in current knowledge*, Proceedings of Metal 2004, National Museum of Australia, Canberra, 2004, pp. 4–8.

[16] North, N. A. and Pearson, C.: *Washing Methods for Chloride Removal from Marine Iron Artifacts*, Studies in Conservation Vol. 23, No. 4, pp. 174-186, 1978.

[17] Selwyn, L., McKinnon, W. and Argyropoulos, V.: *Models for Chloride Ion Diffusion in Archaeological Iron,* Studies in Conservation Vol. 46, No. 2, pp. 109-120, 2001.

[18] Stanković, S., B. Grgur, B., Krstajić, N. and Vojnović M.: *Kinetics of the zinc anodic dissolution reaction in near neutral EDTA solutions*, Journal of the Serbian Chemical Society, Vol. 68, No. 3, pp. 207–218, 2003.

[19] Jegdić, B., Ristić, S., Polić-Radovanović, S., Alil, A. and Rajaković-Ognjanović, V.: *Corrosion of Cannon 75/27, model 1911. Deport, from collection of the Military Museum in Belgrade*, FME Transactions (submitted article).

[20] Bučko, M. i Vujičić, V., *Ispitivanje mogućnosti primene poliamid-polietilenske folije za konzervaciju tehničkih sredstava*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 56, No. 4, pp. 48-55, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2008.

KOROZIJA I KONZERVACIJA NAORUŽANJA I VOJNE OPREME

OBLAST: materijali (metali), mašinstvo (tehnologije površinske zaštite metala)
VRSTA ČLANKA: pregledni rad

Sažetak:

U radu su razmotreni uslovi pri kojima dolazi do korozije istorijski važnog naoružanja i vojne opreme izrađenog od čelika tokom perioda provedenog na otvorenom prostoru. Znatna pažnja posvećena je razmatranju karakteristika najvažnijih korozionih produkata koji se pri tome obrazuju na površini čelika, među kojima i akaganita, β-FeOOH, čije obrazovanje predstavlja znak aktivne korozije čelika ispod sloja korozionih produkata. Analizirani su uslovi koji dovode do obrazovanja i regeneracije hlorovodonične, odnosno sumporne kiseline tokom perioda provedenog na otvorenom prostoru. Opisane su najčešće primenjivane metode dijagnostikovanja i postupci uklanjanja koroziono aktivnih anjona iz sloja korozionih produkata (desalinacija). Najveću primenu još uvek ima postupak desalinacije u rastvoru NaOH određene pH vrednosti. Razmotreni su postupci čišćenja površine pre nanošenja zaštitnih prevlaka i primena sredstava koji transformišu rđu u hemijski stabilna jedinjenja. U svojstvu zaštitnih prevlaka se koriste različite vrste organskih prevlaka nanešenih na dobro pripremljenu površinu čelika, a nekada se takođe koriste specijalne vrste voska. U radu je prikazan deo rezultata ispitivanja korozionih produkata uzetih sa eksponata naoružanja i vojne opreme Vojnog muzeja u Beogradu.

Ključne reči: *naoružanje i vojna oprema, konzervacija, čelici, korozija, korozioni produkti.*

Datum prijema članka: 11. 10. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 24. 11. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 25. 11. 2011.

MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF NICKEL- CHROME - BOR - SILICON LAYERS PRODUCED BY THE ATMOSPHERIC PLASMA SPRAY PROCESS

Mrdak R. *Mihailo*, IMTEL Institute of Microwave Techniques and Electronics, Belgrade

FIELD: Chemical Technology
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

This paper analyzes the influence of plasma spray parameters on the microstructure and mechanical properties of NiCrBSi coatings deposited by the atmospheric plasma spray (APS) process. The microstructure and mechanical properties of plasma spray coatings are determined by the interaction of plasma ions with powder particles when the rate and temperature of plasma particles are transferred to powder particles. The interaction effect directly depends on the time the powder particles spend in plasma, and that time is defined by the deposition distance for each type of powder, depending on the grain size, melting temperature and specific mass. In order to obtain homogeneous and dense coatings, three distances (70,120 and 170 mm) from the substrate were used in the research. The coating of the best structural and mechanical characteristics was remelted and fused to the base in order to obtain a better structure. Self - fluxing NiCrBSi alloys are widely used because of the good resistance of boride, carbide and silicide solid phases to wear and corrosion. The morphology of powder particles was examined in the SEM (Scanning Electron Microscope), while the microstructure of the layers was assessed using a light microscope. The microstructural analysis of the deposited layers was performed in accordance with the Pratt-Whitney standard. The mechanical properties of the layers were assessed by applying the HV0.3 method for microhardness testing and tensile testing was applied to test bond strength.

Key words: *(APS) atmospheric plasma spray process, microstructure, interface, microhardness, bond strength*, *NiCrBSi layer.*

Introduction

Nickel-based materials with the addition of a certain percentage of alloying elements such as Cr, Si and B have almost the same resistance to wear and corrosion as cobalt-based materials. The

miki@insimtel.com

advantage of these alloys compared to the stellite is that they have a lower melting tempetature, 1025 - 1150^{0}C, as well as lower cost and thermal stability. The resistance to surface wear and tribological characteristics of the parts in most cases are determined by their operational functions. The atmospheric plasma spray (APS) process is a thermal process which enables the formation of coatings that provide mechanical parts with a longer life, greater reliability and a higher degree of safety in operation. This procedure is one of the procedures commonly used for the deposition of powders for repair of damaged and worn out machine parts, and for the protection of new parts from wear and corrosion. The coat deposition process consists of several phases: the powder melting, the collision of melted powder particles with the substrate material, the bonding of sprayed particles and the coating structure formation [1]. Plasma spray coatings deposited with inadequate parameters are characterized by weaker adhesion, low cohesion and high porosity. The options for improving these properties is the optimization of plasma spray parameters such as the plasma gun distance from the substrate and the deposition rate. In order to be wear and corrosion resistant, plasma spray coatings are required to have good adhesion, reduced porosity and a minor proportion of melted powder particles in the layers. In order to predict the behavior and service life of coatings, it is necessary to fully understand the relations between technology, process parameters, microstructure and the properties of coating layers. Due to a high temperature of melted powder particles and high temperature differences between particles and the substrate, residual stresses may occur with a negative impact on the coating characteristics. These features are primarily related to the adhesion and the cohesive strength of the lamellae in coating layers. Voltages can occur as a result of cooling and shrinkage of particles during the process as well as different thermal expansion coefficients between the coating and substrate surfaces [2-5]. Self - fluxing NiCrBSi alloy powder was developed to produce coatings successfully used for the production and maintenance of equipment in all industries. Coatings are applied to increase the performance of surfaces of mechanical elements. NiCrBSi-type alloys are well known. Due to their specific properties, they have excellent resistance to abrasion and erosion wear up to 820^{0}C, as well as corrosion resistance owing to hard phases in their structure [6,7]. These materials deposit well and have self - fluxing properties for the base material substrate. The ternary Ni-Cr-B alloy system has shown that alloys mostly have a three-phase structure consisting of a solid solution of chromium in nickel γ - Ni(Cr), nickel borides Ni_3B and borides of chromium CrB and Cr_5B_3. Fig. 1. shows the ternary phase diagram of Ni-Cr-B alloy [8].

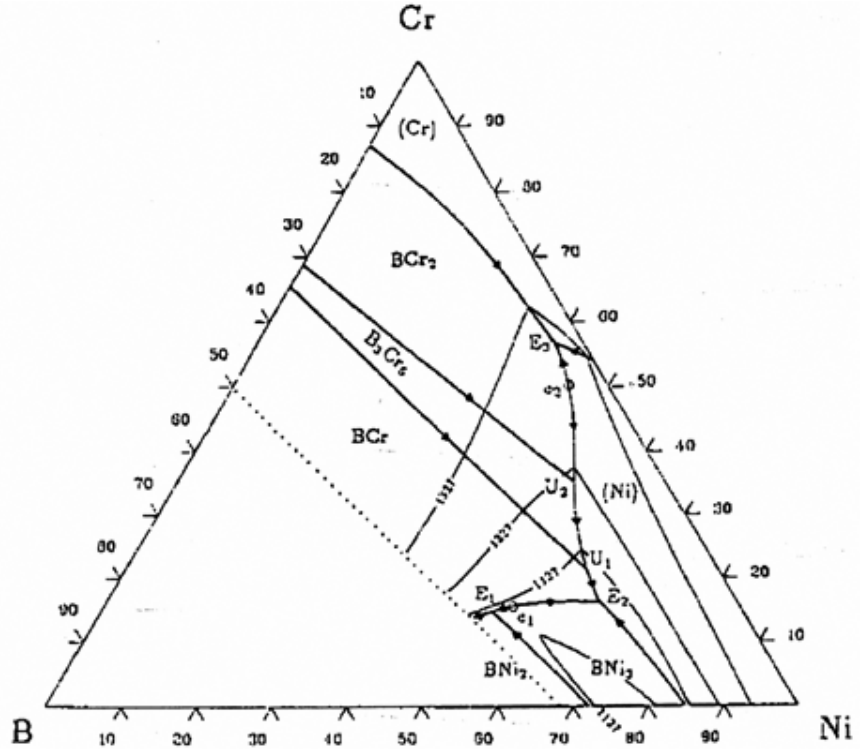


Figure 1 - Ternary phase diagram of Ni-Cr-B alloy *[8]*
Slika 1 - Ternarni sistem Ni-Cr-B *[8]*

Binary systems such as NiCr, NiB and NiSi provide information on the effects of individual alloying elements on the melting temperature of NiCrBSi alloys [9]. Binary systems show that Cr, Si and B reduce the melting temperature of Ni to 1040^0C. The result is a relatively low melting temperature of NiCrBSi alloys [10]. After remelting NiCrSi alloys, the published studies [11,12] have contributed to the recognition of the phases of NiCrBSi systems. The base of the NiCrBSi alloy contains a solid solution γ - Ni with a low content of Ni-Ni_3B eutecticum. During remelting, there may be an increase in chromium carbide precipitates (Cr_7C_3) where the carbon content in the chemical composition of the coating exceeds 0.8 wt%. In addition, if the content of boron in the coatings is higher than 2 wt.%, the microstructure contains CrB precipitates [13]. Silicon is present almost entirely in the form of mixed crystals. The increase of the Si content for more than 3.2% results in the presence of chromic silicides Cr_5Si_3. A higher content of B and Si significantly lowers the plastic properties of the NiCr alloy. The most effective influence on the B and C hardness can be explained by their participation in the formation of borides and carbides. The Ni alloy deposition process is the overall proportion of B in the form of bo-

rides CrB and Ni_3B[8]. Boron is added to the alloy as a deoxidation agent because of the sensitivity of individual alloy components to oxygen at high temperatures and because of the formation of boride solid phases. The coatings are thick with a hardness of 60 - 62HRc. This is recommended for difficult operating conditions when a base material with a high coefficient of thermal expansion ($8 - 9 \times 10^{-6} K^{-1}$) is used [6].

The improvement of the coating can be achieved with the application of the process of remelting the deposited layers, which, however, can lead to a decline in toughness. Remelting and fusing the NiCrBSi coating is very important because of the presence of numerous micro cracks and crackings that can affect a wider use. The content of cracking depends on stress as a consequence of the alloy remelting rate and substrate preheating. Speed remelting significantly affects the crystallization process layers directly related to the chemical composition of the alloy and its properties. For each type of the NiCrBSi alloy, it is necessary to examine the proportion of the resulting stresses depending on the melting process, which is directly related to the process of crystallization and cooling rate of layers [14]. For the process of coating remelting, the speed of preheating layers and the substrate on which the coating is deposited is very important as well as the temperature distribution in the depth of the entire sample. For high remelting and crystallization rates, a heterogeneous structure is characterized as well as a high sensitivity of layers to crack formation. Since the temperature in the melting zone is not uniform, the structure of the coating is not homogeneous in depth and width of the remelting and fusion. The primary crystals of chromium carbides and chromium borides, formed with sharp edges, are the main causes of stress concentrated at the grain boundaries that create micro-cracks at the boundaries of dendrites. The crack through the coating and at the interface is of dendrite character. The number of crackings can be controlled and reduced by the rate of energy incorporated in the process of melting and fusion. For a low remelting rate, when the substrate material has enough time to preheat, longitudinal cracks do not appear in the coating. The applied remelting method and rate affect the phase composition, grain size, texture, and the dissolution of carbides in nickel, i.e. the mechanical and tribological properties of layers with time [7,14]. In any case, the characteristics of functional coatings are affected by powder deposition parameters.

The main objective of this paper was to homogenise NiCrBSi coating layers and apply them to the aircraft parts exposed to combined wear and excessive corrosion. Three groups of samples were obtained at three distances (70, 120 and 170 mm) of the plasma gun from the substrate. The coating with the best microstructure was melted down and fused with the substrate. We analyzed and studied the microstructure and mechanical characteristics of the coating layers in order to select the highest quality coating and homologise the plasma spray parameters.

Materials Testing and Samples

The powder GTV 80.15.1 (DIN EN 1274) of the self-fluxing NiCrBSi alloy was used for the coating [6].The powder particles, of spherical morphology, are made by melting and the atomization of the liquid melt with an inert gas. The powder used in the experiment had a range of granulation from – 53 to + 20 μm. The melting temperature of the powder was 1024 ^{0}C. Fig. 2 shows a (SEM) scanning electron micrograph of the morphology of the powder particles.The powder base consists of a solid solution of chromium in nickel γ - Ni(Cr) and the solid phases of CrB, Cr_3Si, Ni_3B, and NiSi. Table 1 shows the chemical composition of the NiCrBSi powder.

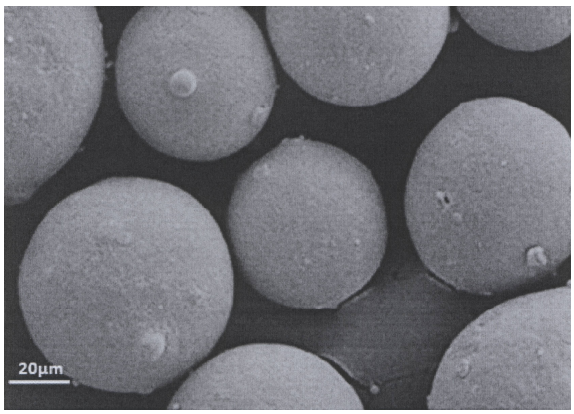


Figure 2 - (SEM) Scanning electron micrograph of the NiCrBSi powder particles
Slika 2 - (SEM) Skening elektronska mikrografija čestica praha NiCrBSi

Table 1. Chemical composition of the NiCrBSi powder
Tabela 1. Hemijski sastav praha NiCrBSi

Chemical composition *of* the NiCrBSi powder	(%)
Cr	14.0
Fe	4.5
Si	4.5
B	3.3
C	0.75
Ni - to balance	72.95

The bases with the deposited coating for microhardness testing were made of steel Č.4171 (X15Cr13 EN10027) in a thermally non-treated state with the dimensions 70x20x1.5mm [15]. The bases for bond strength testing were also made of steel Č.4171 (X15Cr13EN10027) in a thermally non-treated state with the dimensions ϕ 25x50 mm [15].

Examination of microhardness, bond strength and microstructure

The mechanical properties of the layers were assessed by microhardness testing using the HV0.3 method and by testing bond strength using tensile testing. The microhardness was measured along the lamellar structure, in the middle and at the ends of the samples. The results of five readings were averaged.

The method applied for bond strength testing is the method of tensile testing. The testing was done at room temperature with a tensile rate of 1cm/60s. Three specimens were tested for each group of samples.

The SEM was applied for the examination of the morphology of powder particles.The microstructure of the layers in the deposited condition and after etching was tested by a light microscope. The etching of the electrolytic plating was done with 2% Cr acid and by the immersion in a saturated solution of $KMnO_4$ with 8% NaOH.

Powder deposition

The process of coating deposition on the metal base was done by atmospheric plasma spraying (APS). Coatings were deposited on steel bases, the surface of which was made rough white precious electro corundum grit from 0.7 mm to 1.5 mm. Coating deposition was performed with the Plasmadyne atmospheric plasma spraying (APS) system [16]. Fig. 3 shows the cross section of the SG - 100plasma gun, consisting of a K 1083 -129 cathode (3), an A 2083 -129 anode (4) and a GI 2083 -130 gas injector (1).

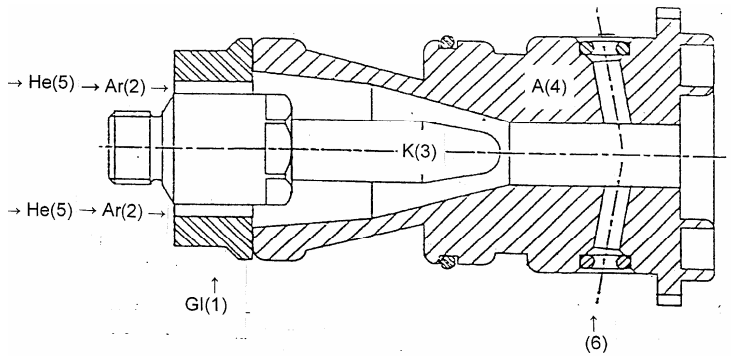


Figure 3 - Cross-section of the SG-100 plasma gun
(1) - gas injector type GI 2083 -130, (2) - gas argon Ar, (3) - catode type K 1083 -129, (4) – anode type A 2083 -129, (5) - gas helium He, (6) - otvori

Slika 3 - Poprečni presek plazma pištolja SG-100:
(1) - gas injektora tip GI 2083 -130, (2) - gas argon Ar, (3) - katoda tip K 1083 -129, (4) - anoda tip A 2083 -129, (5) - gas helijum He, (6) - openings

The parameters for depositing NiCrBSi layers are shown in Table 2.

Table 2 - Plasma spray parameters
Tabela 2 - Plazma sprej parametri.

Deposition parameters	Values
Electric current (A)	700
Arc voltage (V)	39
Primary plasma gas Ar (l/min)	47
Secondary plasma gas He (l/min)	50
Wearing a powder gas Ar (l/min)	4
Flow of powder (g/min)	60
Distance of the substrate (mm)	70/120/170

Through the gas injector hole (1), primary arc gas argon Ar (2) was injected to flow between the cathode (3) and the anode (4). A plasma arc - an electric arc was formed by introducing direct current between the cathode and the anode. After the electric arc stabilization, secondary gas helium He (5) was injected through the gas injector hole followed by its momentary ionization. As the electric arc circuit was completely closed, the ionized secondary gas left the anode opening as a focused plasma jet.At the exit of the anode plasma has high rate and temperature. During the process, plasma ions and electrons recombine into atoms thus releasing a great amount of heat which melts the injected powder in the anode. The anode has two openings (6) for powder injection into the plasma jet. The powder deposition was done with a mixture of plasma gases Ar-He and the power supply of 40KW. Three groups of samples, A, B and C, were obtained with three distances of powder deposition (70.120 and 170 mm). The layers were deposited on the substrates of a total thickness of 0.030 to 0.035 mm with a plasma gun rate of 500mm/s.The coating with the best structural and merchanical characteristics was melted and fused to the base.The melting was done with an oxy - acetylene flame at 1050°C.

Results and discussion

The results of the tests of microhardness and bond strength of NiCrBSi layers are shown in Table 3 and in the diagrams (Figs. 4 and 5).

Table 3 - The values of microhardness and bond strength of NiCrBSi layers
Tabela 3 - Vrednosti mikrotvrdoće i čvrstoće spoja slojeva NiCrBSi

Substrate	NiCrBSi	
	Microhardness $HV_{0.3}$	Bond strength MPa
A	823	0.9
B	890	53
C	454	22

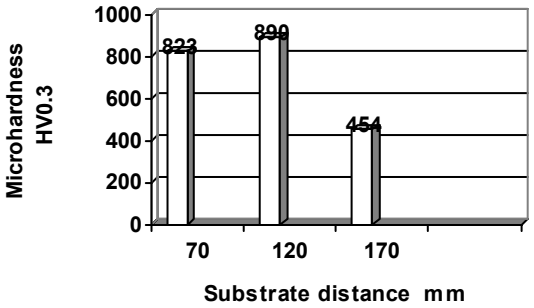


Figure 4 - Microhardness of NiCrBSi layers
Slika 4 - Mikrotvrdoća NiCrBSi slojeva

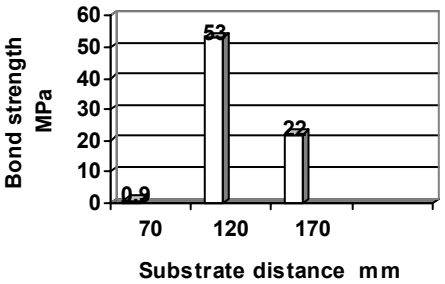


Figure 5 - Bond strength of NiCrBSi layers
Slika 5 - Čvrstoća spoja NiCrBSi slojeva

The values of the microhardness of coating layers are directly related to the distance of powder deposition. The layers of the coating deposited with the largest distance of 170mm on the substrate (C) have the lowest value of microhardness - 454$HV_{0.3}$. A greater distance from the substrate resulted in a greater reduction in rate and in subcooling of melted powder particles. This further resulted in less sagging and the deposition of particles on each other, accompanied by a large proportion of pores.

This was confirmed by the metallographic examination of the coating layers. The highest value of microhardness of 890 $HV_{0.3}$ was found in the layers with the lowest content of pores, deposited on the substrate (B) with a distance of 120 mm. A high values of microhardness 823HV0.3 were also found in the layers deposited on the substrate (A) with the shortest distance of 70 mm. The microhardness values of these coatings were accompanied by defects at the interface in the form of crackings due to a high stress state caused by a small distance of the plasma powder deposition.

The bond strength of the coatings is directly related to the distance of powder deposition and the content of pores in the layers. The lowest value of the bond strength, 0.9 Mpa, was found the layers deposited with a substrate distance of 70 mm. The stresses at the interface occurred at a short

distance due to significant temperature differences between the deposited melted powder particles and the substrate. Rapid cooling and contraction of the particles as well as different thermal expansion coefficients between the coating and the substrate influenced the formation of cracking at the interface.This type of error in the coating was identified during the examination of the microstructure of the layers. Cracks significantly reduce adhesion. The destruction of the coating on the sample (A) was initiated by the existing cracks at the interface at the point with the highest state of stress. The cracks propagated through the surface of the coating with good bonding with the substrate.The highest value of the bond strength of 53MPa was found in the layers with the lowest content of pores, deposited on the substrate (B) with a distance of 120 mm. The mechanism of destruction on the sample (B) was of the adhesive type at the interface between the substrate and the bonded coating.The layers of the coating deposited at the highest substrate distance of 170 mm had a bond strength value of 22 Mpa, which was influenced by a high content of pores in the layers. Due to a high content of coarse pores, the mechanism of destruction occurred through the pores of the coating layer near the interface.

Figs. 6.7 and 8 show the microstructures of the deposited layers on the substrates A, B and C with the distances of 70, 120 and 170 mm. Fig. 9 shows the microstructure of the coatings deposited on the substrate with a magnification of 800x in order to analyze the microstructure of the layers with the best structural and mechanical properties. The qualitative analysis of the deposited NiCrBSi layers showed that Al_2O_3 particles from roughening were not present at the substrate/coating interface.

Fig. 6 shows an existing crack propagating along the interface between the substrate and the coating.The coating/substrate bond is intermittent without the separation of the coating layers from the substrate.

The coating layers are dense without the presence of unmelted particles, pores and micro cracks in the deposited layers.

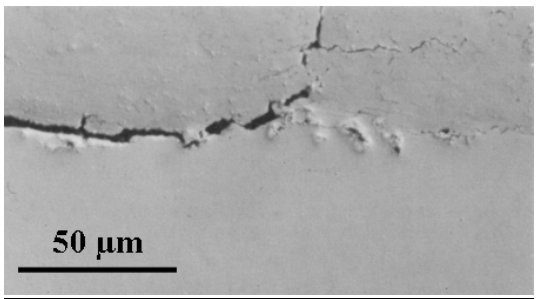


Figure 6 - Microstructure of the NiCrBSi coating deposited on the sample A with a substrate distance of 70 mm

Slika 6 - Mikrostruktura NICrBSi prevlake deponovane na uzorku A sa odstojanjem supstrata 70 mm

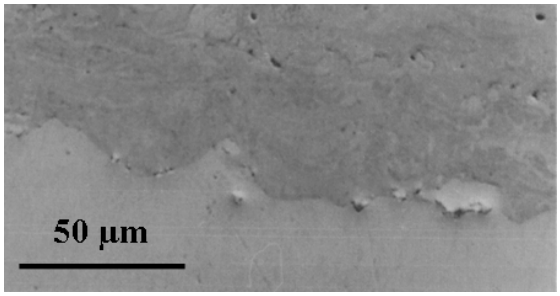


Figure 7 - Microstructure of the NiCrBSi coating deposited on the sample B with a substrate distance of 120 mm
Slika 7 - Mikrostruktura NICrBSi prevlake deponovane na uzorku B sa odstojanjem supstrata 120 mm

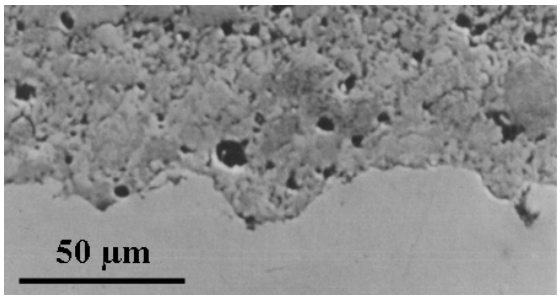


Figure 8 - Microstructure of the NiCrBSi coating deposited on the sample C with a substrate distance of 170 mm
Slika 8 - Mikrostruktura NICrBSi prevlake deponovane na uzorku C sa odstojanjem supstrata 170 mm

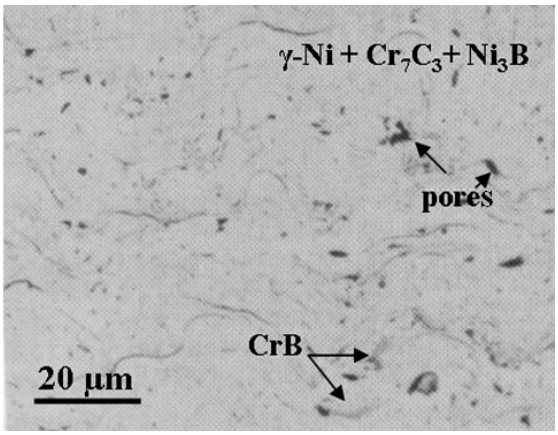


Figure 9 - Microstructure of the NiCrBSi coating deposited on the sample B with a substrate distance of 120 mm
Slika 9 - Mikrostruktura NICrBSi prevlake deponovane na uzorku B sa odstojanjem supstrata 120 mm

Fig. 7 shows the NiCrBSi layers deposited on the substrate B with the best structural and mechanical characteristics. The coating structure is lamellar with a good bond to the substrate. The layers are deposited on the substrate continuously without interruption and without the presence of micro and macro cracks on the interface. The layers are very dense and homogeneous with a very low content of pores, lower than 1%. The layers do not contain unmelted particles. Micro cracks cannot be observed through the deposited layers.

In the microstructure of the NiCrBSi layers deposited with the longest distance of the plasma gun, shown in Fig. 8, a large content of non lamellar particles and pores can be seen. A long distance of the plasma gun from the substrate resulted in the subcooling of the melted powder particles and they plastically deformed on the impact with the substrate, forming coarse black pores.

The morphology of the deposited particles is of an irregular shape. Non melted particles without the presence of micro and macro cracks are identified in the structure as well. Discontinuities in the coating, caused by the presence of porosity and unmelted particles, facilitate wear and lower corrosion resistance at interlamellar boundaries.

The structure of the coating on the substrate B is lamellar (Fig. 9). The basis of the coating consists of a solid solution of chromium in nickel γ - Ni which includes fine precipitates Cr_7C_3 and Ni_3B [7,17]. Through NiCrBS layers, dark lamellae of the phases of chromium borides CrB are clearly seen. Fine pores with fine NiCrBSi precipitates can be also observed. These phases are mainly present in the coating layer after the plasma spray deposition [13]. In the coating structure, following the binary systems of CrC and BC, the Cr_7C_3 phase is present out of all carbide phases [9]. In order for the Cr_3C_2 phase to be formed in the structure, the carbon content in the coating must be C > 0.8 wt%, and for the B_4C type of carbide, the carbon content must be in the range from 10 to 20.9 wt% [9].

Fig. 10 shows the microstructure of the remelted coating deposited on the substrate B. The structure of the coating is homogeneous, without any present micro and macro cracks.This indicates that the coating layers were evenly heated and remelted. The microstructure consists of the Ni solid solution and the phases of Ni_3B, CrB, Cr_7C_3 and Ni_5Si_2. The structure of the primary solid solution γ - Ni is dendritic with hard eutectics of γ - Ni - Ni_3B and γ - Ni - Ni_3B - CrB. Between the Ni dendrites there are primary crystals and the dendrites of Cr_7C_3 carbide which are lighter in color and form a part of the eutectic Cr_7C_3 - Ni_3B. The primary Cr_7C_3 and Ni_5Si_2 particles are found in the interdendritic areas. The etching of the coating causes Ni to dissolve from the solid solution and the eutectics, while borides, carbides and silicides are raised in the relief. Since the incident light falls on the surface obliquely and casts a shadow over the raised boride, carbide and silicide phases, nickel dendrites are black.

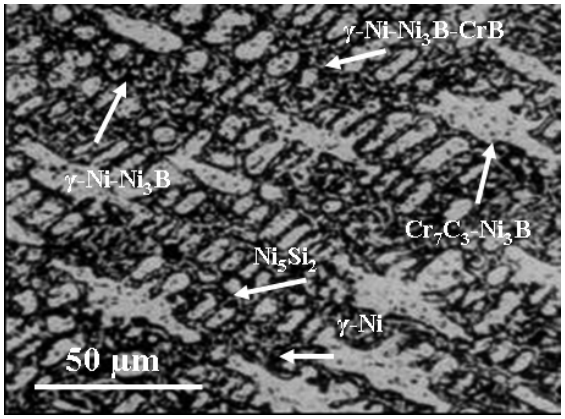


Figure 10 - Microstructure of the melted NiCrBSi coating deposited on the sample B with a substrate distance of 120 mm
Slika 10 - Mikrostruktura NICrBSi prevlake deponovane na uzorku B sa odstojanjem supstrata 120 mm

During the remelting of the coating layers, the basic phase rich in γ - Ni nickel forms a binary eutectic γ - (Ni) - Ni_3B with the Ni_3B boride primary phase at 1042^0C. The solidification of the coating layer ends at 997^0C with a triple eutectic reaction forming the triple lamellar eutectic γ - Ni + CrB + Ni_3B [18, 19].

Conclusion

In this paper, the atmospheric plasma spray (APS) process was applied for the deposition on three groups of samples A, B and C, from three distances (70,120 and 170 mm) by a plasma gun. The structure and the mechanical properties of the coatings deposited were studied and analyzed, leading to the following conclusions.

The microstructure and the mechanical properties of the bond hardness and strength depend directly on the distance of the plasma gun from the substrate.

Shorter and longer distances of the powder deposition resulted in the coating layers with lower coating adhesion. A shorter distance resulted in the formation of cracking at the interface, and a longer distance gave rise to the formation of coarse pores in the layers.

The layers with the best structural and mechanical properties were obtained with a distance of 120mm from the substrate. The layers are dense and homogeneous with high hardness and adhesion.

The structure of the deposited coating layers is lamellar and is mainly composed of a solid solution of chromium in nickel γ - Ni(Cr) and hard phase borides CrB, Ni_3B and carbides Cr_7C_3.

The remelted coating does not contain micro crackings. The structure of the primary solid solution γ - Ni is dendritic with the hard eutectics γ - Ni - Ni_3B and γ - Ni - Ni_3B – CrB. Between the Ni dendrites there are primary crystals and dendrites of Cr_7C_3 carbide, lighter in color as a part of the eutectic Cr_7C3 - Ni_3B. Primary Cr_7C_3 particles and Ni_5Si_2 are in the inter dendritic regions.

The results have shown that the distance of the substrate influences the structure and the mechanical properties of the coating layers. The tests have confirmed that the best coating layers are those deposited with a substrate distance of 120 mm. Remelting of layers further improves the structure of the coating.

Literature

[1] Dobrzański, L.A., *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo* (*Fundamentals of Material Science and Metallography*), WNT, Warsaw, 2002.

[2] Totemeier, T.C., Wright, J.K., *Surface and Coatings Technology,* 200 (2006)12 -13, 3955-3962.

[3] Lordanova, I., Forcey, K.S., *Surface and Coatings Technology,* 91 (1997), 174 -182.

[4] Pina, J., Dias, A., Lebrun, J.L., *Materials Science and Engineering A -Structural Materials Properties Microstructure and Processing,* 347 (2003) 1-2, 21-31.

[5] Ishida, T., Setoguchi, K., Hiraki, K., JSME International Journal Series A-Solid Mechanics and Material Engineering, 42 (1999) 1, 119-125.

[6] GTV Spray powder catalogue, GTV Spray powders comply with DIN EN 1274, Materials number 80.15.1 based on nickel (Self fluxing alloys)II.

[7] Mrdak, M., *Karakterizacija WCCo/NiCrBSi prevlake otporne na habanje, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,* Vol. 58, No. 2, pp.43 – 52, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2010.

[8] Villars, P., Prince, A., Okamoto,H., *Handbook of ternary alloy phase diagrams .Metals Park.,* OH : ASM International ,1995.

[9] ASM Handbook, Volume 3, Alloy Phase Diagrams, ASM International, Metals Park, 1992.

[10] ‘‘Produkt - und Anwendungs-Informationen,’’ Castolin Eutectic GmbH, Wien, Austria, 2005 (in German).

[11] Gonzales, R., Garcia, M. A., Penuelas Cadenas, I., Ma del Rocio Fernandez, M., Hernandez Battez, A., and Felgueroso, D., *Microstructural Study of NiCrBSi Coatings Obtained by Different Processes,* Wear, 2007, 263, p 619-624.

[12] Shrestha, S., Neville, A., and Hodgkiess, T., *The Effect of Post- Treatment of a High-Velocity Oxy-Fuel Ni-Cr-Mo-Si-B Coating Part I: Microstructure/Corrosion Behaviour Relationships,* J. Therm. Spray Technol., 2001, 10(3), pp. 470-479.

[13] Kim, H. J., Hwang, S. Y., Lee, C. H., and Juvanon, P., *Assessment of Wear Performance of Flame Sprayed and Fused Ni-Based Coatings,* Surf. Coat. Technol., 2003, 172, p 262-269.

[14] Spiridonov, N. V., Kardapolova, M. A., *Control of Composite Coatings Using Self – Fluxing Alloys and Laser Surface Treatment,* Plasma - Technik - Symposium, Lucerne May 18th to 20th,Vol. 2, pp. 165-170, 1988.

[15] Turbojet Engine – Standard Practices Manual (PN582005*)*, Pratt & Whitney, East Hartford, USA, 2002.

[16] Mrdak, M., *Uticaj brzine depozicije praha na mehaničke karakteristike i strukturu APS – NiCr/Al prevlake,* Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 4, pp. 5-16, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2010.

[17] Serres, N., Hlawka, F., Costil, S., Langlade, C.,and Machi, F., Microstructures of Metallic NiCrBSi Coatings Manufactured via Hybrid Plasma Spray and In Situ Laser Remelting Process, Journal of Thermal Spray Technology, Published online, 12 November 2010.

[18] Ohsassa, K., Shinimura. T., Narita, T., (1999) J Phase Equilibria 20:199.

[19] Shrivastava, P. K., Tiwari, A. N., and Gopinathan, V., 1989, "Role of Boron in Fe- and Ni-based Rapidly Solidified Microcrystalline Alloys", Key Engineering Materials, Vols. 38-39, pp.143 -162.

MIKROSTRUKTURA I MEHANIČKE OSOBINE NIKAL - HROM - BOR - SILICIJUM SLOJEVA PROIZVEDENIH PLAZMA SPREJ POSTUPKOM PRI ATMOSFERSKOM PRITISKU

OBLAST: hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: originalni naučni rad

Sažetak:

U ovome radu analiziran je uticaj plazma sprej parametara na mikrostrukturu i mehaničke karakteristike NiCrBSi prevlaka deponovanih (APS) postupkom na atmosferskom pritisku. Mikrostruktura i mehanička svojstva plazma sprej prevlaka određena su interakcijom jona plazme sa česticama praha pri čemu nastaje prenos brzine i temperature čestica plazme na čestice praha. Efekat interakcije je u direktnoj zavisnosti od vremena boravka čestica praha u plazmi koji je definisan odstojanjem depozicije za svaki tip praha zavisno od granulacije, temperature topljenja i specifične težine. S ciljem dobijanja homogenih i gušćih prevlaka, u istraživanju su korišćenja tri odstojanja od supstrata: 70, 120 i 170 mm. Prevlaka najboljih strukturnih i mehaničkih karakteristika pretopljena je i fuzirana sa osnovom s ciljem dobijanja bolje strukture. Samovezujuće legure NiCrBSi imaju široku primenu zbog dobre otpornosti tvrdih faza borida, karbida i silicida na habanje i koroziju. Morfologija čestica praha je ispitana na SEM-u (skening elektronskom mikroskopu), dok je mikrostruktura slojeva procenjena na svetlosnom mikroskopu. Mikrostrukturna analiza deponovanih slojeva urađena je u skladu sa standardom Pratt-Whitney. Procena mehaničkih karakteristika slojeva urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom $HV_{0.3}$ i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje.

Uvod

Plazma sprej postupak (APS) jedan je od termičkih postupaka koji omogućava izradu prevlaka, koje mašinskim delovima povećavaju radni vek, pouzdanost i stepen sigurnosti u radu. Ovaj postupak jedan je od postupaka koji se najčešće koristi za depoziciju prahova za reparaciju oštećenih i pohabanih mašinskih delova, kao i za zaštitu novih delova od habanja i korozije. Proces izrade prevlake sastoji se od više faza: topljenja praha, sudara istopljenih čestica praha sa osnovnim materijalom supstrata, vezivanja nanetih čestica i stvaranja strukture prevlake. Zahteva se da plazma sprej prevlake otporne na habanje i koroziju imaju dobru atheziju, smanjenu poroznost i neznatan udeo nestopljenih čestica praha u slojevima. Da bi se predvidelo ponašanje i radni vek prevlaka, neophodno je da se u potpunosti razume odnos tehnologije, parametara procesa, mikrostrukture i svojstava slojeva prevlaka. Prah samovezujuće legure NiCrBSi razvijen je za izradu prevlaka koje se uspešno koriste za proizvodnju i održavanje opreme u svim industrijskim granama. Primenjuju se za povećanje performansi površina mehaničkih elemenata. Legure tipa NiCrBSi dobro su poznate. Zbog specifičnih svojstava imaju odličnu otpornost do 820^{0}C na abrazivno i erozivno habanje, kao i otpornost na koroziju zbog tvrdih faza prisutnih u strukturi. Ovi materijali dobro se deponuju i imaju samovezujuća svojstva za osnovni materijal supstrata. Trojni sistem Ni-Cr-B pokazuje da legure imaju uglavnom trofaznu strukturu koja se sastoji od čvrstog rastvora hroma u niklu, borida nikla Ni_3B i borida hroma CrB i Cr_5B_5. Silicijum je prisutan skoro potpuno u obliku mešovitog kristala. Sa povećanjem sadržaja Si više od 3,2% prisutni su hromni silicidi Cr_5Si_3. Veći sadržaji B i Si značajno snižavaju plastična svojstva legure NiCr. Najefikasniji uticaj na tvrdoću imaju B i C, što se objašnjava njihovim učešćem u formiranju borida i karbida. U leguri Ni se u toku procesa depozicije celokupan udeo B nalazi u obliku borida CrB i Ni_3B. Bor se dodaje leguri kao dezoksidans zbog osetljivosti pojedinih komponenti legure na kiseonik na visokim temperaturama i zbog stvaranja tvrdih faza borida. Prevlake su guste sa tvrdoćom od 60 do 62HRc. Preporučuje se za najteže uslove kada se koristi osnovni materijal sa prilično visokim koeficijentom toplotnog širenja (8–9 x10^{-6} K^{-1}).

Glavni cilj rada jeste da se homologuju slojevi NiCrBSi prevlake i primene na vazduhoplovnim delovima izloženim kombinaciji prekomernog habanja i korozije. Urađene su tri grupe uzoraka sa tri odstojanja plazma pištolja 70,120 i 170 mm od supstrata. Prevlaka sa najboljom mikrostrukturom pretopljena je i fuzirana sa osnovom. Analizirane su i proučavane mikrostrukture i mehaničke karakteristika slojeva prevlaka da bi se na osnovu rezultata odabrala prevlaka najboljeg kvaliteta i homologovali plazma sprej parametri.

Materijali za ispitivanje i uzorci

Za izradu prevlaka korišćen je prah GTV 80.15.1(DIN EN 1274) samovezujuće legure NiCrBSi. Čestice praha izrađene su tehnikom topljenja i atomizacijom tečnog rastopa inertnim gasom, koje pokazuju sfernu morfologiju. Prah koji je korišćen u eksperimentu imao je raspon granulacije od - 53 + 20 μm. Temperatura topljenja praha je 1024 °C.

Osnova praha sastoji se od čvrstog rastvora hroma u niklu γ - Ni(Cr) i tvrdih faza: CrB, Cr_3Si, Ni_3B, NiSi.

Ispitivanje mikrotvrdoće, čvrstoće spoja i mikrostrukture

Procena mehaničkih svojstava slojeva urađena je ispitivanjem mikrotvrdoće metodom $HV_{0.3}$ i čvrstoće spoja ispitivanjem na zatezanje. Merenje mikrotvrdoće izvršeno je u pravcu duž lamela, u sredini i na krajevima uzoraka. Urađeno je pet očitavanja vrednosti i izabrana je srednja vrednost.

Metoda ispitivanja čvrstoće spoja je metoda ispitivanja na zatezanje. Ispitivanje je urađeno na sobnoj temperaturi sa brzinom zatezanja 1 cm/60 s. Za svaku grupu uzoraka ispitane su po tri epruvete.

Ispitivanje morfologije čestica praha urađeno je SEM metodom. Mikrostruktura slojeva u deponovanom stanju i posle nagrizanja ispitana je tehnikom svetlosne mikroskopije. Nagrizanje prevlake rađeno je elektrolitički sa 2% Cr kiseline i potapanjem u zasićenom rastvoru $KMnO_4$ sa 8% NaOH.

Prevlaka najboljih strukturnih i mehaničkih karakteristika pretopljena je i fuzirana sa osnovom. Pretapanje je rađeno oksi-acetilenskim plamenom na 1050°C.

Depozicija praha

Proces nanošenja slojeva na metalne osnove urađen je plazma sprej postupkom na atmosferskom pritisku (APS). Prevlake su nanete na čelične osnove koje su ohrapavljene belim plemenitim elektrokorundom granulacije od 0,7 do 1,5 mm. Za izradu prevlaka korišćen je atmosferski plazma sprej sistem (APS) firme Plasmadyne.

Deponovanje praha urađeno je sa mešavinom plazma gasova Ar-He i sa snagom napajanja od 40 kW. Urađene su tri grupe uzoraka A, B i C sa tri odstojanja depozicije praha 70, 120 i 170 mm. Slojevi su deponovani na supstratima ukupne debljine od 0,030 do 0,035 mm sa plazma pištoljem brzine 500 mm/s.

Rezultati i diskusija

Slojevi prevlake deponovani sa najvećim odstojanjem od 170 mm na supstratu (C) imaju najnižu vrednost mikrotvrdoće od 454HV0.3. Veliko odstojanje supstrata uticalo je na delimično pothlađenje i smanjenje brzine istopljenih čestica praha. To je uzrokovalo slabije razlivanje i deponovanje čestica jednih na druge praćeno velikim udelom međupora. Najveću vrednost mikrotvrdoće od 890 $HV_{0.3}$ imali su slojevi sa najmanjim udelom pora koji su deponovani na supstratu (B) sa odstojanjem od 120 mm. Visoke vrednosti mikrotvrdoće od 823$HV_{0.3}$ imali su i slojevi deponovani na supstratu (A) sa najmanjim odstojanjem od 70 mm. Vrednosti mikrotvrdoće ovih slojeva praćene su defektima na interfejsu u obliku prskotina zbog visokog naponskog stanja uzrokovanog malim odstojanjem plazma depozicije praha. Najveću vrednost čvrstoće spoja 53MPa pokazali su slojevi koji imaju najmanji udeo pora i koji su deponovani na supstratu (B) sa odstojanjem od 120 mm. Mehanizam razaranja na uzorku (B) bio je athezioni na interfejsu između supstrata i vezne prevlake. Slojevi prevlake deponovani sa najvećim odstojanjem supstrata od 170 mm imali su vrednost čvrstoće spoja 22 MPa koja je pod uticajem velikog udela pora u

slojevima. Zbog velikog udela grubih pora mehanizam razaranja je išao kroz pore i slojeve prevlake u blizini interfejsa. Najnižu vrednost čvrstoće spoja 0,9 MPa pokazali su slojevi deponovani sa odstojanjem supstrata od 70 mm. Na malom odstojanju supstrata uneti su naponi na interfejsu usled visoke temperaturne razlike između istopljenih čestica praha i supstrata. Struktura prevlake na supstratu B je sa najboljim strukturnim i mehaničkim karakteristikama. Slojevi su deponovani na supstrat kontinualno bez prekida i bez prisustva mikro i makroprskotina na interfejsu. Slojevi su dosta gusti i homogeni sa izuzetno malim udelom pora ispod 1%. U slojevima nisu prisutne nestopljene čestice. Kroz deponovane slojeve se ne uočavaju mikroprskotine.

Osnova prevlake sastoji se od čvrstog rastvora hroma u niklu γ - NiCr sive boje u kojoj se nalaze fini precipitati faza borida i karbida. Kroz NiCrBSi slojeve jasno se uočavaju crne lamele faza hrom borida tipa CrB i hrom karbida Cr_7C_3 i svetle faze nikal borida tipa Ni3B. To su faze koje su uglavnom prisutne u slojevima prevlake posle plazma sprej depozicije. U osnovi prevlake uočavaju se sitne pore u kojima se nalaze fini precipitati NiCrBSi čestica nastalih sudarom sa podlogom na koju se deponuju i primarnim očvršćavanjem. Faze borida i karbida ravnomerno su raspoređene kroz deponovane slojeve. Struktura pretopljene prevlake je homogena, bez prisutnih mikro i makroprskotina. To ukazuje da su slojevi prevlake ravnomerno progrejani i pretopljeni. Mikrostruktura se sastoji od čvrstog rastvora Ni i faza Ni_3B, CrB, Cr7C3, Ni5Si2. Struktura primarnog čvrstog rastvora γ - Ni je dendritna sa tvrdim eutektikumima γ - Ni - Ni_3B i γ - Ni - Ni_3B - CrB. Između dendrita Ni nalaze se primarni kristali i dendriti karbida Cr_7C_3 svetlije boje kao deo eutektikuma Cr_7C_3 - Ni3B. Primarne čestice Cr_7C_3 i Ni_5Si_2 nalaze se u interdendritnim regionima. Nagrizanjem prevlake Ni se rastvara iz čvrstog rastvora i eutektikuma, dok boridi, karbidi i silicidi stoje izdignuti u reljefu. Pošto upadna svetlost koso pada na površinu uzorka i baca senku iznad izdignutih faza borida, karbida i silicida, dendriti nikla su crne boje.

Zaključak

Mikrostruktura i mehanička svojstva tvrdoće i čvrstoće spoja u direktnoj su zavisnosti od odstojanja supstrata od plazma pištolja.

Sa manjim i većim odstojanjem depozicije praha dobijeni su se slojevi prevlaka sa manjom čvrstoćom spoja. Manje odstojanje uticalo je na formiranje prskotina na interfejsu, a veće odstojanje uticalo je na formiranje grubih pora u slojevima.

Slojevi sa najboljim strukturnim i mehaničkim karakteristikama dobijeni su sa odstojanja supstrata od 120 mm. Slojevi su gusti i homogeni sa visokom tvrdoćom i čvrstoćom spoja.

Struktura slojeva je lamelarna i uglavnom sastavljena od čvrstog rastvora hroma u niklu γ - Ni(Cr) i tvrdih faza borida CrB , Ni_3B i karbida Cr_7C_3.

Struktura pretopljene prevlake je dendritna bez prisutnih mikroprskotina. Dendriti čvrstog rastvora Ni(Cr) su crne boje između kojih se nalaze pri-

marni kristali Cr_7C_3 svetle boje, dendriti CrB tamne boje, eutektikumi CrB - Ni_3B i Cr_7C_3 – Ni_3B i silicid Ni5Si2. Prevlaka je homogena i gusta.

Dobijeni rezultati pokazali su da odstojanje supstrata bitno utiče na strukturu i mehaničke karakteristike slojeva prevlaka. Ispitivanja prevlaka potvrdila su da su najbolji slojevi deponovani sa odstojanjem supstrata od 120 mm.

Ključne reči: *(APS) Atmosferski plazma sprej postupak, mikrostruktura, interfejs, mikrotvrdoća, čvrstoća spoja, NiCrBSi sloj.*

Datum prijema članka: 13. 10. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 26. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 28. 10. 2011.

NOVA SLUŽBENA KARTOGRAFSKA PROJEKCIJA SRBIJE

Borisov A. *Mirko*, Banković D. *Radoje*,
Vojska Srbije, Vojnogeografski institut, Beograd

OBLAST: geonauke, kartografija
VRSTA ČLANKA: originalni aučni članak

Sažetak:

U radu je dat prikaz elemenata matematičke osnove naših topografskih karata. U Srbiji se do sada upotrebljavala Gaus-Krigerova projekcija, a u buduće će se primenjivati poprečna Merkatorova projekcija za potrebe službene kartografije. Takođe, prikazani su razmeri, načini podele i obeležavanja položaja listova karata.

Ključne reči: *kartografija, topografska karta, geodetski datum, nova službena projekcija, UTM.*

Uvod

Naše postojeće topografske karte (TK), kao što je poznato, rađene su u Gaus-Krigerovoj projekciji trostepenih zona, na Zemljinom elipsoidu Besela 1841, sa Griničkim početnim meridijanom. Meridijani kojima odgovara 18^o i 21^o istočne geografske dužine srednji su meridijani zona, a linearni modul (razmera) na srednjem meridijanu zone iznosi 0,9999 [1]. Radi osiguranja kartografske kompatibilnosti, odnosno prilagođavanja topografsko-kartografskog sistema razvijenom svetu i neposrednom okruženju, potrebno je primeniti savremene tehničke norme (STANAG – Standardization Agreement). U tom smislu, neophodno je prihvatiti nove geodetsko-kartografske standarde, odnosno matematičku osnovu karata:

– elipsoid WGS84 (World Geodetic System 1984),

– Univerzalnu poprečnu Merkatorovu projekciju (The Universal Transverse Mercator – UTM), odnosno vojnu pravouglu mrežu UTM , kao i

– razmer, format i označavanje listova.

Suštinski deo matematičke osnove podataka o prostoru obuhvata geodetsku i kartografsku osnovu, odnosno geometrijske zakone i svojstva kartografskog preslikavanja geoprostorne stvarnosti u odgovarajućoj razmeri. Za potrebe državne (službene) topografske kartografije prihvaćen je projekcijski referentni koordinatni sistem poprečne Merkatorove projekcije. Novi geodetski datum, odnosno elipsoid je GRS80 (*Geodetic Reference System 1980).* Parametri elipsoida GRS80 veoma su slični parametrima elipsoida WGS84 [2]. Uzimajući u obzir tačnost (grafičku) topografskih karata koje kreira Vojnogeografski institut (VGI), može se kao osnovni elipsoid koristiti i WGS84.

Borisov, M., Nova službena kartografska projekcija Srbije, pp. 201–215

Matematička osnova dosadašnjih topografskih karata

Na osnovu grafičko-fotogrametrijskog premera zemljišta izvedenog od 1947. do 1967. godine, kao i povremenih dopuna posle tog vremena, dobijen je sistem TK razmere 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:300000, 1:500000 i 1:1000000. Navedenim sistemom zamenjena su sva ranija izdanja geografskih karata izrađena pre Drugog svetskog rata i posle njega, koja su povremeno ažurirana i dugo korišćena kod nas. Osnovne odlike novih karata zasnovane su na istoj topografskoj i matematičkoj osnovi. One su urađene po sistemu izvedenih karata i date u komformnoj Gaus-Krigerovoj ili Lambertovoj kartografskoj projekciji, sa Griničkim meridijanom kao početnim. Na njima su primenjena ista ili slična kartografsko-redakcijska rešenja. Drugim rečima, sve karte izrađene su u jedinstvenom geodetsko-kartografskom sistemu, čime je znatno olakšano njihovo korišćenje, a naročito u vojsci.

Datum geodetske osnove u Srbiji vezan je za fundamentalnu tačku Hermannskogel. U toj tački uzeto je da se površi geoida i Beselovog elipsoida podudaraju. Ovaj datum je lokalnog karaktera.

Za potrebe državne (službene) topografske kartografije prihvaćena je Gaus-Krigerova projekcija trostepenih zona još 1924. godine. Kartografska projekcija definiše prelaz od površi elipsoida na ravan i predstavlja suštinski deo matematičke osnove postojećih topografskih karata, tj. njihovu geometrijsku osnovu. Takođe, matematička osnova podrazumeva razmeru i podelu teritorije kartiranja na određene formate listova, kao i njihovo označavanje i nomenklaturu.

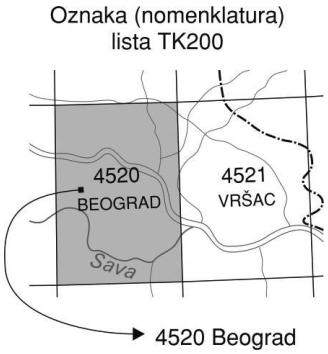
Nomenklatura, kao tradicionalan oblik označavanja listova karata, može se podeliti na deo koji jedinstveno definiše list u sistemu podele na listove i deo koji sadrži ime lista, koje služi da bi širi krug korisnika što jednostavnije pronašao traženi list. Nomenklatura za listove topografskih karata od razmere 1:1000000 do 1:25000 data je u tabeli 1.

Tabela 1
Table 1

Razmeri, formati i nomenklatura listova karata
Scales, formats and nomenclatures sheets of maps

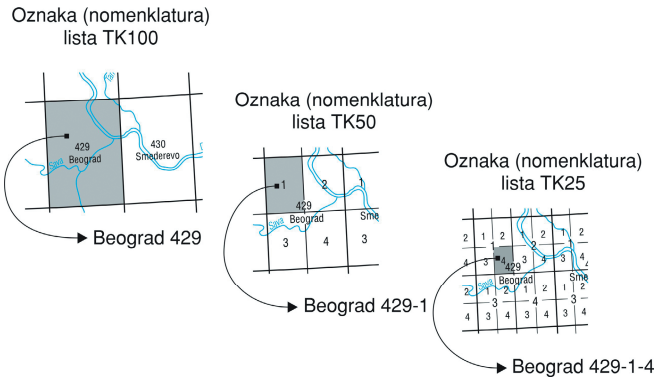
Razmera	**Lučne dimenzije**		**Oznaka lista**	**Dimenzije u cm**		**Broj listova za Srbiju**
	φ	λ		dužina	širina	
1:25000	7′30″	7′30″	429-1-4	50	70	732
1:50000	15′	15′	429-1	50	70	203
1:100000	30′	30′	429	50	70	61
1:200000	1^o	1^o	4520	50	70	22
1:300000	1^o 30′	1^o 30′	naziv	50	70	14
1:500000	2^o 30′	5^o 30′	naziv	92	64	2
1:1000000	6^o	5^o	naziv	70	70	1

Nomenklature za karte razmera 1:500000, 1:300000 i 1:200000 definisane su posebno, odnosno deljenjem područja teritorije kartiranja na listove karata i one ne sadrže srodnu nomenklaturu drugih listova. Na slici 1 prikazana je nomenklatura za kartu razmera 1:200000 [3].



Slika 1 – Nomenklatura za kartu razmera 1:200000
Figure 1 – Nomenclature for a 1:200000 scale map

Nomenklature za sve ostale TK izvode se iz razmera 1:100000. Posledica toga jeste da sve nomenklature listova u krupnijim razmerama sadrže oznaku lista topografske karte razmera 1:100000. Takođe, svakom listu koji pokriva teritoriju Srbije pridruženo je odgovarajuće geografsko ime (naziv). Naziv lista služi da bi širi krug korisnika na osnovu imena opšte poznatog geografskog objekta, koji se nalazi na listu, što jednostavnije rasporedio list u prostornom okviru teritorije kartiranja. Za naziv lista dodeljuje se ime najvažnijeg geografskog objekta (toponima). Najčešće se dodeljuje ime dominantnog naselja (grad, selo, ...) na listu. Međutim, kada se na listu ne nalazi nijedno naselje ili su dominantni drugi toponimi (npr. oronimi, hidronimi, regionimi i sl.), odustaje se od tog pravila. Na slici 2 prikazana je nomenklatura za karte razmera 1:100000, 1:50000 i 1:25000 [3].



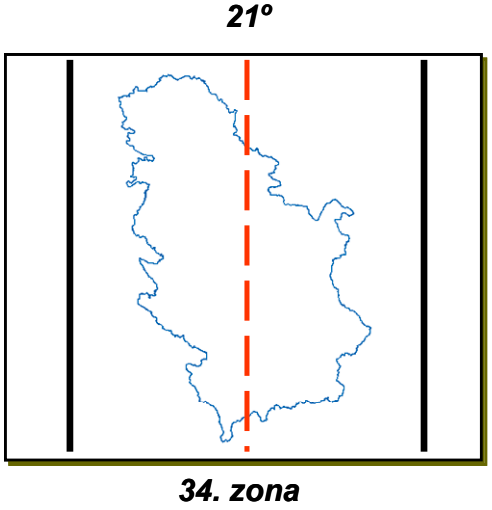
Slika 2 – Nomenklatura za karte razmera 1:100000, 1:50000 i 1:25000
Figure 2 – Nomenclatures for 1:100000, 1:50000 and 1:25000 scale maps

Matematička osnova topografskih karata prema novim standardima

Kartografski standardi NATO-a dozvoljavaju sadržajnu i vizuelnu raznovrsnost topografskih karata u različitim zemljama članica i Partnerstva za mir, ali matematička osnova vojnih TK mora biti ista. Za vojne potrebe izrađuju se topografske karte u razmerama: 1:50000, 1:100000, 1:250000 (prema normama NATO, kopnena i aeronautička varijanta, JOG – Joint Operation Graphics) i 1:1000000 [4]. Za naše potrebe planira se izrada topografskih karata nacionalnog izdanja razmera:

– topografska karta 1: 25000,
– topografska karta 1: 50000,
– topografska karta 1:100000 i
– pregledno-topografska karta 1:500000.

Vojne topografske karte su najvažniji proizvod državne kartografije. U državama u kojima postoji vojna kartografija, produkcija TK predstavlja njen osnovni proizvod. Njihove zajedničke osobine su: tačnost, detaljan prikaz u razmeri, topografski ključ i osavremenjavanje tj. održavanje podataka. Sva računanja izvodiće se na elipsoidu WGS84. Projekcija je poprečna Merkatorova u jednoj zoni, a na slici 3 prikazana je teritorija Srbije.



Slika 3 – Teritorija Srbije u jednoj zoni
Figure 3 – Teritory of Serbia – one zone

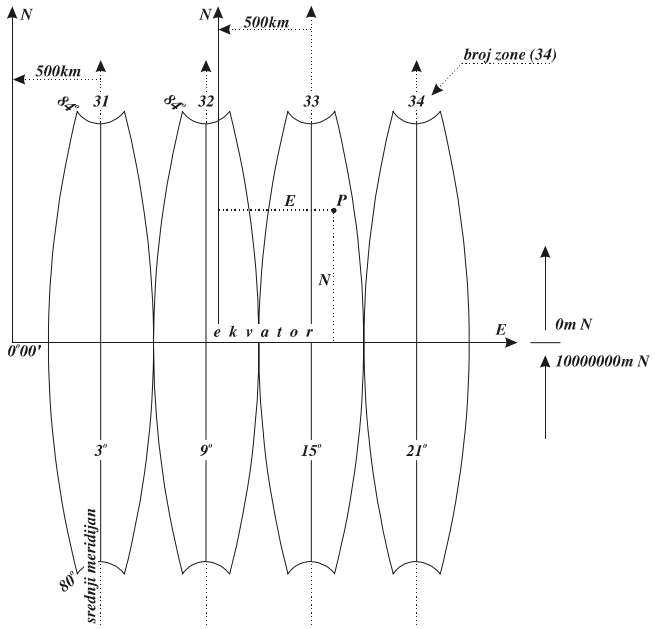
Pri definisanju formata i nomenklature listova TK najbolje bi bilo da se prihvati podela na listove koja za osnovu ima list Međunarodne karte sveta (MKS) u razmeri 1:1000000.

Nova službena kartografska projekcija

Nova službena kartografska projekcija Srbije jeste UTM projekcija. Projekcija spada u grupu komformnih kartografskih projekcija, što znači da omogućava očuvanje sličnosti figura (jednakost uglova). Takav način preslikavanja ima veliku primenu u mnogim oblastima ljudske delatnosti, a jedna od tih oblasti je i vojska.

Poprečna Merkatorova projekcija je u stvari izraz anglosaksonskog porekla za modifikovanu Gaus-Krigerovu projekciju. Ova projekcija u odnosu na Gaus-Krigerovu projekciju ima veću zonu preslikavanja (šestostepenu) i nešto veće deformacije u zoni preslikavanja. Međutim, prednost date projekcije odnosi se na jednoznačno određivanje koordinata tačaka na bilo kom delu površi Zemlje (izuzimajući polarne oblasti za čija se predstavljanja koristi polarna stereografska projekcija) [5]. Takođe, koordinatna mreža u pomenutoj projekciji naziva se *UTM* mreža, ili *UTM* mrežni sistem obeležavanja površi i položaja tačaka, gde je metar osnovna jedinica merenja.

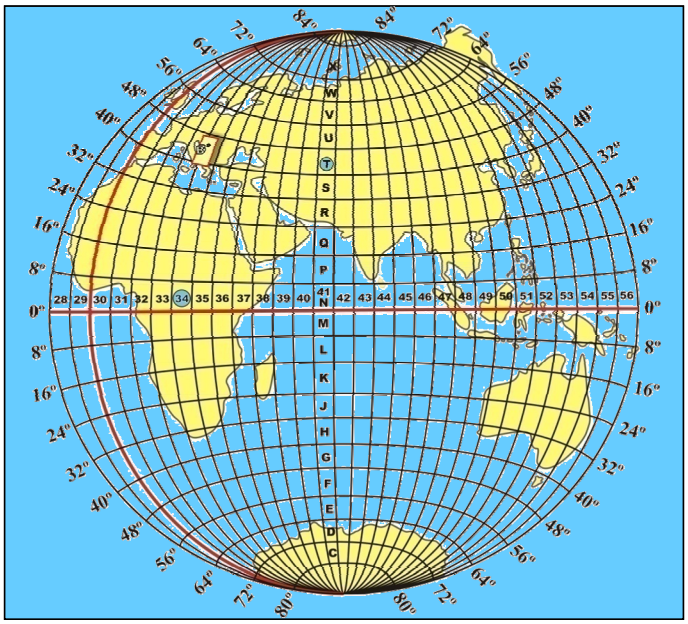
Pravougli koordinatni sistemi UTM pokrivaju Zemljinu površ između 80° južne i 84° severne geografske širine. Svaka meridijanska zona ima svoj samostalni sistem pravouglih koordinata u ravni sa početkom u preseku ekvatora sa srednjim meridijanom te zone [6]. Koordinate rastu u smeru istoka i severa (slika 4).



Slika 4 – Prikaz meridijanskih zona i definicija koordinatnih sistema
Figure 4 – Overview of the meridian zones and the definition of coordinate systems

Horizontalna koordinatna osa označava se slovom E, a uspravna koordinatna osa slovom N. Radi izbegavanja pojavljivanja negativnih vrednosti koordinata E, dodaje im se konstanta od 500.000 m, tako da svaki centralni meridijan ima vrednosti 500.000 m. Za tačke koje se nalaze južno od ekvatora koordinati N još se dodaje konstanta od 10.000.000 metara [7]. Na taj način će svaki koordinatni sistem imati početak za severnu hemisferu (u metrima) 500.000 E, 0 N, a za južnu 500.000 E i 10.000.000 N.

Teritorija kartiranja, odnosno kartografski sadržaj može, a ne mora biti organizovan po listovima. Međutim, mogućnost podele na listove uvek treba planirati. U tom slučaju trebalo bi se osloniti na podelu i UTM sistem obeležavanja (slika 5) [8].



Slika 5 – Prvi stepen UTM obeležavanja
Figure 5 – The first level of UTM signing

Na slici 6 prikazana je podela na listove sa pratećom nomenklaturom za prostor Srbije. Četvorougao UTM pokrivaju dva lista karte u razmeri 1:1000000. Odlike te osnove za prikaz područja državne teritorije Srbije i delova susednih država su:

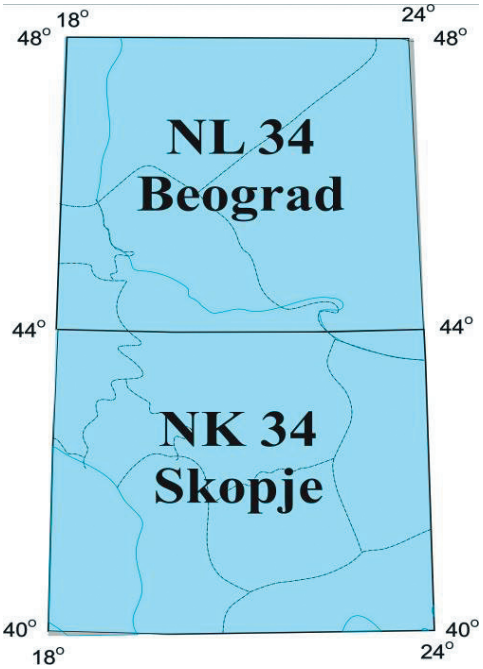
– četvorougao UTM je 34T,

– širina zone iznosi 6^o po geografskoj dužini, gde je 21^o srednji meridijan zone (34 je broj zone), te 8^o po geografskoj širini (red je T),

– merna jedinica je metar,

– apscisna osa je ekvator,

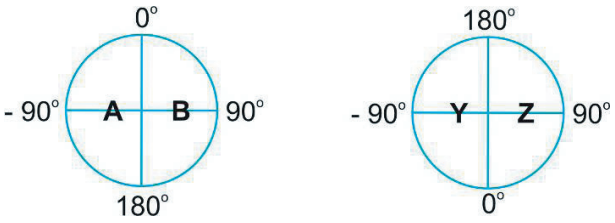
– ordinatna osa je srednji meridijan zone,
– linearna razmera na srednjem meridijanu iznosi 0,9996 (najveća deformacija preslikavanja je na sredini zone, a najmanja na krajevima, tj. na krajevima zone nema deformacija) i
– konvergencija meridijana mora biti manja od 5°.



Slika 6 – Nomenklatura za kartu razmera 1:1000000 Srbije
Figure 6 – Nomenclature of a 1:1000000 scale map of Serbia

Projekcioni koordinatni sistem *UTM* sadrži tri stepena obeležavanja. Prvi i drugi stepen obeležavanja označavaju površi, a treći stepen označava lokaciju unutar tih površi, odnosno prikaz pravouglih koordinata položaja tačke [9].

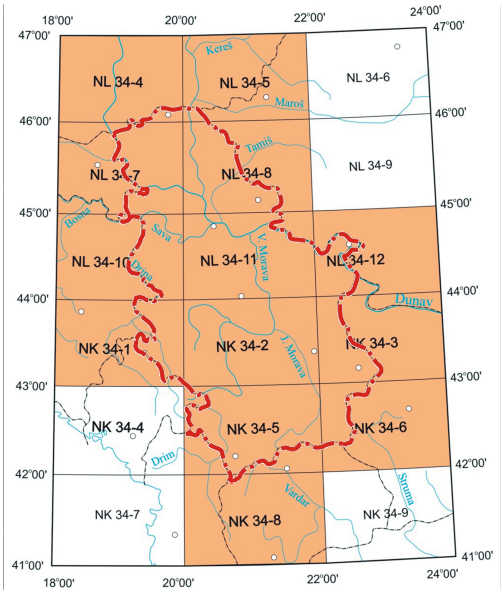
Prvi stepen označavanja obuhvata podelu površi Zemlje mrežom meridijana i paralela na kolone veličine 6° po longitudi i redove veličine 8° po latitudi (ima po deset redova severno, s tim što je deseti red proširen na 12° i južno od ekvatora, odnosno ukupno dvadeset). Kolone se označavaju arapskim brojevima od 1 do 60, s tim što se prva kolona nalazi između 180° i 174° zapadne geografske dužine (dalje obeležavanje je u smeru obrtanja Zemlje oko svoje ose), a redovi slovima engleskog alfabeta, počevši od 80 ° južne geografske širine slovom *S*, a završavaju se slovom *X* na 84° severne geografske širine, s tim što se slova *I* i *O* ne koriste (da se ne bi pomešala sa brojevima ″1″ i ″0″). Slova *A, B, Y, Z* koriste se za obeležavanje južnog i severnog polarnog prstena (slika 7).



Slika 7 – Obeležavanje južnog i severnog polarnog prstena
Figure 7 – Marking the south and north polar ring

Drugi stepen označavanja, podrazumeva da se svaka zona površine 6^o x 8^o deli na manje kvadratne površi, odnosno kvadrate sa stranama od 100 *km*. To je takozvana vojna pravougla koordinatna mreža (*MGRS – Military Grid Reference System*). Dakle, počevši od ekvatora u smeru severa i juga i od srednjeg meridijana na zapad i istok, iscrtan je sistem kvadrata 100 x 100 *km* čije su stranice u ravni projekcije paralelne sa projekcijom ekvatora i srednjeg meridijana, pripadajuće zone [10]. Sužavanjem meridijanskih zona u smeru polova zona sadrži određeni broj potpunih kvadrata (na našoj geografskoj širini samo 4), a ivični kvadrati su nepotpuni. Naime, broj kolona ka polovima se smanjuje, dok broj redova ostaje isti, tako da na 80-oj paraleli ostaju samo dve kolone.

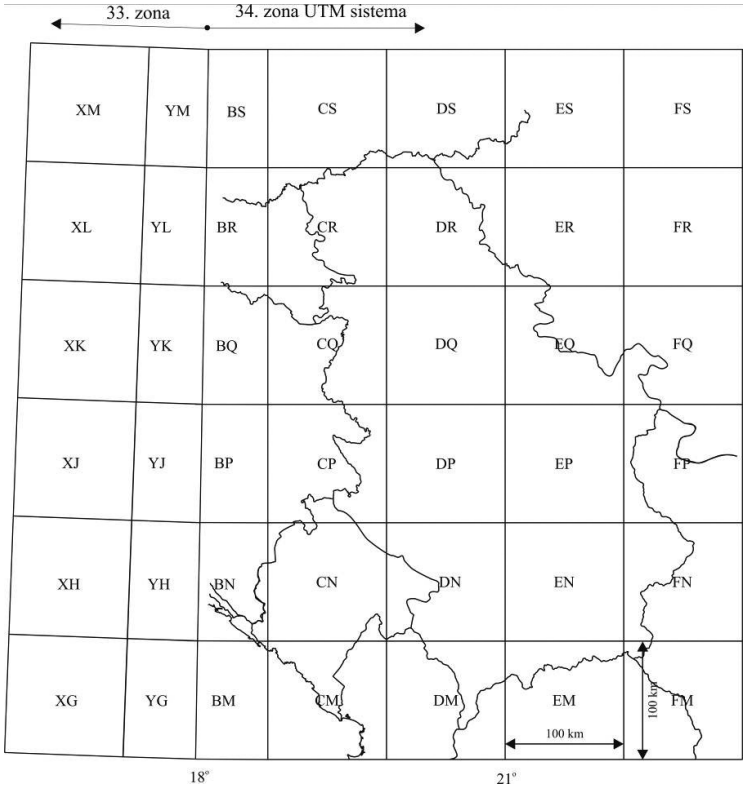
U slučaju da se radi o konkretnoj razmeri, na primer 1:250000, nomenklatura predstavlja logički sled oznaka u odnosu na početnu razmeru označavanja, u ovom slučaju kartu razmera 1:1000000 (slika 8).



Slika 8 – Nomenklatura za listove karte razmera 1:250000
Figure 8 – Nomenclature for 1:250000 scale map sheets

Obeležavanje kvadrata vrši se pomoću dva slova, prvog koje označava kolonu i drugog koje označava red. Počevši od 180° geografske dužine (datumske granice), idući istočno duž ekvatora u intervalima po 18°, kolone kvadrata obeležene su slovima engleskog alfabeta od *A* do *Z* (slova *I* i *O* su izostavljena). Redovi na severnoj hemisferi obeležavaju se slovima *A* do *V* ili *F* do *V,* zavisno od toga da li je zona parna ili neparna (izostavljajući slova *I* i *O)*, a na južnoj hemisferi slovima *V* do *A* ili *E* do *A,* zavisno od toga da li je broj zone neparan ili paran [11]. Pri tome, svakih 2.000 *km* slova se ponavljaju.

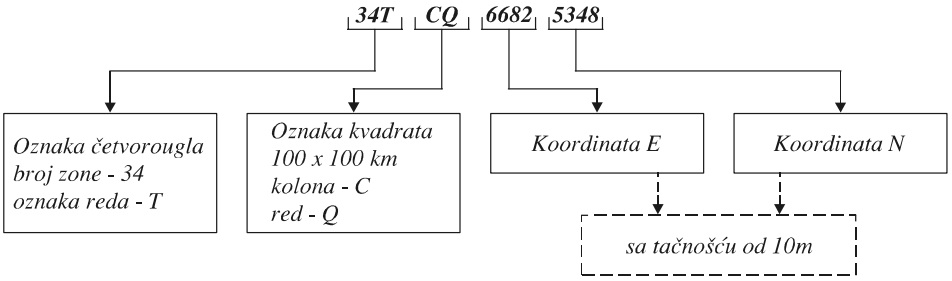
Na primer, na slici 9 dat je prikaz *UTM* zone koja obuhvata našu državnu teritoriju [12]. Ona se prostire između meridijana 18° i 24° istočne geografske dužine, sa meridijanom 21° istočne geografske dužine, kao centralnim. To je zona 34, i na njoj su prikazani podela i način označavanja kvadrata 100 x 100 *km*. Položaj kvadrata 100 x 100 *km* definiše se prvo zonom, odnosno u našem slučaju to je zona 34*T*, a zatim sa još dva slova (npr. *CQ*), gde prvo slovo određuje kolonu, a drugo red. Takođe, treba napomenuti da u okviru jedne zone ne postoje dva kvadrata sa istim oznakama, kao ni u dvema susednim zonama.



Slika 9 – Podela i označavanje kvadrata 100 x 100 km UTM mreže
Figure 9 – UTM grid of area 100 x 100 km

Treći stepen obeležavanja označava lokaciju, odnosno određivanje položaja tačke pravouglim koordinatama. Očitavaju se vrednosti priraštaja po ordinati i apscisi, tako što se prvo određuje E-koordinata (tj. y-koordinata) polazeći od preseka kvadrata na jugozapadnom temenu u pravcu istoka, a zatim apscisa N-koordinata (tj. x-koordinata) polazeći od južne ivice kvadrata u pravcu severa [13]. Pritom, sistem za obeležavanje sastoji se od slova i brojeva koji označavaju zonu, kvadratnu površinu i pravougle koordinate. Na slici 10 dat je primer određivanja pravouglih koordinata jednog objekta, blizu Loznice, i to:

– četvorougao UTM je 34T,
– određivanje *UTM* četvorougla,
– određivanje oznake pripadajućeg kvadrata 100 x 100 *km*,
– određivanje punog *km* istočno od zapadne ivice pripadajućeg kvadrata 100 x 100 *km*,
– procena udaljenosti objekta od određenog punog *km* sa tačnošću od 10 *m*,
– određivanje punog *km* severno od južne ivice pripadajućeg kvadrata 100 x 100 *km*,
– procena udaljenosti objekta od određenog punog *km* sa tačnošću od 10 *m*.

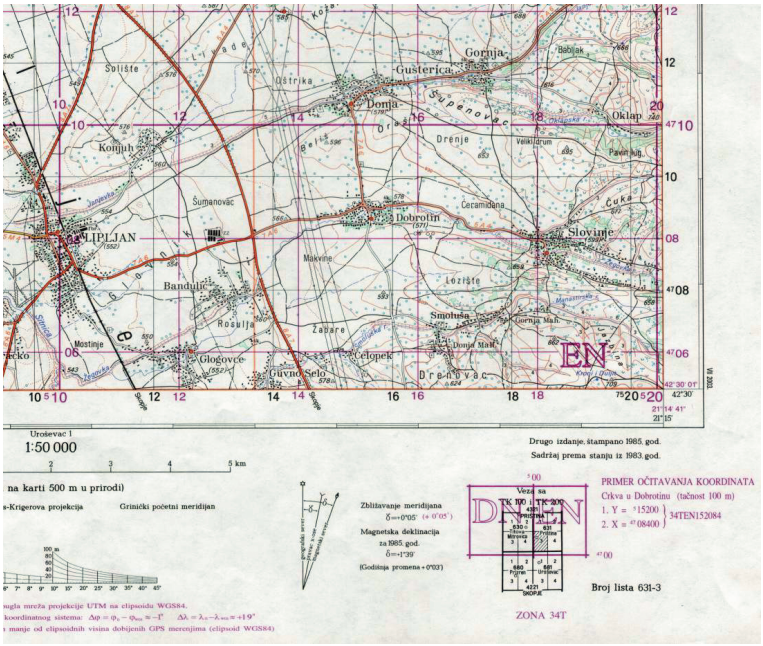


Slika 10 – Očitavanje pravouglih koordinata kod UTM mreže
Figure 10 – Reading of decartes coordinates on the UTM grid

Numerički deo oznake pravouglih koordinata uvek ima paran broj cifara, pri čemu se prva polovina cifarskog dela odnosi na ordinatu, a druga polovina predstavlja apscisu date tačke. Broj cifara iza slovnog dela u direktnoj je vezi sa tačnošću koordinata, tj. zavisi od načina očitavanja i određivanja koordinata [14]. Na primer, koordinate 34*TCQ*668534 određene su odoka, i to sa tačnošću od 100 *m*, koordinate 34*TCQ*66825348 određene su koordinatomerom sa tačnošću od 10 *m,* a koordinate 34*TCQ*6682453483 sa tačnošću od 1 *m* koja se postiže merenjem na ekranu.

Vojnogeografski institut je prateći standarde iz oblasti matematičke kartografije (primene projekcija i koordinatnih sistema) i na osnovu intenzivne bilateralne vojne saradnje realizovao projekat uštampavanja UTM

mreže na karte izdanja Vojnogeografskog instituta. Uštampavanje UTM mreže urađeno je za dva razmera, odnosno za karte razmera 1:100000 i 1:50000. Na slici 11 prikazana je karta razmera 1:50000 sa primerom očitavanja koordinata sa tačnošću od 100 metara.



Slika 11 – Primer očitavanja koordinata sa tačnošću od 100m na karti razmera 1:50000
Figure 11 – Reading the coordinates with an accuracy of 100 m on a1:50000 scale map

Navedeni projekat predstavljao je prvi projekat civilne i vojne geodetske struke u kojem je na kartografske proizvode u Srbiji implementiran novi koordinatni sistem. Skoro deceniju kasnije, Srbija će propisati i usvojiti primenu tog sistema, kao novog državnog koordinatnog sistema.

Zaključak

Nove službene karte (topografske) razlikovaće se u odnosu na postojeći kartografski sistem u matematičkoj osnovi, odnosno u kartografskoj projekciji, elipsoidu, načinu označavanja u pravougloj mreži, formatu prikaza i sistemu razmera.

Vlada Republike Srbije donela je odluku o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i kartografskih projekcija (Zakon o državnom premeru i katastru, oktobar 2009), gde se usvaja i projekcijski koordinatni sistem uni-

verzalne poprečne Merkatorove projekcije [15]. Odluku o načinu i dinamici uvođenja kartografske projekcije donosiće nadležna državna ministarstva. Novi službeni geodetski datum i kartografske projekcije uvodiće se u službenu upotrebu postupno, a u okviru školovanja, obuke za učešće u međunarodnim projektima i misijama već se radi na novim sistemima.

Prelazak na novi kartografski sistem je dugotrajan proces, a Srbija je tek na početku. Za ubrzanje tog procesa potrebno je angažovanje većeg broja kartografskih potencijala ili proširenje saradnje. Izrada topografskih karata kao najvažniji deo kartografskih proizvoda treba da bude definisana do najmanjih detalja. Time će se obezbediti ujednačenost u izradi karata različitih izvođača radova, odnosno poštovanje najnovijih tehnologija i međunarodnih vojnih i civilnih standarda.

Projekat uštampavanja UTM mreže na karte izdanja VGI predstavlja još jedan pokazatelj komparativne opravdanosti školovanja geodetskog kadra u sistemu vojnog obrazovanja i naznaku povratka vojne geodetske struke na „kote" koje je davno trasirao do sada naš jedini geodetski akademik SANU general Stevan P. Bošković.

Literatura

[1] Grupa autora, *Kartografija*, Vojnogeografski institut, Beograd, 1974.

[2] Banković, R., Infrastruktura topografskih podataka – deo nacionalne infrastrukture geoprostornih podataka države Srbije, doktorska disertacija, Vojna akademija u Beogradu, Beograd, 2011.

[3] Grupa autora, Informator, Vojnogeografski institut, Beograd, 2008.

[4] Borisov, M., *Model i organizacija geoprostornih podataka za razmeru 1:50 000,* doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2004.

[5] Robinson, A., and other, *Elements of Cartography,* Sixth Edition, USA, 1995.

[6] Kennedy, M., Kopp, S., *Understanding Map Projections,* GIS by ESRI, Redlands, USA, 2000.

[7] Illert, A., Wilski, I., Integration and harmonization of contributions to a European dataset, 17th International Cartographic Conference 10th General Assembly of ICA Proccedings 1, pp. 805–813, Barselona, Espania, 1995.

[8] Hećimović, Ž., Bakalbašić, A., *Prijedlog nomenklatura novih listova službenih karata,* Geodetski list, br. 3, str. 199–214, Zagreb, Croatia, 2009.

[9] Bugayevskiy, L., Snyder, J., Map Projections, A Reference Manual, UK, 1998.

[10] STANAG 2211, Geodetic Datums, Projections, Grids and Grid References, North Atlantic Treaty Organization, Military Agency for Standardization, Edition 6, 2000.

[11] ESRI, Map Projections – georeferencing spatial data, GIS by ESRI, Redlands, USA, 1994.

[12] Borisov, M., *Digitalna topografska karta 1:250.000 – prema NATO standardima,* izvorni naučni rad, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,

Vol. 55, No. 4, pp. 475–478, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2007.

[13] Borisov, M., Preparing and using geospatial data in military applications, GIS article, York St John Collage, UK, 2002.

[14] Borisov, M., Banković, R., *Primena GIS sa aspekta multifunkcionalnosti, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier,* Vol. 59, No. 2, pp. 158–174, ISSN 0042-8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.

[15] Zakon o državnom premeru i katastru, Službeni glasnik R. Srbije, br. 072/09, Beograd, 2009.

NEW OFFICIAL CARTOGRAPHIC PROJECTION OF SERBIA

FIELD: Earth Sciences, Cartography
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary:

A reveiw of the elements of the matematical base of our topographic maps is given. The Gausss-Kruger's conformal cilindric projection has been applied so far in Serbia and in the future the transversal Mercator's projection will be the official mapping of the state. The scales, methods of dividing and marking map sheets are given.

Mathematical basis of the current topographic maps

Based on the graphical - photogrammetric survey of the land accomplished from 1947 until 1967, as well as on subsequent periodic amendments, a system of topographic maps with scales of 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:300000, 1:500000 and 1:1000000 was obtained. The aforementioned maps replaced all the earlier editions of maps which had been created before and after World War II and which were periodically updated and used for a long time in our country. The basic features of new maps are based on the same topographic and mathematical bases. They were done by the system of derived maps and presented in the conformal (Gauss-Kruger or Lambert) map projection, with the Greenwich meridian as the default. The same or similar cartographic editorial solutions were applied. In other words, all the maps are made in a unique geodetic and cartographic system, making them easier for using, especially in the military.

The Serbian geodetic datum is related to the fundamental point in Hermannskogel. This local datum aligns its spheroid to closely fit the earth's surface in a particular area. A point on the surface of the spheroid is matched to a particular position on the surface of the earth. This point in Hermannskogel is known as the origin point of the datum.

The nomenclature for the maps of scales 1:500000, 1:300000 and 1:200000 is defined in particular, by dviding the area of the mapping territory to map sheets, without containing other related nomenclature.

The nomenclature for all the other topographic maps is derived from the scale of 1:100000. The consequence of this is that all nomenclature of larger scales contains the tag-scale of a topographic map at 1:100000. Also, each sheet that covers the territory of Serbia is labelled with a corresponding geographical name (identifier). This name helps a wider circle of users to facilitate the spatial allocation of a particular sheet within the map on the basis of geographical names of generally known objects occurring on a particular sheet. The identifier is usually the name of the most important geographical object (toponym), i.e. the dominant settlement (town, village ...) on a sheet. However, if there is no village or other place as dominant (eg oronyms, hydronyms, regionyms, etc.), this rule is abandoned.

Mathematical basis of topographic maps according to new standards

The NATO cartographic standards allow the content and visual diversity of topographic maps in various countries which are the members of the Partnership for Peace, but the mathematical basis of military topographic maps must be the same. For military purposes topographic maps are produced in the following scales: 1:50000, 1:100000, 1:250000 (according to NATO standards, land and aeronautical option, JOG - Joint Operation Graphics) and 1:1000000. In addition, there is a planned production of topographic maps of the national edition at scales:

– 1: 25000,topographic map
– 1: 50000topographic map,
– 1:100000 topographic map, and
– 1:500000topographic map.

Military topographic maps are the most important product of the state cartography. In countries where there is a military cartography, the production of topographic maps is its core product. Their common features are: accuracy, detail in scale, topographic key and modernization, i.e. maintenance of data. All calculations will be performed on the WGS84 ellipsoid. The Transverse Mercator projection in one zone is used.

The new official map projection

The new official Serbian map projection is the UTM projection. This projection is in the group of conformal map projections, which means preservation of the form similarities (equal angles). Such a method of mapping is widely used in many fields of human activity, and one of these areas is the army.

The transverse Mercator projection is an expression of Anglo-Saxon origin for a modified Gauss-Krüger projection. In comparison to the Gauss-Krüger projection, this projection has a higher mapping zone (six degrees) and a slightly larger deformations in the whole zone of mapping.

The Serbian state space is covered by two map sheets at a scale of 1:1000000. The basic features of the base for showing the area of the state territory and some parts of the neighboring states are:

– quadrilateral UTM is 34T,

– zone width is 6° per longitude, where the central zone meridian is 21° (34 is the zone number), and 8° per latitude (array is T),

– measurement unit is meter,
– horizontal axis is the equator,
– vertical axis is the central meridian of the zone,
– linear scale along the central meridian is 0.9996 (the maximum mapping deformation is in the middle of the zone, and the lowest is at the ends; there is no deformation at the zone ends) and
– convergence of the meridians must be lower than 5°.

The projection of the UTM coordinate system includes three levels of labeling. The first and the second levels of labeling mark the surfaces, and the third level is the location within these surfaces, i.e. the display of the position of the point in the Cartesian coordinates.

The Military Geographical Institute, following the standards in the field of mathematical cartography (the applications of projections and coordinate systems) and on the basis of an intensive bilateral military cooperation, implemented the project of overprinting the UTM network onto the maps published by the Military Geographical Institute. The overprinting of the UTM network was done in two scales, for 1:100000 scale maps and 1:50000 scale maps.

Keywords: *Cartography, Topographic map, Deodetic date, New official projection, UTM.*

Datum prijema članka: 06. 07. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 13. 09. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 14. 09. 2011.

STRUČNI ČLANCI
PROFESSIONAL PAPERS

STOHASTIČKI MODEL PROGNOZE POTRAŽNJE REZERVNIH DELOVA

Milojević S. *Ivan*, Guberinić V. *Rade*,
Vojska Srbije, Garda, Beograd

OBLAST: matematika
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

U ovom radu dat je stohastički model prognoze potražnje rezervnih delova. Model koji je dat izabran je po sledećim kriterijumima: da može biti primenjen, prema nameni prognoze potražnje rezervnih delova i da se ne nalazi u osnovnoj udžbeničkoj literaturi. Da bi se mogli izdvojiti, doraditi i razviti, novi modeli i metode prognoze potražnje rezervnih delova, nužno je sagledati sve ono što na neki način utiče na potražnju. Izdvojeni su uticajni faktori na potražnju rezervnih delova, ali ciljno, izdvojeni su oni faktori koji utiču na prognozu potražnje. Takođe su izdvojeni i drugi faktori, pre svega oni koji impulsno utiču na potražnju rezervnih delova. Dat je stohastički model koji je ovde u radu i eksperimentalno potvrđen. To je model koji može u sadašnjem vremenu biti primenjen.

Key words: *potražnja rezervnih delova, model prognoze, vremenske serije, krive rasta, upravljanje potražnjom.*

Uvod

Potražnja predmeta snabdevanja (sredstava) predstavlja iskazivanje potreba potrošača u jedinici mere u željenom vremenu i predstavlja jedan od najznačajnijih parametara u problemima upravljanja zalihama. Zadovoljenje potražnje u sistemu snabdevanja osnovni je zadatak. Potražnja se u praksi iskazuje preko trebovanja ili zahteva. S obzirom na uslove u kojima se razmatra upravljanje zalihama, potražnja može biti:

- deterministička ili stohastička,
- stacionarna ili nestacionarna,

ivanmiloj@yahoo.com

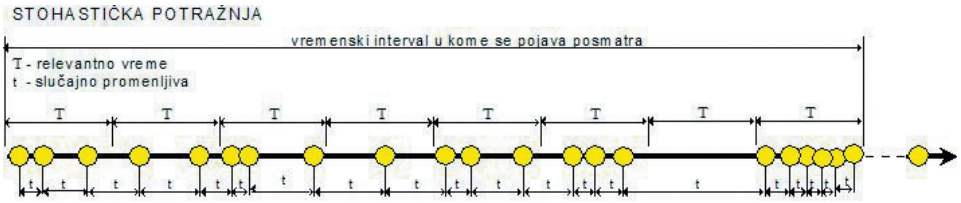
– kontinuirana ili diskretna,
– zadovoljena ili nezadovoljena.

Ako je potražnja poznata za celokupno vreme planiranja (potpuna informacija), govori se o determinističkoj potražnji i o determinističkom sistemu snabdevanja. U najjednostavnijem slučaju je pri tome potražnja u jedinici vremena konstantna. Kad se nivo potražnje u toku vremena i menja, ali po tačno utvrđenom i unapred poznatom zakonu, tada se i ta potražnja razvrstava u ovu grupu.

Takvo svojstvo potražnja ima veoma retko. U većini slučajeva biće produkt nekog procesa, npr. održavanja TMS-a, čije se delovanje ne može unapred pretpostaviti zbog niza uticajnih faktora koji na taj proces deluju i zbog kojih dolazi do slučajnih promena u potražnji. Sistem snabdevanja u tom slučaju mora delovati uz potpunu informaciju, odnosno uz određeni stepen neizvesnosti. Ako se pri tome potražnja može definisati nekim od zakona iz teorije verovatnoće, tada govorimo o stohastičkoj potražnji i o stohastičkom sistemu snabdevanja.

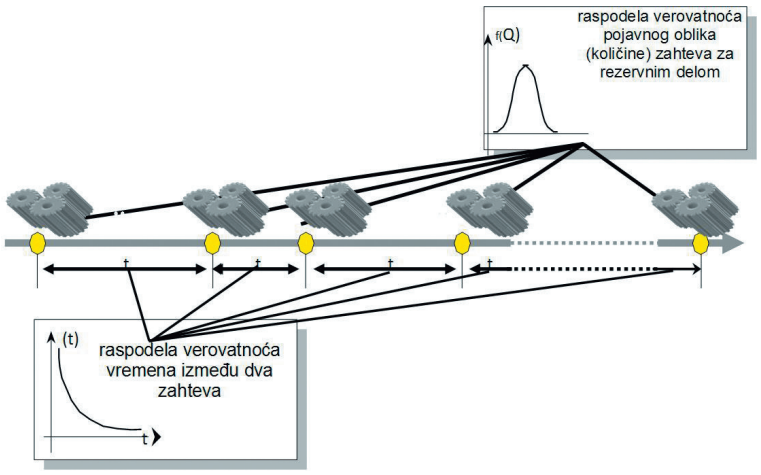
Kojim će zakonom iz teorije verovatnoće biti najpovoljnije opisati potražnju, zavisi od ostalih elemenata sistema snabdevanja. Jednom će biti dovoljno da se zna sa kojom verovatnoćom i koje su količine sredstava potrebne u nekom vremenskom periodu. U drugom slučaju može biti potrebno da se potražnja opiše vremenskim intervalom između dva trebovanja i potrebnim količinama po trebovanju, pri čemu vremenski interval, kao i potrebne količine mogu biti slučajne veličine i sl. Osnovni prikaz dat je na slikama 1 i 2.

Potražnju je moguće opisati matematičkim očekivanjem, matematičkim očekivanjem i standardnim odstupanjem, raspodelom verovatnoća ili kao slučajni proces. Mogućnosti su jedno, ali najčešće se javlja potreba za najkomplikovanijim opisom, odnosno složenim slučajnim procesom jer se u vremenu menja i intenzitet potražnje i raspodela verovatnoća po posmatranim vremenskim intervalima.



Slika 1 – Prikaz stohastičkog vremena između dva zahteva
Figure 1 – Stochastic time between two requests

Principijelno može isti zakon iz teorije verovatnoće delovati sve vreme rada sistema. Tada se govori o stacionarnom sistemu snabdevanja. Ako se taj zakon menja u vremenu, onda se govori o nestacionarnom sistemu snabdevanja.



Slika 2 – Prikaz stohastičke potražnje
Figure 2 – Stochastic demand

Stohastički model prognoze

Osnovi analize vremenskih serija

Statistička promena mnogih pojava u vremenu opisuje se vremenskim serijama. Nivoi vremenskih serija:

$$y_1, y_2, y_3, \ldots, y_n \tag{1}$$

formiraju se pod uticajem skupa dugotrajnih i kratkotrajnih faktora kao i od niza slučajnih uticaja. Zbog promene ovih uticaja, pojavljuju se i varijacije nivoa vremenske serije kojom se prikazuju promene pojava u vremenu. Samo u veoma retkim slučajevima sreću se stacionarne serije, to jest serije kod kojih je dinamika izmene takva da se srednje karakteristike ne menjaju u vremenu.

Nivo vremenske (dinamičke) serije tradicionalno se razmatra kao složena pojava sastavljena od četiri komponente:

– osnovne tendencije razvoja pojave,
– cikličnih uticaja (dugotrajni, „vekovni“),
– sezonskih uticaja,
– slučajnih kolebanja.

Pod osnovnom tendencijom razvoja pojave pogodno je podrazumevati dugotrajnu evoluciju pojave. Funkcija koja u obliku jednačine izražava trajektoriju izmene te osnovne tendencije pojave naziva se trend. Često se pod trendom podrazumeva regresija u vremenu, to jest, često se

metodom najmanjih kvadrata određuju koeficijenti predložene funkcije. Za grubo određivanje koeficijenata predložene funkcije koriste se i metoda tri zbira i metoda tri tačke.

U nastavku će biti ukratko razrađene neke od metoda analize vremenskih serija, kao i savremena koncepcija ekstrapolacije i prognoze vremenske serije.

Izravnavanje vremenske serije

U svakoj vremenskoj seriji prisutna su u manjoj ili većoj meri različita kolebanja. Ta kolebanja originalnih podataka (nivoa vremenske serije) mogu ponekad da otežaju uočavanje osnovne tendencije razvoja posmatrane pojave. Da bi se jasnije uočila osnovna tendencija razvoja, potrebno je u izvesnoj meri smanjiti ta kolebanja. Postupak smanjivanja tih kolebanja naziva se izravnavanje vremenske serije.

Postoji više metoda izravnavanja vremenske serije:
– pokretne sredine,
– adapivne pokretne sredine,
– eksponencijalne srednje vrednosti dinamičke serije.

Metoda pokretnih sredina jedna je od najjednostavnijih metoda osrednjavanja nivoa vremenske serije.

Za svakih m uzastopnih nivoa vremenske serije

$$y_1, y_2, \ldots, y_t, \ldots, y_n \tag{2}$$

(m<n) izračunava se nivo (aritmetička sredina tih m nivoa), kojim se izravnava (jednostavno zamenjuje) originalni nivo koji se nalazi u sredini m izabranih nivoa. Pogodno je da m bude neparan broj.

Primer

Ako imamo vremensku seriju

$$y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10} \tag{3}$$

onda se pokretnim sredinama formiranim od po tri nivoa (m = 3) dobijaju osrednjene vrednosti vremenske serije. Prvi osrednjeni nivo vremenske serije je $\bar{y}_2$, koji odgovara nivou y_2.

Dakle, imamo

$$\bar{y}_2 = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3},\ \bar{y}_3 = \frac{y_2 + y_3 + y_4}{3},\ \bar{y}_4 = \frac{y_3 + y_4 + y_5}{3}, \ldots$$
$$, \bar{y}_9 = \frac{y_8 + y_9 + y_{10}}{3}. \tag{4}$$

U poređenju sa originalnom vremenskom serijom y_1, y_2, ... y_{10}, osrednjena vremenska serija

$$\overline{y}_2, \overline{y}_3, \overline{y}_4, \ldots, \overline{y}_9 \quad (5)$$

ima manja kolebanja i pokazuje bolju osnovnu tendenciju razvoja pojave. Jasno je da se prilikom ovog izravnavanja ne mogu odrediti odgovarajuće srednje vrednosti za početni i krajnji nivo.

Kada se osrednjavanje izvodi pomoću aritmetičkih sredina od po pet nivoa (m=5), onda se dva početna i dva poslednja nivoa ne mogu zameniti dobijenim aritmetičkim sredinama. Uopšte, ako m nivoa učestvuje pri izračunavanju pokretnih sredina i ako je $m=2p+1$, onda se po p početnih i p poslednjih nivoa ne mogu zameniti aritmetičkim sredinama, to jest oni se ne mogu osrednjiti. Nemogućnost da se izravnaju početni i krajnji nivoi kada se koriste pokretne sredine predstavlja nedostatak ove metode.

Ako dobijene aritmetičke sredine $\bar{y}_t$ i dalje pokazuju znatnu varijaciju, proces osrednjavanja može da se ponovi, to jest, onda se mogu osrednjavati aritmetičke sredine. Nove aritmetičke sredine pokazuju manju varijaciju i bolje prikazuju osnovnu tendenciju promene posmatrane pojave.

Kod metode adaptivnih pokretnih sredina dobijena srednja vrednost ne zamenjuje centralni član intervala osrednjavanja, već zamenjuje poslednji član.

Metodom eksponencijalne srednje vrednosti dinamičke serije uzima se u obzir „starenje“ podataka, odnosno stariji podaci imaju manji uticaj.

Navedene metode date su u literaturi [2]. Pored navedenih metoda, u pomenutoj literaturi dat je postupak desezonizacije podataka, ako postoje sezonska kolebanja.

Provera hipoteze o postojanju tendencije

Trend karakteriše osnovnu zakonitost promene određene pojave u vremenu, koja je u znatnoj meri oslobođena slučajnih uticaja. Pre utvrđivanja funkcionalne zavisnosti posmatrane pojave i vremena, neophodno je prethodno utvrditi da li uopšte postoji tendencija menjanja pojave u vremenu ili ne postoji. Potrebno je, znači, izvršiti proveru hipoteze o postojanju tendencije menjanja pojave u vremenu. Postoji više metoda provere hipoteze:

– provera razlike srednjih nivoa,

– metoda Foster-Stjuarta,

a u nastavku će bliže biti prikazana metoda Foster-Stjuarta.

Metoda Foster-Stjuarta, pored toga što je jednostavna, daje i veoma pouzdane rezultate. Ovi autori su svoju metodu zasnovali na veličinama u_t i l_t koje su definisane na sledeći način:

$u_t = 1$, ako je $y_t > y_{t-1}, y_{t-2}, \ldots, y_1$, odnosno

$u_t = 0$, u ostalim slučajevima (6)

To znači da za neki nivo vremenske serije y_t veličina u_t uzima vrednost 1, ako je uočeni nivo y_t veći od svih prethodnih nivoa. Ako je nivo y_t manji makar od jednog od prethodnih nivoa, veličina u_t za taj nivo je jednaka nuli.

$l_t = 1$, ako je $y_t < y_{t-1}, y_{t-2}, \ldots, y_1$, odnosno

$l_t = 0$, u ostalim slučajevima. (7)

Analogno prethodnom, vidimo da je veličina l_t za neki nivo y_t jednaka 1 jedino kada je nivo y_t manji od svih prethodnih nivoa.

Kada se za sve članove vremenske serije izračunaju veličine u_t i l_t, pristupa se izračunavanju veličina S*t* i d_t koje su definisane na sledeći način:

$$S_t = u_t + l_t$$
$$d_t = u_t - l_t \quad (8)$$

Veličina S*t* može uzimati vrednost 0 i vrednost 1. Ova veličina jednaka je nuli u slučaju kada su i u_t i l_t jednaki nuli, tj. u slučaju kada posmatrani nivo vremenske serije y_t nije ni najveći ni najmanji od svih prethodnih nivoa serije. Veličina S*t* jednaka je 1 kada je nivo y_t najveći ili najmanji od svih prethodnih nivoa. Veličina d_t može uzimati vrednosti 1, 0 i -1, tj. imamo da je:

$d_t = -1$, za $y_t < y_{t-1}, y_{t-2}, \ldots, y_1$,
$d_t = 1$, za $y_t > y_{t-1}, y_{t-2}, \ldots, y_1$, (9)
$d_t = 0$, u ostalim slučajevima.

Po izračunavanju veličina S*t* i d_t za sve nivoe vremenske serije, pristupa se njihovom sumiranju, tj. izračunavaju se zbirovi:

$$S = \sum S_t \text{ i } d = \sum d_t \quad (10)$$

U slučaju kada su svi članovi vremenske serije međusobno jednaki imamo da je S*t* = 0 za svako *t* , pa je i *S* = 0. Ukoliko članovi serije monotono rastu ili opadaju, tada je S*t* = 1 za svako *t,* sem za prvi član, pa je i *S* = n -1 , gde je *n* broj članova serije. Znači da je:

$$0 \leq S \leq n\text{-}1 \quad (11)$$

Sličnim razmišljanjem zaključujemo da je:

$-(n-1) \leq d \leq n-1$ (12)

Vidimo da je kod monotono opadajućeg niza tj. kod niza kod kojeg je $y_1 > y_2 > ... > y_n$ ispunjeno:

$d = -(n-1)$ (13)

odnosno da je kod monotono rastućeg niza:

$d = n-1$ (14)

Veličina *d* jednaka je nuli kada je:

$\sum d_t = 0$, odnosno $\sum u_t - \sum l_t = 0$ (15)

Poslednja razlika je jednaka nuli kada je $\sum u_t = 0$ i $\sum l_t = 0$, što znači da nema trenda, ili kada je $\sum u_t = \sum l_t$, što je ispunjeno kada u vremenskoj seriji postoje dva trenda sa suprotnim tendencijama. Takođe je *d* = 0 kada se rast i opadanje naizmenično smenjuju.

Veličine *S* i *d* imaju asimptomski normalne raspodele, međusobno nezavisne. Pokazatelj *S* nam služi da pokaže tendenciju izmene disperzije. Pokazatelj *d* služi za uočavanje tendencije u srednjem. Kada se izračunaju pokazatelji *S* i *d* vrši se testiranje hipoteza o slučajnosti razlika

$d - 0$ i $S - \mu$ (16)

gde je *μ* matematičko očekivanje veličine *S*. Ove hipoteze verifikuju se testom *t* Student-a, tj. upoređuju se veličine:

$$t = \frac{d - 0}{\sigma_2} \quad \text{i} \quad t = \frac{S - \mu}{\sigma_1} \tag{17}$$

sa odgovarajućim tabličnim vrednostima. Veličina σ_1 je srednja kvadratna greška veličine *S*, a σ_2 je srednja kvadratna greška veličine *d*. Veličine *μ,* σ_1 i σ_2, koje zavise od broja članova *n* vremenske serije, prikazane su u tabeli 1.

Konačno, testiramo hipotezu $H_0(d = 0)$, odnosno hipotezu o odsustvu tendencije u srednjem:

ako je $t = \frac{d - 0}{\sigma_2} > t_\alpha^n$, odbacujemo hipotezu o odsustvu tendencije u srednjem.

Tabela 1 – Vrednosti parametara *μ,* σ_1 i σ_2 u zavisnosti od broja članova vremenske serije (*n*)

Table 1 – The values of parameters μ, σ_1 i σ_2 and depending on the number of members of time series (n)

N	μ	σ_1	σ_2
10	3,888	1,288	1,964
15	4,636	1,521	2,153
20	5,195	1,677	2,279
25	5,632	1,791	2,373
30	5,990	1,882	2,447
35	6,294	1,956	2,509
40	6,557	2,019	2,561
45	6,790	2,072	2,606
50	6,998	2,121	2,645
55	7,187	2,163	2,681
60	7,360	2,201	2,713
65	7,519	2,236	2,742
70	7,766	2,268	2,769
75	7,803	2,297	2,793
80	7,931	2,324	2,816
85	8,051	2,349	2,837
90	8,165	2,373	2,887
95	8,273	2,395	2,876
100	8,375	2,416	2,894

Zatim, testiramo hipotezu $H_0(S=0)$, odnosno hipotezu o tendenciji izmene disperzije:

ako je $t=\frac{S-\mu}{\sigma_1} < t_\alpha^n$, prihvatamo hipotezu o tendenciji izmene disperzije.

Krive rasta

Posle provere hipoteze o postojanju tendencije promene određene pojave u vremenu, sledeći korak u metodologiji prognoziranja predstavlja utvrđivanje određene krive rasta koja opisuje zakonitost razvoja pojave u vremenu. Krive rasta dobijaju se analitičkim prikazivanjem (izražavanjem) dinamičkih redova. Postoje dve osnovne etape u procesu izražavanja:

– izbor tipa krive čiji oblik odgovara karakteru promene dinamičkog reda,

– određivanje brojnih vrednosti (ocenjivanje) parametara krive.

Krivom rasta dobijaju se tzv. teorijske vrednosti nivoa dinamičkog reda, tj. nivoi koji bi se dobili ako bi se dinamika pojave potpuno poklapala sa krivom.Pitanje izbora tipa krive osnovno je pitanje pri izravnavanju dinamičkog reda. Kako od izbora određene krive rasta zavise brojne vrednosti parametara krive, odnosno u krajnjem slučaju celokupna prognoza date pojave, izboru tipa krive mora se posvetiti dužna pažnja, jer su greške pri izboru tipa krive najkrupnije greške u metodologiji prognoziranja.

Najjednostavnija metoda izbora tipa krive rasta je vizuelna metoda, ali je istovremeno u složenijim slučajevima i najnepouzdanija.

Zato se za izbor odgovarajuće krive rasta u opštem slučaju preporučuje metoda zasnovana na karakteristikama priraštaja. Ova metoda ima tri etape izbora krive rasta:

1. izravnavanje serije (reda) pokretnim sredinama,
2. određivanje srednjih priraštaja $\bar{u}_t$,
3. određivanje niza izvedenih osobina priraštaja.

Po dobijanju srednjih priraštaja $\bar{u}_t$ pristupa se izračunavanju sledećih veličina:

$$\bar{u}_t,\ \bar{u}_t^{(2)},\ \frac{\bar{u}_t}{\bar{y}_t},\ log\ \bar{u}_t,\ log\ \frac{\bar{u}_t}{\bar{y}_t},\ log\ \frac{\bar{u}_t}{\bar{y}_t^2} \tag{18}$$

Zavisno od ponašanja pojedinih veličina, vrši se izbor krive rasta koja najviše odgovara datim podacima, a prema tabeli 2.

Tabela 2 – Preporuka za izbor krive rasta na osnovu karaktera izmene pokazatelja baziranih na srednjem priraštaju

Table 2 – Recommendation for the selection of growth curves based on the character-based indicators of changes in average growth rate

Pokazatelj	Karakter izmene pokazatelja u vremenu	Tip krive rasta	
$\bar{u}_t$	približno jednaki	prava	$y_t=a_0+a_1t$
$\bar{u}_t$	linearno se menjaju	parabola	$y_t=a_0+a_1t+a_2t^2$
$\bar{u}_t^{(2)}$	linearno se menjaju	parabola	$y_t=a_0+a_1t+a_2t^2+a_3t^3$
$\frac{\bar{u}_t}{\bar{y}_t}$	linearno se menjaju	eksponencijalna	$y_t=ab^t$
$\frac{\bar{u}_t}{\bar{y}_t}$	linearno se menjaju	logaritamska parabola	$y_t=ab^tc^{t^2}$

$\log \bar{u}_t$	linearno se menjaju	modifikovana eksponencijalna	$y_t = k + ab^t$
$\log \frac{\bar{u}_t}{y_t}$	linearno se menjaju	kriva Gomperca	$y_t = ka^{b^t}$
$\log \frac{\bar{u}_t}{y_t^2}$	linearno se menjaju	logistička kriva	$y_t = \frac{k}{1+be^{-at}}$

Ekstrapolacija trenda

Najrasprostranjenija metoda prognoze je ekstrapolacija trenda. Suština ekstrapolacije trenda predstavlja produženje tendencije iz prošlosti u budućnosti. Jednostavnost postupka ekstrapolacije trenda, s jedne, i odsustvo drugih informacija, s druge strane, osnovni su razlozi izvođenja prognoze postupkom ekstrapolacije trenda.

Ekstrapolacija trenda zasniva se na sledećim pretpostavkama:

– razvoj pojave može sa dovoljno osnova da se okarakteriše kao evoluciona trajektorija, odnosno trend,

– opšti uslovi koji su uticali na razvoj trenda u prošlosti neće pretrpeti bitne izmene u budućnosti.

Određivanje prognostičkih vrednosti određene pojave pomoću ekstrapolacije trenda je u suštini formalni postupak. Važnije je odrediti interval poverenja prognoze. Ekstrapolacija trenda daje, uslovno rečeno, tačkastu vrednost prognoze. Verovatnoća da će posmatrana pojava u budućnosti uzeti jednu konkretnu vrednost je bliska nuli. Zato se često pribegava određivanju intervala vrednosti u kome će se sa određenom verovatnoćom nalaziti u budućnosti vrednosti posmatrane pojave.

Samo određivanje vrednosti je po funkciji koja opisuje tendenciju razvoja pojave, odnosno funkciji trenda.

Ekstrapolacija trenda često daje veoma dobre rezultate, ali postoje i primeri kada su učinjene velike greške u prognozi. U suštini, radi se poštovanju opštih pretpostavki za primenu metode ekstrapolacije trenda. Takođe, značajan je uticaj intervala preticanja. Što je veći interval preticanja, to je manja pouzdanost prognoze.

Analiza potražnje rezervnih delova za terensko motorno vozilo Pinzgauer po količinama

Početni podaci neophodni za analizu prikupljeni su u jednom priručnom magacinu radionice iz sastava čete za TOd mašinskih sredstava. Kao uzorak za analizu odabrana su četiri rezervna dela za terensko motorno

vozilo marke „Pinzgauer“ sa njihovim trenutno raspoloživim količinama, a zatim su iz kartona skladišne evidencije prikupljeni podaci o njihovim neutrošenim količinama na kraju svake godine u periodu od 1988. do 2005. godine. Na taj način dobijena je tabela sa ukupnom količinom tih rezervnih delova na kraju svake godine u periodu od 1988. do 2005. godine.

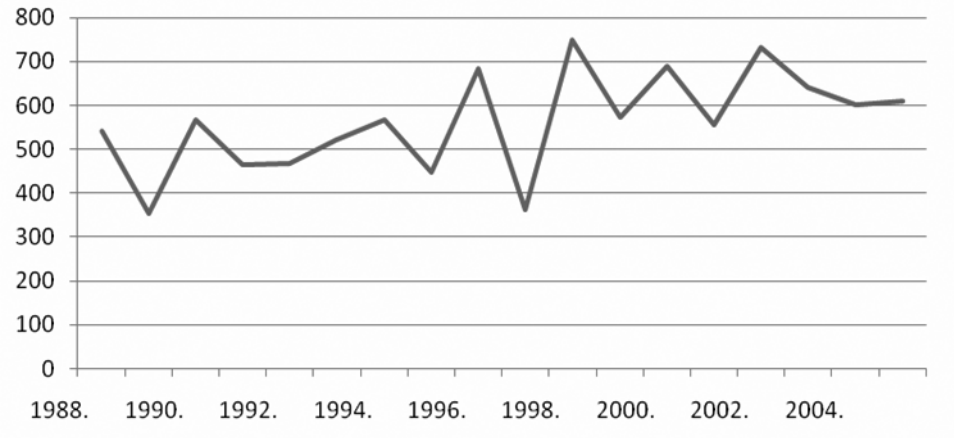
Kako su podaci vezani za ravnomerno podeljen vremenski period, njih ćemo u nastavku pokušati sagledati kao vremensku seriju. Za početak ćemo podatke predstaviti grafički na slici 3.

Iz grafičkog prikaza jasno je uočljivo da postoje značajna kolebanja originalnih podataka koja su posledica različitih uticaja u posmatranom periodu, posebno imajući u vidu veliku raznolikost ekonomskih uslova u kojima je funkcionisao sistem snabdevanja rezervnim delovima, kao i značajne razlike u intenzitetu eksploatacije tehničkih sredstava u posmatranom periodu.

Da bi se jasnije uočila osnovna tendencija razvoja posmatrane pojave, potrebno je u izvesnoj meri smanjiti postojeća kolebanja primenom nekog od preporučenih postupaka izravnavanja nivoa vremenske serije. Primenjujući metodu pokretnih sredina za m=3, m=5 i m=7 uzastopnih nivoa dobijamo tabelu 4.

Tabela 3 – Količina neutrošenih r/d u periodu od 1988–2005. godine
Table 3 – Amount of unspent/ p in the period from 1988 to 2005

Godina	Količina r/d [kom]
	541
	354
	566
	466
	467
	521
	566
	448
	683
	363
	750
	572
	690
	555
	733
	641
	600
	609



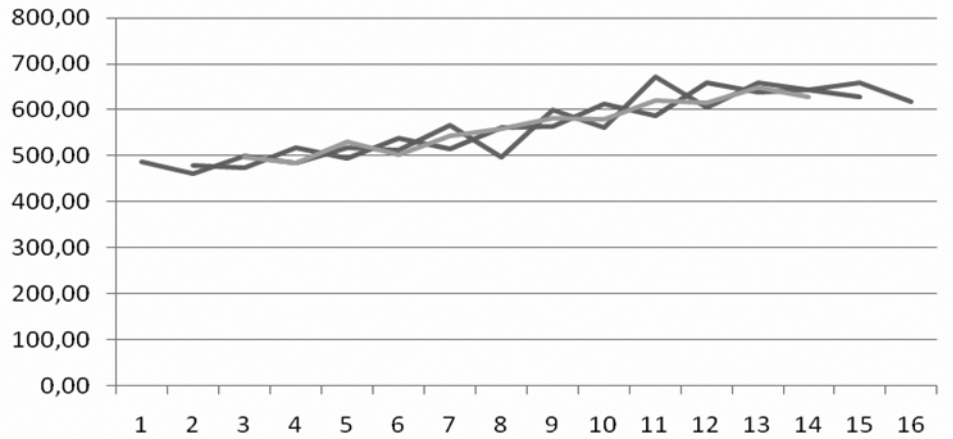
Slika 3 – Grafički prikaz ukupne količine r/d
Figure 3 – Graphic representation of the total amount of s / p

Tabela 4 – Osrednjene vrednosti nivoa vremenske serije dobijene metodom pokretnih sredina

Table 4 – Averaged values of time series levels obtained by the moving average method

Godina	Ukupna količina r/d [kom]	Pokretne sredine		
		m=3	m=5	m=7
1988.	541	-	-	-
1989.	354	487.00	-	-
1990.	566	462.00	478.80	-
1991.	466	499.67	474.80	497.29
1992.	467	484.67	517.20	484.00
1993.	521	518.00	493.60	531.00
1994.	566	511.67	537.00	502.00
1995.	448	565.67	516.20	542.57
1996.	683	498.00	562.00	557.57
1997.	363	598.67	563.20	581.71
1998.	750	561.67	611.60	580.14
1999.	572	670.67	586.00	620.86
2000.	690	605.67	660.00	614.86
2001.	555	659.33	638.20	648.71
2002.	733	643.00	643.80	628.57
2003.	641	658.00	627.60	-
2004.	600	616.67	-	-
2005.	609	-	-	-

Zatim dobijene podatke prikazujemo grafički:



Slika 4 – Grafički prikaz osrednjenih nivoa vremenske serije
Figure 4 – Graphical representation of time series averaged levels

Posmatrajući grafički prikaz, uočavamo da se već za m=5 uzastopnih nivoa dobijaju osrednjene vrednosti vremenske serije sa dovoljno umanjenim kolebanjima.

Na taj način dobili smo vremensku seriju kojom u nastavku analize zamenjujemo originalnu:

Tabela 5 – Osrednjene vrednosti nivoa vremenske serije za m = 5
Table 5 – Averaged level values of time series for m = 5

Godina	Količina r/d [kom]
	478.80
	474.80
	517.20
	493.60
	537.00
	516.20
	562.00
	563.20
	611.60
	586.00
	660.00
	638.20
	643.80
	627.60

Naredni korak je provera hipoteze o postojanju tendencije menjanja pojave u vremenu.

Zbog jednostavnosti i pouzdanosti, odlučili smo se za metodu Fostera–Stjuarta.

U skladu sa pomenutom tačkom određujemo veličine u_t i l_t, a zatim izračunavamo veličine S_t i d_t. Na taj način formiramo tabelu 6.

Zatim pristupamo verifikaciji sledećih hipoteza testom *t* Student-a:

- $H_0(d=0)$, tj. hipoteza o odsustvu tendencije u srednjem i
- $H_0(S=0)$, tj. hipoteza o tendenciji izmene disperzije.

Tabela 6 – Vrednosti veličina u_t, l_t, S_t i d_t po metodi Fostera – Stjuarta

Table 6 – Values of size u_t, l_t, S_t and d_t by the Foster - Stuart method

Godina	Cena r/d [din]	u_t	l_t	S_t	d_t
1990.	478.80	0	0	0	0
1991.	474.80	0	1	1	-1
1992.	517.20	1	0	1	1
1993.	493.60	0	0	0	0
1994.	537.00	1	0	1	1
1995.	516.20	0	0	0	0
1996.	562.00	1	0	1	1
1997.	563.20	1	0	1	1
1998.	611.60	1	0	1	1
1999.	586.00	0	0	0	0
2000.	660.00	1	0	1	1
2001.	638.20	0	0	0	0
2002.	643.80	0	0	0	0
2003.	627.60	0	0	0	0
			Σ	*S*=7	*d*=5

Iz tabele 6. interpolacijom za *n* = 14 određujemo parametre μ, σ_1 i σ_2, a zatim izračunavamo veličine:

$$t=\frac{d-0}{\sigma_2}=\frac{5-0}{2,115}=\frac{5}{2,115}=2.364 \qquad (19)$$

i

$$t=\frac{S-\mu}{\sigma_1}=\frac{7-4,486}{1,474}=1.7056 \qquad (20)$$

da bismo ih usporedili sa tabličnom vrednošću statistike *t* Student-a koja iznosi

$$t_{\alpha}^{n} = t_{0,10}^{14} = 1,761 \tag{21}$$

Pošto je

$$t = \frac{d - 0}{\sigma_2} = \frac{5 - 0}{2,115} = \frac{5}{2,115} = 2.364 > t_{\alpha}^{n} = t_{0,10}^{14} = 1,761, \tag{22}$$

odbacujemo hipotezu o odsustvu tendencije.

A kako je

$$t = \frac{S - \mu}{\sigma_1} = \frac{7 - 4,486}{1,474} = 1,7056 < t_{\alpha}^{n} = t_{0,10}^{14} = 1,761, \tag{23}$$

prihvatamo hipotezu o tendenciji izmene disperzije.

Posmatrajući izgled krive osrednjenih nivoa za *m*=5 možemo pretpostaviti da se promena nivoa vremenske serije ponaša u skladu sa polinomom ili prvog ili drugog stepena. Za osnovnu tendenciju, dakle, pretpostavljamo linearne funkcije i parabole. Proračun odgovarajućih zbirova dat je u tabeli 7.

Tabela 7 - Potrebni brojčani pokazatelji za određivanje jednačine prave

Table 7 - Required parameters for determining the numerical equation

Godina	T	Količina r/d [kom]-y_t	ty_t	$\hat{y}_t$	t^2
1988.	1	541	541	462.91	1
1989.	2	354	708	474.62	4
1990.	3	566	1698	486.33	9
1991.	4	466	1864	498.04	16
1992.	5	467	2335	509.75	25
1993.	6	521	3126	521.46	36
1994.	7	566	3962	533.17	49
1995.	8	448	3584	544.88	64
1996.	9	683	6147	556.59	81
1997.	10	363	3630	568.3	100
1998.	11	750	8250	580.01	121
1999.	12	572	6864	591.72	144
2000.	13	690	8970	603.43	169
2001.	14	555	7770	615.14	196
2002.	15	733	10995	626.85	225
2003.	16	641	10256	638.56	256
2004.	17	600	10200	650.27	289
2005.	18	609	10962	661.98	324
	$\sum t = 171$	$\sum y_t = 10125$	$\sum ty_t = 101862$	$\sum \hat{y}_t = 10124$	$\sum t^2 = 2109$

Primenjujući metodu najmanjih kvadrata, ocenjujemo parametre polinoma:

$$a = 451.2$$
$$b = 11.71 \quad (24)$$

Sada je prava dobila oblik:

$$y = 451.2 + 11,71t \quad (25)$$

Dakle, dobili smo jednačinu prave (trenda) sa ocenjenim parametrima. Na taj način vidimo da postoji tendencija povećanja količina r/d za oko 12 komada godišnje .

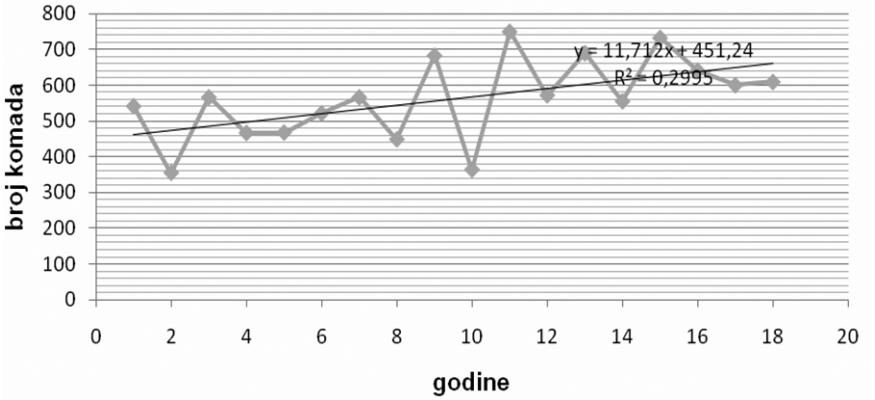
Na isti način izračunavamo i parametre parabole gde dobijamo respektivno sledeće vrednosti:

$$a = 496,16$$
$$b = 48,29 \quad (26)$$
$$c = 0,57$$

Dakle:

$$\hat{y}_t = 496,16 + 48,49t + 0,59t^2 \quad (27)$$

Uvođenje kvadratnog člana pokazalo se praktično nepotrebnim, jer se tačnost opisa time ne uvećava (koeficijent kvadratnog člana je mnogo manji u odnosu na koeficijent linearnog člana).



Slika 5 – Uporedni grafički prikaz posmatrane vremenske serije i aproksimirajuće prave
Figure 5 – Comparative graphical representation of the monitored time series and the approximating straight line

Iz grafičkog prikaza vidi se da odabrana prava sa ocenjenim parametrima ne odstupa u velikoj meri od posmatrane vremenske serije u periodu od 1988. do 2005. godine (sa izuzetkom 1998. i 1999), što nas navodi na zaključak da je pravilno izabrana kao polinom prvog stepena i da opisuje zakonitost razvoja pojave u vremenu.

Zaključak

Prognoza potražnje rezervnih delova stalno se vrši u svim skladištima, radionicama i na svim nivoima. Bez prognoze potražnje nije moguće vršiti bilo kakvo planiranje ni odlučivanje. Prognoza potražnje predstavlja ulazni podatak za određivanje nivoa zaliha, veličine narudžbe, ciklusa naručivanja itd. Postavlja se samo pitanje kolika je pouzdanost i preciznost prognoze i kakvi su efekti. Prognoziranje „po osećaju“ ne treba odbaciti, ako ne postoji ništa bolje, ali se u tom slučaju mora prihvatiti da postoji mnogo promašaja koji izazivaju bespotrebno nagomilavanje nekih rezervnih delova, a istovremeno i hroničnu nestašicu drugih rezervnih delova. Sve to značajno povećava troškove, a ne omogućava zadovoljavajuću snabdevenost rezervnim delovima.

Osnovni problem primene prikazanog modela jeste da svaki rezervni deo ima svoj intenzitet otkaza, odnosno da je za svaki deo potrebno provesti kompletan postupak. Ako je broj sastavnih delova prosečno složenog sredstva kao što je već navedeno oko 5000, a uz postojanje velikog broja sredstava, provođenje postupka prognoze ekstrapolacijom trenda praktično bi zahtevalo najsavremenije informatičke tehnologije. Međutim, analizom se pokazuje da u većini slučajeva 80–90% sastavnih delova sredstva ima duži vek trajanja od samog sredstva, odnosno da u toku životnog veka sredstva ovi sastavni delovi uopšte ne otkazuju, a da 10-15% sastavnih delova ima samo retke slučajne otkaze, (postoptimalna analiza Normativa rezervnih delova), odnosno da ne pokazuju bilo kakve znake tendencije, odnosno otkazi su slučajni.

Ostaje da se ovaj postupak primeni na 2–4% sastavnih delova po sredstvu, što već ne predstavlja neki poseban problem uz automatizaciju postupka. Odrediti koji su to rezervni delovi na koje treba primeniti postupak ekstrapolacije trenda moguće je pomoću ovog modela. Provođenjem postupka po drugom modelu za postojeće podatke dobija se prognoza. Za one rezervne delove za koje je prognoza u dužem vremenskom periodu bliska nuli nema potrebe vršiti prognozu ekstrapolacijom trenda, odnosno nema potrebe vršiti prognozu uopšte.

Ponuđeni model je primenljiv, a čak je i eksperimentalno primenjen i dobijeni su veoma dobri rezultati. Ne postoje ozbiljniji razlozi da prikazani model ne budu primenjen. Pored prikazanog, postoje i drugi modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova. Valjanost pojedinih modela uvek može da se oceni. Sigurno je da su neki modeli bolji od drugih u primeni u konkretnim slučajevima, ali je sigurno da je primena bilo kojih verifikovanih metoda i modela bolja od prepuštanja sistema stihijskom funkcionisanju.

Literatura

[1] Pantelić V., *Snabdevanje tehničkim materijalnim sredstvima*, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1986.

[2] Vukadinović S., *Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike*, Privredni Pregled, Beograd, 1981.

[3] Vukadinović S., Popović J., Teodorović D., *Zbirka rešenih zadataka iz matematičke statistike*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1981.

[4] Borović S., Mišković V., *Model prognoze potražnje rezervnih delova*, Zbornik radova SM-OP-IS'2001, S ŠONID VJ, Beograd, 2001, str. 39–43.

[5] Mišković V., Borović S., *Statistički modeli prognoziranja potražnje rezervnih delova*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 50, No. 1, pp. 5–13, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2002.

STOCHASTIC MODEL OF FORECASTING SPARE PARTS DEMAND

FIELD: Mathematics
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary

If demand is known for the whole planning period (complete information), then this type of demand or a supply system is deterministic. In the simplest cases, the demand per time unit is constant. If demand levels change over time following a precisely determined and pre-known principle, this type of demand is also classified as deterministic.

This quality of demand is very rare. In most cases demand is the product of a process, for example TMS maintenance, whose progression cannot be predicted due to a number of factors influencing the process and causing random demand changes. In this case, a supply system must function according to the complete information and with a certain degree of uncertainty. In cases when demand may be defined by some of the laws of the probability theory, we are talking about stochastic demand and a stochastic supply system.

Demand can be described by mathematical expectation, mathematical expectation and standard deviation, probability distribution or as a random process. However, there is usually a need for the most complex description, i.e. the complex random process because both intensity of demand and the probability distribution change during the observed intervals.

The level of temporal (dynamic) series is traditionally considered as a complex phenomenon consisting of four components:

– basic tendency of phenomenon development
– cyclical impact (long-term, "ancient")
– seasonal effects
– random fluctuations.

The basic tendency of phenomenon development means a long-term evolution of phenomena. A function that expresses the trajectory of changes of the basic tendency of a phenomenon development in the form of the equation is called a trend. Often, the trend involves time regression; i.e. the coefficients of the proposed functions are often determined by the least squares method. To roughly determine the coefficients of the proposed function, the sum of three and three-point methods are also used.

After checking the hypothesis of the existence of phenomenon change trends, the next step in the methodology of forecasting is the determination of a specific growth curve that describes the regularity of the development in time. These curves of growth are obtained by the analytical representation (expression) of dynamic lines. There are two basic stages in the process of expression and they are:

– *The choice of the type of curve the shape of which corresponds to the character of the dynamic order variation*

– *the determination of the number of values (evaluation) of the curve parameters.*

The most widespread method of forecasting is the trend extrapolation. The basis of the trend extrapolation is the continuing of past trends in the future. The simplicity of the trend extrapolation process, on the one hand, and the absence of other information on the other hand, are the main reasons why the trend extrapolation is used for forecasting.

The trend extrapolation is founded on the following assumptions:

– *The phenomenon development can be presented as an evolutionary trajectory or trend,*

– *General conditions that influenced the trend development in the past will not undergo substantial changes in the future.*

Spare parts demand forecasting is constantly being done in all warehouses, workshops, and at all levels. Without demand forecasting, neither planning nor decision making can be done. Demand forecasting is the input for determining the level of reserve, size of the order, ordering cycles, etc. The question that arises is the one of the reliability and accuracy of a forecast and its effects. Forecasting "by feeling" is not to be dismissed if there is nothing better, but in this case, one must be prepared for forecasting failures that cause unnecessary accumulation of certain spare parts, and also a chronic shortage of other spare parts. All this significantly increases costs and does not provide a satisfactory supply of spare parts.

The main problem of the application of this model is that each spare part has its own failure intensity; therefore, it is necessary to conduct a complete procedure for each part. If the average number of components of a complex asset were about 5000, along with the existence of a large number of resources, the forecasting by the trend extrapolating would practically require the newest information technologies. However, the analysis shows that in most cases 80-90% of component parts have a longer life than the asset itself. In addition, it is shown that during the life of the asset, these components do not fail, and that 10-15% of component parts have only rare failures (post optimal analysis of spare parts normative) or do not show any failing tendency meaning that failures are random.

This procedure remains to be applied to 2-4% of component parts. It does not present a significant problem due to the process automation. This model enables us to determine the parts to which the trend extrapolation procedure should be applied. Forecast is obtained by the use of the second model to existing data. The trend extrapolation forecast or any other kind of forecast does not need to be done for those spare parts for which the long time forecast is close to zero.

Provision of spare parts for the maintenance system considering the range, quantity, time and place is crucial for successful functioning of the maintenance system and ultimately for the accuracy of material resources. On the other hand, stocks of spare parts are costly and required to be reduced. Costs need to be minimized while ensuring the successful functioning of the maintenance system.

Keywords: *demand of spare parts, model forecasts, time series, curve of growth, demand management*

Datum prijema članka: 22. 12. 2009.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 11. 10. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 10. 2011.

NAPADI NA RAČUNARSKE SISTEME

Vuletić V. *Dejan*, Ministarstvo odbrane Republike Srbije,
Institut za strategijska istraživanja, Beograd

OBLAST: IT – informacione tehnologije
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

Računarski sistemi su kritični segment ljudskog društva u 21. veku. Ekonomski sektor, odbrana, bezbednost, energetika, telekomunikacije, industrijska proizvodnja, finansije i druge vitalne infrastrukture zavise od računarskih sistema koje rade u lokalnim, nacionalnim ili globalnim razmerama. Poseban problem jeste što se zbog ubrzanog razvoja informaciono-komunikacione tehnologije i nezaustavljivog rasta njene primene u svim sferama ljudskog društva uvećava njegova ranjivost i izloženost vrlo ozbiljnim potencijalnim opasnostima.

U radu su analizirani određeni, karakteristični, napadi na računarske sisteme.

Ključne reč: *računarski sistem, računarski napad.*

Uvod

Društvena zavisnost od računarskih sistema uvećava posledice napada, nezgoda i padova računarskih sistema.

Pod **računarskim sistemom** podrazumeva se „svaki uređaj ili grupa međusobno povezanih uređaja kojima se vrši automatska obrada podataka (ili bilo kojih drugih funkcija)“ [1].

Napad je pretnja koja je izvršena i, ako je uspešan, dovodi do kompromitovanja računarskog sistema odnosno narušavanja bezbednosti. Svaki sistem ima ranjivosti. Kompleksniji sistem podrazumeva i potencijalno veći broj ranjivosti i propusta. Napad u suštini predstavlja eksploatisanje tih ranjivosti, a sastoji se od serije namernih koraka koje preduzima napadač da bi se postigao određeni cilj.

Nezgode predstavljaju širok spektar slučajno iskrslih i potencijalno štetnih događaja, kao što su npr. prirodne nepogode.

Padovi sistema su mogući štetni događaji prouzrokovani manjkavostima u sistemu ili u spoljnim elementima od kojih sistem zavisi. Padovi sistema prouzrokovani su greškama u izradi softvera, zastarevanju hardvera, ljudskim greškama i drugo.

dejan.vuletic@mod.gov.rs

Vuletić, D., Napadi na računarske sisteme, pp. 235–249

Napadi na računarske sisteme mogu se klasifikovati prema više kriterijuma. Prema poreklu napada, razlikuju se [2]:

1. unutrašnji napad – realizovan od strane napadača unutar sistema, insajdera, koji imaju mogućnost da pristupe resursima, ali ih koriste na način za koji nije ovlašćen,

2. spoljašnji napad – realizovan od strane napadača van sistema.

Prema posledicama po sistemske resurse, napad može biti [2]:

1. aktivni napad – pokušaj da se promene sistemski resursi ili utiče na njihove operacije (npr. DoS napad),

2. pasivni napad – pokušaj da se neovlašćeno pristupi informacijama u sistemu, ali bez uticaja na sistemske resurse (prisluškivanje odnosno nadgledanje prenosa podataka, npr. Sniffing).

Karakteristični napadi na računarske sisteme

Imajući u vidu navedene, i druge, kriterijume klasifikacije napada na računarske sisteme, u praksi je čest slučaj da neželjeni događaji sa aspekta bezbednosti u računarskim sistemima predstavljaju kombinaciju različitih vrsta napada. Radi boljeg sagledavanja ugroženosti računarskih sistema, biće predstavljeni samo određeni, karakteristični, napadi (pretnje): *DoS (DDoS), Phishing, Botnet, SPAM, Social Engineering, Sniffing, Spoofing i Malware*.

Napad uskraćivanjem usluga

Napad uskraćivanjem usluga (*Denial-of-Service – DoS*) je tip napada koji pokušava da spreči legitimne korisnike da pristupe mrežnim uslugama. To se ostvaruje preopterećenjem mrežnih servisa ili prekomernom konekcijom, što uzrokuje pad konekcije ili servisa. Infrastruktura međusobno spojenih sistema i mreža sastoji se od ograničenih resursa. *DoS* alati su namenjeni da pošalju veliki broj zahteva ciljanom serveru (obično *web*, *FTP*, *e-mail server*), s ciljem da preplavi resurse servera i učini ga neupotrebljivim. Napad uskraćivanjem usluga je organizovan tako da ometa ili potpuno obustavlja normalno funkcionisanje *web* sajta, servera ili drugih mrežnih resursa. Postoje različiti načini kojima napadači to postižu. Jedan od uobičajenih načina je jednostavno preplavljivanje servera slanjem prevelikog broja zahteva. To će onemogućiti normalno funkcionisanje servera (i *web* strane će se otvarati mnogo sporije), a u nekim slučajevima može dovesti i do potpunog obaranja servera (prouzrokujući tako pad svih *web* sajtova na serveru).

Svaki sistem koji je spojen na internet i koji je opremljen mrežnim uslugama baziranim na *TCP* (*engl. Transmission Control Protocol*) protokolu potencijalna je žrtva napada. U napadima s jednim izvorom postoji jedan napadač koji poplavljuje žrtvu, dok u napadima s više izvora postoji više napada-

ča. U oba slučaja mogu se koristiti dodatni *zombie* računari. Zombie je računar koji je zaražen pomoću iskorišćavanja neke ranjivosti. Takav računar sadrži skriveni program koji omogućava upravljanje računarom iz daljine. Najčešće se koriste za izvođenje napada na neki drugi računar.

Najraniji oblik *DoS* napada bio je *SYN flood*, koji se pojavio 1996. godine i eksploatiše slabosti u *TCP*. Ostali napadi eksploatišu slabosti u operativnim sistemima i aplikacijama što dovodi do nedostupnosti mrežnih usluga ili čak do pada servera. Mnogi su alati razvijeni i postali su slobodno dostupni na internetu za izvršavanje takvih napada (*Bonk, LAND, Smurf, Snork, WinNuke, Teardrop*). *TCP* napadi su još uvek najpopularniji oblik *DoS* napada. Razlog je što ostali tipovi napada, kao što je upotreba (potrošnja) celokupnog prostora na disku, modifikovanje tabele rutiranja na ruteru i slično, prvo zahtevaju upad u mrežu, što može predstavljati problem za potencijalnog napadača ako je sistem dobro zaštićen [3].

Postoje tri osnovna načina izvršavanja *DoS* napada [4]:

1. potrošnja svih resursa, kao što je propusni opseg što onemogućava legitimni saobraćaj (*SYN flooding attacks* – veliki broj zahteva da se otvori *TCP* konekcija, tj. veliki broj otvorenih konekcija, *smurf* napadi[1] – veliki broj paketa usmerenih ka mreži);
2. uništenje ili oštećenje konfiguracionih informacija (npr. rutera);
3. fizičko oštećenje komponenti mreže da bi se sprečio pristup uslugama (računara, rutera, stanica za napajanje električnom energijom).

Distributed Denial of Service (DDoS) je tip *DoS* napada koji se služi snagom (moći) višestrukih posrednih korisnika. Klasični *DoS* napadi su jedan-na-jedan napadi u kojima moćan host generiše saobraćaj koji „zatrpava“ konekciju ciljanog hosta, što ometa ovlašćene klijente da pristupaju mrežnim uslugama. *DDoS* napadi su otišli korak dalje što se višestruko pojačava, što ima za posledicu da serveri ili delovi mreže mogu biti potpuno neupotrebljivi za klijente. Prvi put su se pojavili 1999. godine, a masovniji *DDoS* napadi počeli su 2000. godine kada su oboreni popularni sajtovi kao što su *Amazon*, *CNN*, *eBay*, *Yahoo* i drugi. Najbolji način odbrane od takvih napada je promena konfiguracije rutera kod provajdera internet usluga [3].

DDoS napadi koriste veliki broj računara zaraženih crvima ili trojancima da realizuju jednovremeni napad na ciljani sistem, za veoma kratko vreme. Daljinski kontrolisani zaražen računar naziva se zombi (zombi). Računari zombiji mogu, na primer, poslati na hiljade mejlova izazivajući prekid usluga na *e-mail* serveru [4].

U Estoniji DDoS, 2007. godine, bio je najveći napad ikada viđen. U tom napadu bilo je uključeno više različitih bot mreža, svaka sa desetinama hiljada zaraženih mašina [5]. Često se u informatičkim krugovima događaji u Estoniji nazivaju prvi rat na mreži (*Web War One – WWI*).

[1] Štrumf (smurf) napadi se realizuju tako što napadač šalje ogroman broj ICMP echo-request (ping) svim adresama u mreži, pri čemu se adresa ciljanog računara navodi kao izvorna adresa. Pingovane mašine šalju njihove odgovore ka računaru žrtvi, tj. ciljanom sistemu, što može preplaviti ciljani sistem.

Ako napadač izvodi *smurf*[2] napad sa jednog izvora, takav napad biće prepoznat kao *DoS* napad. Ako napadač koristi hiljade *zombie* sistema da istovremeno izvedu *smurf* napad, napad će biti prepoznat kao *DDoS* napad.

DoS i *DDoS* je veoma teško identifikovati i sprečiti. Simptomi *DoS* napada mogu biti: usporavanje mrežnih performansi, nemogućnost pristupanja određenim *web* sajtovima, veliko povećanje primljenih spemova itd.

Zaštita od *DoS* napada se postiže:

1. isključivanjem (disejblovanjem) nepotrebnih mrežnih usluga;
2. ograničavanjem tj. normiranjem korišćenja diska za sve korisnike kao i za mrežne usluge;
3. obezbeđivanjem filtriranja na ruterima i zakrpama (*patch*) operativnih sistema da bi se smanjila izloženost *SYN* napadima;
4. definisanjem tj. određivanjem šta je normalna upotreba (opterećenost) mreže da bi se lakše identifikovalo i suprotstavilo napadu;
5. redovnim bekapovanjem informacija o konfiguraciji sistema i obezbeđivanjem stroge politike zaštite po pitanju lozinki.

Fišing

Fišing (*phishing*) je vrsta napada na internetu kada se napadači koriste postojećim internet servisima da namame i prevare korisnike da otkriju osetljive informacije (korisnička imena, lozinke, podatke sa kreditnih kartica…) koje mogu biti iskorišćene u kriminalne svrhe.

Napadači (fišeri) obično izvršavaju fišing napade koristeći falsifikovane e-mejlove tako da izgleda da ih šalje određena institucija sa kojom žrtva ima kontakt (npr. banka, osiguravajuća kuća i slično). Fišeri obično izvode fišing napad tako što pošalju mejl korisniku banke (ili druge institucije) u kome se navodi da će mu račun biti ukinut ukoliko ne ažurira lične informacije. U mejlu je dat i link ka lažnom sajtu, odnosno vernoj kopiji stvarnog sajta određene institucije. Na taj način potencijalna žrtva je namamljena na lažni *web* sajt gde će biti navedena da ukuca broj svog računa i lozinku koji se kasnije mogu zloupotrebljavati, pre svega iz finansijskih motiva [4].

Pored elektronske pošte, fišeri koriste i druge servise na internetu kao što su *Windows Messenger*, *ICQ*, *Skype*, *Google Talk*, društvene mreže (*Facebook, Twitter, MySpace*) i dr.

[2] *DoS* napad koji eksploatiše *Internet Control Message Protocol – ICMP*. Bazira se na spufingu *ICMP echo request* paketa (koristi za tzv. pingovanje prilikom rešavanja problema). Napadač falsifikuje *ICMP echo request* pakete sa izvornom *IP* adresom koja je identična *IP* adresi žrtve. Ti paketi se emituju na mreži gde se nalazi žrtva. Kada drugi korisnici prime takav zahtev, emituju *ICMP echo replay* pakete.

Fišing napadi oslanjaju se na socijalni inženjering i tehničke postupke. *Spem* je glavni alat da postignu veliki broj potencijalnih fišing žrtava. Fišeri koriste baze podataka (*spamer's database*) koje sadrže veliki broj e-mail adresa radi slanja mejlova koji će izgledati što je moguće više kao legitiman zahtev. Fišeri koriste i botnetove radi jednovremenog pokušaja velikog broja fišing napada [4].

Fišing pretnje predstavljaju jednu od ozbiljnijih pretnji na internetu. Cilj napada je [4]:

1. da se dođe do osetljivih, ličnih, informacija koje se mogu zloupotrebiti pre svega iz finansijskih motiva;
2. da se instalira maliciozni program (*malware)* i proširi mreža zombija uzrokujući finansijske gubitke i ličnu štetu.

Fišing napadi se mogu podeliti na nekoliko kategorija [4]:

1. *Deceptive attacks* – oslanja sa na obmanjujuće poruke. To je najčešći fišing napad. Koristeći propuste u *SMTP*, pošiljalac vrši *spoofing* izvorne *e-mail* adrese. Od primaoca će se uvek zahtevati da klikne na link i reši problem brzo i sigurno. Napadač koristi razne tehnike da bi poruka izgledala kao da je od originalnog pošiljaoca.
2. *Malware attacks*. Bazira na socijalnom inženjeringu. Korisnik se ubeđuje da otvori atačment u mejlu ili da preuzme interesantan softver koji sadrži maliciozni program. Ovaj napad oslanja se i na tehničke ranjivosti koje omogućavaju malicioznom programu da se širi u mreži.
3. *DNS-based attacks* – preusmeravanje na lažni server koji sadrži maliciozni sadržaj. *Malware* obično sadrži trojanca, *keyloggers*, *screenloggers* i dr. Maliciozni program se koristi da instalira *Browser Helper Object* koji kontroliše *Internet Explorer web* pretraživač i usmerava *HTTP* saobraćaj ka nelegitimnim sajtovima. Napredniji *DNS-based attack* naziva se *pharming***.** Predstavlja *DNS spoofing* metod koji kompromituje proces pretraživanja imena domena.
4. *Content-injection attacks* predstavlja ubacivanje koda u legitimni sajt. Napadač može koristiti maliciozni sadržaj ili da preusmeri žrtvu na drugi *web* sajt ili da instalira maliciozni program na računar žrtve. Napadači obično ubacuju maliciozni sadržaj na legitimni sajt kroz *cross-site scripting* ranjivosti.[3] Maliciozni sadržaj postaje deo podataka na sajtu.

Zaštita of fišinga:

1. ne odgovarati na mejlove u kojima finansijske institucije traže lične podatke;
2. ne klikati na linkove koji su sadržani u mejlovima dobijenim od nepoznatih osoba;
3. često menjati i koristiti dobro zaštićene lozinke;
4. koristiti antivirusni softver, *firewall*, filter za filtriranje spemova, *antispyware* softver;

[3] *Cross-site scripting (XSS)* je ranjivost u web aplikacijama koja omogućava malicioznim napadačima da ubace kratak fragment (script) u bazu podataka koji koji im kasnije omogućava da zaobiđu mehanizme zaštite i pristupaju osetljivim sadržajima stranice.

5. lično kontaktirati, na drugi način, institucije koje od nas traže lične podatk,

6. proveriti da li stranica preko koje unosimo podatke koristi *HTTPS* protokol (finansijske institucije trebalo bi da koriste,

7. redovno praćenje računa za obavljanje novčanih transakcija;

8. edukacija korisnika o zloupotrebama na internetu.

Kao nove varijante fišing napada pojavljuju se [4]:

1. *Spear phishing* **–** ciljaniji napadi pri čemu napadač mora ukrasti ili prikupiti mnogo više informacija o žrtvi radi većeg osećanja legitimnosti;

2. *Vishing* – fišing napad koji obuhvata *Voice over IP (VoIP)*. Fišeri šalju *e-mail* koji sadrži telefonski broj dostupan preko *VoIP* tehnologije.[4] Od žrtve se traži da pozove *VoIP* broj. Kontrakt se umesto linka ostvaruje preko *VoIP*. Žrtva pozove broj, a napadač je pita za lične informacije direktno putem telefonom.

Botnet

Botovi (*engl. bots,* skraćenica od robots) su programi (obično izvršni fajlovi) koji su instalirani na računar s ciljem da automatski pokrenu set funkcija i dopuste neovlašćenim korisnicima da dobiju daljinsku kontrolu pomoću komunikacionog kanala. Ti zaraženi računari se nazivaju zombiji (*zombies*) ili botovi (*bots*), a mogu se nalaziti svuda širom sveta. Predstavljaju skrivenu armiju računara s ciljem slanja spemova, *DoS* napada, fišing napada, distribucije oglašavačkih programa (*adware*) i slično.

Botovi nikada ne deluju pojedinačno. Oni su deo velike mreže zaraženih računara koja se naziva botnet (skraćenica od *engl. bot network*). U svakom botu instalirana su „zadnja vrata *(backdoor)*"[5] da bi mogao da izvršava komande.

Botnetovi su koordinirane grupe od nekoliko (desetina, stotina ili hiljada) personalnih računara ili čak novih generacija mobilnih telefona (*smartphones*) pri čemu su svi zaraženi istim malicioznim programom. Njihova moć, daljinski kontrolisana, može se rangirati od spemova i krađe identiteta do špijunaže i napada na kritične informacione infrastrukture [6].

---

[4] Glas preko internet protokola (*Voice over Internet Protocol – VoIP*) je tehnologija koja omogućava prenos glasa i multimedijalnih sadržaja preko računarskim mreža (interneta). Često se kao sinonimi pojavljuju odrednice IP telefonija, internet telefonija i slično.

[5] Skriveni mehanizam za pristup aplikacijama, sistemu ili mreži. Obično ga ostavljaju napadači da bi mogli ponovo, skriveno, upasti u sistem i napraviti veću štetu. Ako se to desi, neophodno je izbrisati sistem i instalirati novi za koji smo sigurni da je bezbedan. Popularan alat za instaliranja backdoor u koji smo prodrli je Netcat koji može inicirati ili primiti *TCP* ili *UDP (User Datagram Protocol)* konekcija nekog porta. *Netcat* je alat za skeniranje portova i prenos informacija pomoću mrežnih konekcija. Može čitati i pisati podatke koristeći *TCP* i *UDP* s ciljem: izvršavanja prenosa fajlova, prikriveno slanje/prijem podataka od l ka kompromitovanim sistemima, testiranje mrežnih servisa i sl. To je izuzetno fleksibilan alat koji može koristiti neku lokalnu adresu i port da inicira konekciju.

Botnetovi se koriste za napade na određene zemlje i kritične informacione infrastrukture kao što je bio slučaj u maju 2007. godine u Estoniji, kada je *DDoS* napad izveden je pomoću 560 računarskih mreža iz više od 50 zemalja [6].

Najvidljivija upotreba botneta jeste emisija spemova i malicioznih programa, koji zaokupljuju veliku pažnju donosilaca odluka i provajdera internet usluga širom sveta, u pokušaju da spreče navedene štetne sadržaje, najčešće restrikcijama saobraćaja oko porta 25 (*SMTP*). To je samo vrh ledenog brega, odnosno „pokušaj lečenja kancera pluća sirupom protiv kašlja“ [6].

Internet Relay Chat (IRC)[6] ili *peer-to-peer* mreža,[7] *VoIP* omogućavaju cyber kriminalcima da centralizovano kontrolišu zombije i realizuje koordinisane i jednovremene napade. Napadači obično napadaju računare koji imaju širokopojasni pristup internetu i nizak nivo bezbednosti. Širenje infekcije obično se obavlja trojancima, mejlovima, malicioznim *web* sajtovima. Napadači koriste kontrolere bazirane na *Web*-u, kao što je protokol *HTTP*, da kontrolišu botove i *instant message controllers*. *VoIP* može postati novi komunikacioni kanal za napadače i možda najbolji način za napadače da kontrolišu zombije, obrišu tragove i prikriju napad [4].

Noviji roboti mogu automatski skenirati okruženje u kojem se nalaze i širiti se koristeći pronađene ranjivosti i slabe tačke. Najpopularnije korišćenje botneta za izvođenje *DoS* napada jeste korišćenje istih za slanje spem poruka. Slanjem enormne količine beskorisnih poruka korisnicima, korisne poruke i resursi mogu biti izgubljeni. Maliciozni programi takođe mogu biti poslati putem spema da bi stvorili početni skup zaraženih računara, koji šalju navedene maliciozne programe ostalim računarima.

Spem

Spem (*spam*) je neželjena elektronska pošta, odnosno pošta koju korisnik nije tražio niti je dao saglasnost pošiljaocu da šalje takve poruke na njegovu adresu. Najčešće su to reklamne poruke ili ponude, ali mogu biti i poruke s ciljem ubacivanja malicioznog softvera u željeni računar.

To je oblik elektronske pošte koji pokušava da sakrije *e-mail* adresu pošiljaoca s ciljem onemogućavanja njegovog praćenja ili koji se koristi obmanjivanjem prilikom ispisa u polje „predmet (*subject*)“, s namenom da natera primaoca da otvori primljenu poštu [3].

Pošiljaoci (spameri) često svoju infrastrukturu smeštaju u zemlje koje nemaju zakonski definisane kazne za slanje spem poruka. *E-mail*

[6] Mreža servera koja omogućava diskusije uživo, između ljudi u celom svetu. Najčešći način kontrolisanja botova zato što je to popularan protocol prilagođen da se pokreće na različitim mašinama i zato što omogućava kriminalcima da prikriju svoje aktivnosti u okviru legitimnog *IRC* saobraćaja.

[7] Neki botovi mogu koristiti vlastite *peer-to-peer* mreže da uspostave kriptovane komunikacije koristeći proizvoljne mrežne portove.

adrese se sakupljaju preko raznih četova, *web* stranica, *news* grupa ili malicioznim programom zaraženih računara. Najčešći način sakupljanja *e-mail* adresa je pomoću robotskih sakupljača (eng. *harvester*) – bota koji na internetu traži *e-mail* adrese. Spameri, takođe međusobno razmenjuju baze prikupljenih *e-mail* adresa. Izvor poruke može se pratiti korišćenjem određenih alata kao što su *Traceroute*, *Whois* i drugi.

Spem je delom problem slobode govora i prirode interneta kao distribuiranog sistema koji niko realno ne kontroliše i koji je razvijen brojnim odlukama do kojih se došlo konsenzusom.

Spem postaje sve ozbiljniji problem na internetu. Problem nastaje kada to postane svakodnevno i u takvim količinama da je teško razlikovati „legalnu" poštu od te neželjene, što takođe dovodi do ubrzanog popunjavanja ograničenog slobodnog prostora za legitimne poruke, tj. nemogućnosti pristizanja novih poruka. Osim za obične korisnike, velike količine spem poruka su i problem za provajdere internet usluga (*Internet Service Provider – ISP*) koji zbog njih moraju povećati svoje kapacitete.

Zaštita od spema ostvaruje se primenom softvera za filtriranje, skrivanjem svoje e-mail adrese da ne bude javno dostupna, npr. na mejling listama, edukacijom, antispem regulativom i drugim merama.

Socijalni inženjering

Socijalni inženjering (*social engineering*) je tehnika manipulacije ljudima (ubeđivanjem, obmanjivanjem, domišljatošću, lažnim predstavljanjem…) radi dobijanja poverljivih informacija ili pristupanja poverljivim sistemima.

Koristeći ljudske slabosti, na taj način zaobilaze se mehanizmi zaštite s ciljem izvršenja krađe, prevare, industrijske špijunaže, krađe identiteta, izazivanja prekida u radu sistema i drugih ciljeva.

Napadači se ne služe primarno tehnologijom (mada i ona može delimično biti uključena), već se koriste lakovernošću zaposlenih. Najčešći napadi socijalnog inženjeringa izvršavani su telefonom. Posebno su ranjiva lica (slabo edukovana) koja su zadužena da pružaju pomoć (*help desk*). Kopanje po smeću (*dumpster diving*) može pružiti značajne informacije. Do podataka se često dolazi domišljatošću a mozaik se sklapa postepeno, deo po deo.

Napadači se obično fokusiraju na veće entitete kao što su: sistem odbrane, finansijske institucije, velike kompanije, telefonske kompanije, bolnice, vladine agencije. Na svaki način pokušavaju dobiti na legitimnosti i uverljivosti, stvarajući povoljno psihološko okruženje za delovanje. Na primer, lažnim predstavljanjem kao *IT* podrška ili administrator od korisnika se može zatražiti lozinka direktnim pozivom ili slanjem elektronske pošte.

Osnovna zaštita od socijalnog inženjeringa, kao pretnje na internetu, leži u edukaciji zaposlenih i dobroj politici zaštite informacija i sistema.

Snifing

Njuškala (*sniffers*) su uređaji, hardver ili softver, koji mogu nadgledati pakete u računarskoj mreži odnosno nadgledati mrežni saobraćaj, i zakonito ili nezakonito prikupljati podatke koji se prenose. Njuškala mogu čitati sve aktivnosti koje se pojavljuju između protokola mrežnog sloja. Njuškala se generalno koriste da izoluju probleme na mreži. Mada su nevidljivi za krajnjeg korisnika, degradiraju mrežne performanse.

Alati se često nazivaju „analizatori protokola“. Njuškanje (*sniffing)* se lako realizuje na tzv. segmentiranoj, podeljenoj, mreži (*shared network)* gde su segmenti mreže povezani habovima. Ako neko ima fizički pristup mreži, može prikačiti *protocol analyzer* na mrežu i „uhvatiti“ sve što se dešava na određenom segmentu mreže [3].

Ruter u mreži čita svaki paket podataka koji prolazi preko njega, određujući da li je namenjen destinaciji u okviru ruterove vlastite mreže ili treba da bude prosleđen nekom drugom ruteru na internetu. Međutim, ruter sa sniferom može da čita podatke u okviru paketa kao i izvorišnu i destinacionu adresu.

Njuškala se dosta razlikuju po funkcionalnosti i dizajnu. Neki analiziraju samo jedan protokol dok drugi mogu više njih. Poznatiji sniferi su *Ethereal*, *tcpdump* i drugi.

Njuškala mogu uhvatiti veliki broj korisničkih imena i lozinki, poverljivih i privatnih informacija. Pošto se u mreži obavlja saobraćaj, tj. protiče ogromna količina paketa, sniferi će njuškati samo prvih 200–300 bajtova svakog paketa u kojima je i sadržano korisničko ime i lozinka. Informacije koje su poslate portu 23 (*Telnet*), 80 (*HTTP*) i 21 (*FTP*) naročito su korisne za napadača [7].

Sniferi su pasivni programi koji se teško otkrivaju, naročito na velikoj mreži (postoje specijalizovani alati). Postoje dve glavne odbrane protiv njuškala [7]:

1. sigurna topologija (podeliti mrežu tj. napraviti čvršće mrežne segmente korišćenjem svičeva, rutera i bridževa; periodično proveravati svaki segment kao i *MD5* provere periodično po segmentima);
2. jaka enkripcija (kriptovati podatke a enkripcija mora biti dovoljno jaka; problem je što sve aplikacije nemaju integrisanu podršku za enkripciju; problem je i što se korisnici odupiru korišćenju enkripcije, tj. inicijalno se slažu ali ih se retko pridržavaju; postoje aplikacije koje podržavaju jaku, dvostruku enkripciju kao što je *Secure Shell*).

Spufing

Spufing (*spoofing*) je obmana, tj. prevara kojom se stvara utisak da prenos vrši ovlašćeni korisnik. To je prefinjena tehnika provere autentičnosti jedne mašine prema drugoj, falsifikovanjem paketa iz adrese izvora kojoj se veruje. Autentičnost koja se javlja u trenutku konekcije potpuno se bazira na *IP* adresi izvora. *IP* adrese (i mnoga polja *IP* zaglavlja) mogu se falsifikovati. Ovo je najlakši mehanizam zloupotrebe *IP* rutiranja izvora [7].

IP spufing je jedan od oblika spufinga i tada se falsifikuje izvorna adresa *IP* paketa. Postoje i druge tehnike (*ARP, DNS i TCP spoofing*) [7]. *Address Resolution Protocol (ARP) spoofing* – falsifikovanje *Media Access Control (MAC)* adrese *Ethernet* frejmova. *Domain Name System (DNS) spoofing* – falsifikovanjem podataka u DNS paketima.

TCP spoofing napad bazira se na činjenici da *TCP* protokoli uspostavljaju logičku konekciju između dva krajnja korisnika radi podrške razmene podataka. Logički identifikatori (brojevi portova) koriste se da se uspostavi *TCP* konekcija. Neki brojevi portova su fiksirani i dobro poznati, tj. rezervisani za određene programe. Drugi se dodeljuju dinamički, tokom konekcije, po određenom algoritmu. *TCP port number attack* obuhvata pretpostavku ili predviđanje sledećih brojeva portova koji će biti dodeljeni za razmenu podataka radi upotrebe tih brojeva umesto legitimnih korisnika. To im omogućava da prođu kroz *firewalls* i uspostave sigurnu konekciju između dva entiteta, napadača i cilja. Za to vreme, legitimni korisnik je blokiran, ali je to dovoljno vremena za napadača da pošalje žrtvi poruku da je zahtevani sistem neaktivan. Da bi se ova vrsta napada sprečila, *firewall* mora biti pravilno konfigurisan tako da onemogućava prolazak *IP* paketa koji sadrže dolazeću *IP* adresu na spoljni komunikacioni port. Procedure autentifikacije *firewall*-a ne treba da se baziraju samo na *IP* adresi, već i na dodatnim funkcijama enkripcije [4].

Ruteri su jedno od rešenja za spufing problem, tj. mogu zaštititi dolazeće pakete koji imaju potvrdu da su nastali unutar mreže. Pažljivo nadgledanje mreže takođe je preventivna mera. Rešenje je, dakle, u filtriranju na ruteru (kroz kontrolne liste pristupa – *Access Control List ACL*), enkripciji i autentifikaciji (obe funkcije biće zadovoljene u *IPv6*).

Maliciozni (zlоćudni) programi

Sa razvojem interneta i različitih servisa javljaju se brojni maliciozni programi (*malware* – *malicious software*) koji se brzo i lako šire mrežom (internetom) zbog ranjivosti sistema, sistemskih grešaka, neopreznosti korisnika i drugih razloga. Maliciozni programi predstavljaju softvere koji nanose štetu ciljanom, zaraženom, računarskom sistemu. Razlikuju se po malicioznoj aktivnosti koju čine, kako se umnožavaju, kako se izvršavaju.

O ozbiljnosti problema dovoljno govori i činjenica je 2009. godine prosečno na svake 2,2 sekunde dolazilo do pojave (ulaska) malicioznog programa u cyber prostor. Tri ili četiri kompanije koje se bave antivirusnim softverima imale su sofisticirane mreže da nadgledaju nove maliciozne programe, ali su one našle i rešile jedan od deset malicioznih programa. Rešenje podrazumeva deo softvera napravljen da blokira maliciozni program. Nekada su potrebni dani pa i nedelje da bi se problem rešio. Do pronalaska rešenja, kompanije, vladini organi i obični korisnici potpuno su ranjivi na nove maliciozne programe [5].

Krajem 2010. godine, specijalno napravljen maliciozni program *Stuxnet* zarazio je „Simensove“ SCADA uređaje koji kontrolišu naftovode, električna, nuklearna i druga industrijska postrojenja u Iranu, inficirajući najmanje 30.000 računara širom zemlje. Prema procenama stručnjaka, Stuxnet je najsofisticiraniji maliciozni program ikad napravljen, tj. predstavlja kombinaciju koja eksploatiše četiri različite ranjivosti u Windows operativnim sistemima [8].

Računarski virus

Računarski virusi su samoreplicirajući maliciozni programi koji se šire tako što ubacuju kopije samih sebe u drugi izvršni kod ili dokument odnosno inficiraju datoteke i programe na ciljanom računaru. Štetu na zaraženom računaru realizuju tako što brišu ili menjaju fajlove na disku. Svojim malicioznim aktivnostima mogu oštetiti softver ciljanog sistema. Pokreću se tako što korisnik pokretanjem odgovarajućeg zaraženog programa u stvari prvo pokreće virus, a zatim program.

Lako se prenose prenosnim diskom, preuzimanjem zaraženih fajlova sa interneta ili drugog računara u mreži, prijemom zaraženih fajlova putem elektronske pošte odnosno dospevanjem zaraženih fajlova na drugi računar. Računarski virusi su sve manje aktuelni, pošto nisu programirani da se šire preko računarskih mreža. Potreban je host program za njihovo širenje, i to je osnovna razlika u odnosu na crve.

Postoje različite vrste računarski virusa, kao što su: *polimorfni (polymorphic) virusi* – menjaju oblik s ciljem izbegavanja detekcije; *nevidljivi (stealth*) – prikrivaju svoje prisustvo od aplikacija s ciljem izbegavanja detekcije, *retro* – napadaju ili zaobilaze AV programe (anti AV programi) i drugi.

Računarski crv

Računarski crv (*worm*) je tip malicioznog softvera koji se višestruko umnožava putem računarskih mreža. To su samostalni programi koji se, za razliku od virusa, ne prilepljuju uz glavne izvršne programe.

Računarski crv koristi mrežu da bi se preneo na druge sisteme, samostalno, bez intervencije ljudi. Kopira se sa jednog računara na drugi, automatski, preuzimanjem kontrole nad funkcijama računara. Mnogo brže se šire od virusa. Crv škodi mreži i zauzima protok, dok virus škodi ciljanom računaru (ne utiče na mrežne performanse).

Maliciozne aktivnosti realizuju se tako što zauzimaju resurse računara, brišu fajlove, šalju podatke bez znanja korisnika (npr. elektronskom poštom) i slično.

Trojanski konj – trojanac

Trojanski konj (*trojan horse*) je zlonamerni program prerušen u legitimni program, tj. predstavlja se kao drugi računarski program koji radi obično zabavne stvari (npr. igrica), a u stvari je namenjen za krađu informacija i zauzimanje resursa računara (prostor na disku, memoriji…). Maliciozne aktivnosti čine tako što brišu datoteke, šalju podatke iz računara bez znanja korisnika (npr. slanjem e-mail svakom iz adresara) i dr.

Za razliku od virusa, ne može se sam umnožavati, već se prenosi tako što ga korisnik prekopira na drugi računar. Ne umnožavaju se i ne šire sami.

Postoje različite vrste trojanaca: trojanci za daljinski pristup, trojanci za otkrivanje i davanje lozinki, Keyloggers, FTP trojanci i drugi.

Logička bomba

Logička bomba (*logic bomb*) je maliciozni program koji se pokreće kada se ispune određeni uslovi, tj. kada korisnik nekom svojom aktivnošću pokrene aktiviranje logičke bombe.

Vremenska bomba

Vremenska bomba (*time bomb*) je maliciozni program koji se aktivira u određenom, unapred isprogramiranom, trenutku, a ne delovanjem korisnika.

Kao i logička bomba, dovodi do toga da se nekontrolisanom samoreprodukcijom zauzimaju resursi računara.

Špijunski programi

Špijunski programi (*spyware*) su maliciozni programi koji prikupljaju podatke o korišćenju računara, poseti određenih sajtova (frekvencija, interesovanja…), lične informacije (npr. brojevi kreditnih kartica).

Oglašavački programi

Oglašavački programi (*adware*) su maliciozni programi koji se instaliraju na određeni računar bez znanja korisnika i prikazuju oglase (*advertisements*) kada se koristi pretraživač na internetu.

Pokazatelji prisustva malicioznog programa na računaru mogu biti sledeći:

1. usporavanje rada na računaru, sporije učitavanje programa,
2. česti iskakajući (pop-up) prozori,
3. neobične promene u radu računara – neočekivane poruke o greškama, gubljenje datoteka, pojavljivanje novih datoteka, nepravilan rad aplikacija (web pretraživački, programi za obradu teksta…).

Zaštita od malicioznih programa može se ostvariti primenom sledećih mera:

1. korišćenjem legalnih, ažurnih softvera za zaštitu (*antivirus, antispy, antitrojan, online* skeneri),
2. čestom promenom lozinki i nesnimanjem,
3. selektivnih pristupanjem sajtovima,
4. korišćenjem različitih verzija pretraživača na internetu,
5. korišćenjem i pravilnim konfigurisanjem *firewall*-a i drugih mrežnih uređaja,
6. zatvaranjem mrežnih servisa koji se ne koriste,
7. redovnim zakrpama (*patch*) sistema.

Zaključak

Računarski sistemi su podložni greškama (u korisničkim aplikacijama, operativnim sistemima itd.) što dovodi do ranjivosti sistema i izloženosti ozbiljnim potencijalnim opasnostima. Sama priroda interneta (otvorenost i mogućnost jednostavnog povezivanja) dovodi do sve većeg broja korisnika i sve veće dostupnosti alata za napad čak i za one korisnike sa skromnim informatičkim znanjem.

Iz navedenih razloga nužno je permanentno praćenje trendova i poznavanje karakterističnih napada na računarske sisteme. Aktuelni sistemi za detekciju napada nisu u mogućnosti da otkriju sve vrste napada na računarske sisteme imajući u vidu činjenicu da se neprestano menjaju tehnike, metodi, sredstva i motivi napadača. Da bi se prikupili podaci i proučavala priroda napada na računarske sisteme, primenjuju se različite tehnike kao što je npr. *honeypot* gde se računarski resursi (hardverski, aplikativni i mrežni) koriste kao mamac i bivaju napadnuti ili kompromitovani od strane neovlašćenih korisnika. [9,10]

Treba imati u vidu činjenicu da je nemoguće ostvariti apsolutnu zaštitu. Pored nužnosti poznavanja pretnji na internetu nužno je stalno razvijati nove mehanizme zaštite u skladu sa bezbednosnim problemima koji nastaju. Najslabija karika svakog računarskog sistema je čovek i njemu se mora posvetiti naročita pažnja.

Literatura

[1] *Convention on Cyber-crime*, http://conventions.coe.int/treaty/en/treaties/html/185.htm (koristio 10. 1. 2011. godine)

[2] Stallings, W., Brown, L., *Computer Security – Principles and Practice*, Pearson Education, Inc, New Jersey, 2008.

[3] Tulloch, M., *Microsoft Encyclopedia of Security*, Microsoft Press, Redmond – Washington, 2003.

[4] Solange, Ghernaouti-Helie., *Cybersecurity Guide for Developing Countries*, International Telecommunication Union, Geneva, 2009.

[5] Clarke, R., Knake R., *Cyber War – The next treat to National Security and What to do about it*, HarperCollins e-books, 2010.

[6] *ITU Botnet Mitigation Toolkit*, International Telecommunication Union, Geneva, 2008.

[7] Anonymous, *Hakerski vodič za zaštitu*, Kompjuter biblioteka, Čačak, 2004.

[8] *EU Agency analysis of Stuxnet malware: a paradigm shift in threats and Critical Information Infrastructure Protection*, European Network and Information Security Agency, http://www.enisa.europa.eu (koristio 10. 1. 2011. godine)

[9] Bobar, Z., *Zaštita računarskih mreža Ministarstva odbrane i Vojske Srbije primenom virtuelnog honeyneta*, Vojnotehničkih glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 3, pp. 80–87, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2009.

[10] Terzić, M., *Predlog ad hoc računarske mreže Katedre vojnih elektronskih sistema VA*, Vojnotehničkih glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 1, pp. 111–120, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.

ATTACKS ON COMPUTER SYSTEMS

FIELD: IT – Information Technologies
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

Computer systems are a critical component of the human society in the 21st century. Economic sector, defense, security, energy, telecommunications, industrial production, finance and other vital infrastructure depend on computer systems that operate at local, national or global scales. A particular problem is that, due to the rapid development of ICT and the unstoppable growth of its application in all spheres of the human society, their vulnerability and exposure to very serious potential dangers increase.

This paper analyzes some typical attacks on computer systems.

Introduction

A computer system represents any device or a group of interconnected or related devices which, pursuant to a program, performs automatic processing of data.

The attack is a threat which, if successful, results in compromising a computer system or compromising security. Each system has its vulnerabilities. A complex system implies a potentially large number of vulnerabilities and failures. The attack is essentially an exploitation of these vulnerabilities and consists of a series of deliberate steps taken by attackers in order to achieve a specific goal.

Typical attacks on computer systems

Bearing in mind different criteria of classification of attacks on computer systems, in practice it is often a case that unwanted events from the aspect of security in computer systems are a combination of different types of attacks. For a better perception of vulnerability of computer systems, this paper presents only specific typical attacks (threats):

1. Denial-of-service (DoS, DDoS) attack is a type of the attack that attempts to prevent legitimate users to access online services

2. Phishing is a type of attack on the Internet when the attackers use the existing Internet services to lure and deceive users to disclose sensitive information (usernames, passwords, credit card data, etc.) which can be used for criminal purposes.

3. Botnet is a large network of infected computers.

4. Spam is unsolicited email, or mail that the user neither asked for nor gave his consent to the sender of such messages to send them to his address

5. Social Engineering is a technique to manipulate people (persuasion, deception, cleverness, false representation, etc.) in order to obtain sensitive information or access to computer systems.

6. Sniffing - Sniffers are devices, hardware or software that can monitor the packets in a network and monitor network traffic, and legally or illegally collect data to be transferred.

7. Spoofing is a delusion ie. fraud which creates the impression that the transfer occurs by an authorized user.

8. Malware is software that harm the target and infect a computer system.

Conclusion

Computer systems are subject to errors (in user applications, operating systems, etc.) which lead to vulnerability and exposure to serious potential dangers. Protection from various types of attacks (threats) on the Internet is a very complex problem that requires significant financial resources to minimize risk. One should be aware of fact that it is impossible to achieve absolute protection. The weakest chain of any computer system is a man and he must be given a special attention.

Key words: *computer system, computer attack*

Datum prijema članka: 20. 01. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 11. 02. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 12. 02. 2011.

PROTOKOLI I PRAVCI RAZVOJA KVANTNE KRIPTOGRAFIJE

Markagić S. *Milorad*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra telekomunikacija i informatike, Beograd

OBLAST: telekomunikacije
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Sažetak:

Uporedo sa razvojem tajnosti podataka razvijaju se i sredstva i sistemi koji bi tu tajnost trebalo da omoguće. Trenutno su u najmasovnijoj upotrebi klasični kriptografski sistemi i kriptografski sistemi sa javnim ključevima. Međutim, nijedan od tih sistema ne omogućava rešenje čuvene „kvake 22" kriptografije. Zahvaljujući intenzivnom razvoju kvantne mehanike, u poslednjih tridesetak godina pojavila se potpuno nova vrsta kriptografije – kvantna kriptografija.

Njen najveći doprinos je u mogućnosti otkrivanja prisluškivanja komunikacionog kanala od treće osobe. Postavlja se pitanje: da li je to zaista tako? Postavlja se i pitanje, ako je kvantna kriptografija toliko dobra, zašto nije u širokoj upotrebi? Cilj ovog rada jeste da se sa jedne strane definišu osnovni mehanizmi kvantne kriptografije IP protokola, a sa druge strane da se ukaže i na nedostatke, i to kako na one vezane za mogućnosti današnjih uređaja tako i na bezbednosne nedostatke u protokolima.

Ključne reči: *kriptografija, ključevi, protokoli, zaštita.*

Uvod

Svrha kriptografije je prenos informacija na način da su one dostupne samo primaocu – osobi kojoj su i namenjene. Na početku je sigurnost šifrovanog teksta zavisila isključivo od tajnosti celog procesa šifrovanja i dešifrovanja. Danas se koriste šifre čiji su algoritmi javno poznati, ali to ne ugrožava bezbednost šifrovane poruke. U takvim sistemima tajni ključ poruke i otvoreni tekst unose se kao parametri u algoritam.

Ako se želi koristiti savršeno siguran kriptografski sistem, onda je odgovor Vernamova šifra, poznatija pod nazivom jednokratna beležnica. Jednokratna beležnica koristi slučajno generisani ključ K najmanje iste dužine kao i poruka koja se šifruje. Glavni problem kod takvog sistema je potreba za razmenom tajnog ključa između pošiljaoca i primaoca poruke (Subjekti "A" i "B"). U velikom broju slučajeva, ključ K je veoma dugačak i time neprikladan za slanje sigurnim kanalom, jer je to nepraktično, sporo i skupo. Ako pošiljalac slučajno

milmarkag@yahoo.com

dva puta iskoristi isti ključ, tada se njen šifrovani tekst menja iz savršeno sigurnog u lako provaljiv. Tako se danas, u većini praktičnih kriptosistema, koristi ključ K koji je konstantne veličine i obično je puno kraći od dužine jasnog teksta. Kao rezultat toga imamo da kriptosistemi više nisu apsolutno sigurni [1].

Međutim, pažljivim izborom metode enkripcije i ključa određeni sistem se može smatrati praktično sigurnim. Praktično siguran kriptosistem znači da iako napadač ("I") može teoretski dekriptovati poruku bez znanja ključa, on to verovatno neće uspeti. Razlog je što su procesorska snaga i vreme potrebno za napad najčešće iznad napadačevih mogućnosti.

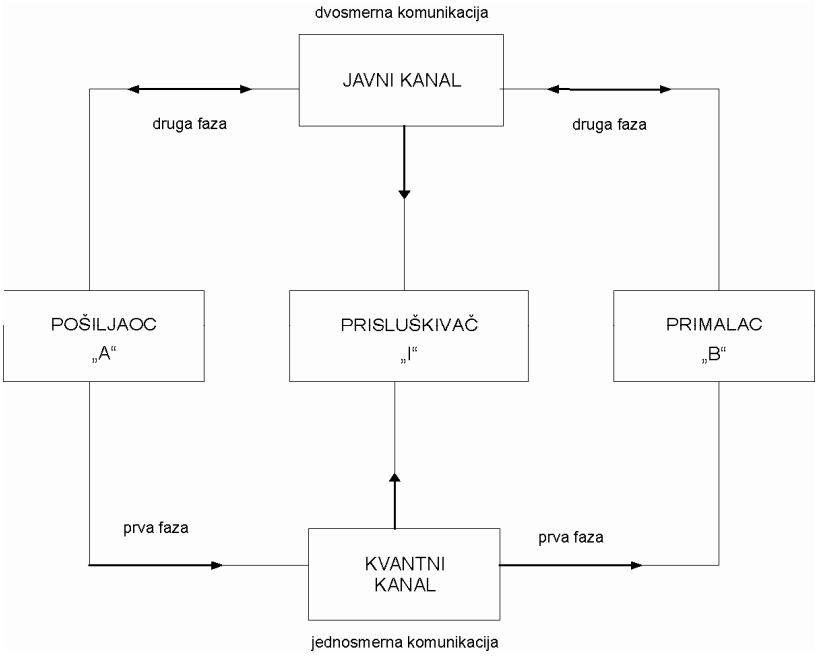
U svakom slučaju, slaba tačka klasičnih kriptografskih sistema je što se sigurna komunikacija može odvijati tek nakon što je ključ sigurno razmenjen komunikacionim kanalom ili prostom fizičkom distribucijom. Taj problem često se naziva „kvaka 22" kriptografije: pre nego što "A" i "B" mogu tajno da komuniciraju, moraju imati isti ključ. Postoji i dodatak tom problemu, poznat pod imenom „kvaka 22a" – čak i ako "A" i "B" uspeju da razmene ključ preko sigurnog komunikacionog kanala, ne postoji mehanizam u klasičnoj kriptografiji koji može garantovati da je ključ poslat sigurno, odnosno da ga "I" nije uspeo prisluškivanjem komunikacionog kanala saznati.

Tu na scenu stupa kvantna kriptografija – kvantna razmena ključeva, koja omogućava dvema stranama ("A" i "B") komunikaciju koja je u potpunosti sigurna. Kvantna kriptografija koristi prirodnu neodređenost kvantnog sveta. Uz njenu pomoć može se uspostaviti komunikacioni kanal koji nije moguće prisluškivati bez ometanja prenosa, odnosno dva korisnika koji međusobno komuniciraju mogu otkriti prisustvo treće strane koja pokušava saznati ključ. Takođe, osoba koja prisluškuje ne može kopirati nepoznate kvantne bitove takozvane qu-bite, tj. nepoznata kvantna stanja, zbog teoreme o nekloniranju koju su prvi prezentovali Wooters i Zureck. Kvantna kriptografija služi samo za dobijanje i distribuciju ključa, a ne za prenos poruka. Tako generisani ključ može poslužiti u nekom kriptosistemu za šifrovanje i dešifrovanje poruke. Kvantna mehanika kaže da se čestice ne nalaze samo na jednom mestu. One se nalaze na nekoliko mesta odjednom, s određenim verovatnoćama da postoje na različitim mestima. Međutim, to sve nema smisla dok ne dođe naučnik i ne „uhvati" česticu koja se nalazi na nekom mestu. Uhvaćenoj čestici nije moguće istovremeno izmeriti sve fizičke veličine. Merenjem neke od veličina čestice uništava se svaka mogućnost merenja nekog drugog njenog svojstva. Ta neodređenost se može iskoristiti za generisanje tajnog ključa. Dok putuju, fotoni titraju pod nekim određenim uglom. Kada velika grupa fotona titra u istom smeru, oni su polarizovani. Polarizacijski filteri propuštaju samo one fotone koji su polarizovani u određenom smeru dok su ostali blokirani.

Kvantna komunikacija uključuje kodovanje informacija u kvantna stanja, ili qu-bite, nasuprot klasičnoj kriptografiji koja koristi bitove. Korišćenjem kvantne superpozicije ili kvantne isprepletenosti i šaljući informacije u kvantnim stanjima, može se implementirati komunikacioni sistem koji otkriva napadača.

Kvantni protokoli

Kvantna kriptografija koristi svojstva kvantnih stanja kako bi osigurala sigurnost sistema. Postoji nekoliko pristupa u distribuciji kvantnih ključeva, ali se uopšteno mogu podeliti u dve grupe, zavisno od toga da li su qu-bitovi nezavisni jedni od drugih ili nisu. Na slici 1. dat je prikaz kvantnog komunikacionog kanala koji se odvija kroz dve faze.



Slika 1 – Prikaz kvantnog komunikacionog kanala
Picture 1 – View of a quantum communication channel

U nastavku su opisani neki od kvantnih protokola.

Protokoli „pripremi i izmeri“

Proces merenja je sastavni deo kvantne mehanike. Uopšteno govoreći, merenje nepoznatog kvantnog stanja promeniće to stanje. To je poznato pod imenom kvantna neodređenost i zasniva se na rezultatima Haiznbergovog principa neodređenosti i teorema o ne-kloniranju. Ovo se može iskoristiti da bi se detektovali pokušaji prisluškivanja komunikacionog kanala i, što je još važnije, da se izračuna količina informacija koja je presretnuta. [2]

Protokoli zasnovani na isprepletenosti

Kvantna stanja dva ili više odvojena objekta mogu postati povezana tako da se opišu kombinovanim kvantnim stanjem, a ne kao individualni objekti. To znači da će sprovođenje merenja na jednom objektu uticati na drugi objekat. Ako se isprepleteni par objekata pošalje komunikacionim kanalom, pokušaj presretanja bilo koje čestice uzrokovaće promenu celokupnog sistema, što će dovesti do otkrića treće strane (napadača) u komunikacionom kanalu.

Ova dva pristupa se dalje mogu podeliti na tri grupe protokola:

– diskretne varijable,
– kontinuirane varijable i
– distribuirano fazno referentno kodovanje.

Protokoli zasnovani na diskretnim varijablama su hronološki nastali prvi i danas su najrasprostranjeniji.

Protokoli ostale dve grupe su uglavnom orijentisani ka prevazilaženju praktičnih ograničenja u eksperimentima.

BB84 protokol

To je prvi kvantni kriptografski protokol koji je stvoren 1984. godine, pa zato i ima ovakvu oznaku. Prezentovao ga je Gilles Brassard.

Pošiljalac (“A“) i primalac (“B“) su povezani kvantnim komunikacionim kanalom koji omogućava razmenu kvantnih stanja. U slučaju fotona, taj komunikacioni kanal je ili optičko vlakno ili slobodan prostor (etar). Takođe, “A“ i “B“ su povezani još nekim javnim klasičnim komunikacionim kanalom (npr. internetom). Nijedan od tih kanala ne mora biti siguran, protokol je dizajniran sa pretpostavkom da treća strana može prisluškivati. Sigurnost protokola dolazi iz kodiranja informacija u neortogonalnim stanjima. BB84 koristi dva para stanja, gde je svaki par konjugovan u odnosu na drugi par, a dva stanja unutar jednog para su ortogonalna jedan prema drugom. Parovi ortogonalnih stanja zovu se baze [3].

Uobičajena polarizacija stanja je:

– linearna horizontalna,
– linearna vertikalna,
– linearna pod 45 stepeni,
– linearna pod 135 stepeni,
– cirkularna leva i
– cirkularna desna.

Bilo koje dve polarizacije iz različitih baza su međusobno konjugovane. Za BB84 se odaberu dve baze polarizacije i svakom od stanja u bazama dodeljuju vrednosti 0 ili 1, čime se pravi kvantna abeceda.

U prvoj fazi komunikacije “A“ šalje “B“ tajni ključ preko kvantnog kanala. Za svaki od impulsa slučajno bira jednu od dve baze polarizacije. “B“ ima detektor polarizacije. On ga može postaviti tako da meri ili jednu ili dru-

gu polarizaciju. Kvantna mehanika mu brani da meri obe polarizacije odjednom. Merenje jedne polarizacije uništava svaku mogućnost merenja druge polarizacije. Ako "B" ispravno postavi detektor, on će registrovati ispravnu polarizaciju, inače će registrovati neko slučajno stanje s jednakom verovatnoćom. "B" ne može odrediti razliku između ta dva slučaja. U sledećem koraku "B" uspostavlja vezu sa "A" preko javnog kanala i obaveštava ga koje je orijentacije polarizatora koristio za detekciju. "A" odgovara "B" koja su podešavanja ispravna. "A" i "B" zadržavaju samo one polarizacije koje su bile ispravno postavljene. Tako dobijeni bitovi čine tajni ključ. U proseku, "B" će pogoditi ispravnu polarizaciju u oko 50% slučajeva [5].

Prisluškivanjem "I" pogađa polarizacije kao i "B". Takođe, može se pretpostaviti da će pogoditi u 50% slučajeva. Budući da pogrešne pretpostavke menjaju polarizaciju impulsa, ona bi na taj način unela greške u sistem. Unošenje grešaka u impulse tokom prisluškivanja pokvariće zajednički tajni ključ jer će "A" i "B" na kraju dobiti različite nizove bitova. Tada "A" i "B" završavaju protokol tako da uporede nekoliko bitova svojih nizova. Ako postoje neusaglašenosti, oni znaju da su bili prisluškivani. U suprotnom, odbacuju bitove koje su koristili za upoređenje i zadržavaju ostale.

Primer BB84 protokola:

"A" šalje "B" niz impulsa fotona gde je svaki impuls kodiran u jedno od 4 neortogonalna stanja. To su sledeća stanja:

– linearna horizontalna,
– linerna vertikalna,
– linearna pod 45 stepeni i
– linearna pod 135 stepeni.

Impulse prikazujemo kao sledeći niz znakova:

–	\	|	–	|	/	–	/	|	\

"B" koristi detektor polarizacije. Detektor može biti postavljen da meri ili jednu ili drugu polarizaciju. Neka je detektor postavljen da meri na sledeći način:

+	+	X	+	X	X	+	X	X	+

Ako "B" ispravno postavi detektor, dobiće ispravne rezultate, inače će dobiti slučajna merenja. "B" ne može razlikovati ta dva slučaja. Pretpostavimo da dobije rezultat:

–	|	/	–	\	/	–	/	/	|

Sada “B“ javlja “A“ preko javnog kanala kako je namestio detektor. “A“ odgovara “B“ koja su podešavanja bila ispravna. U ovom primeru ispravno podešavanje je za impulse 1, 4, 6, 7 i 8.

“A“ i “B“ zadržavaju samo ispravne polarizacije.

–	*	*	–	*	/	–	/	*	*

Koristeći unapred pripremljen kod za svako od 4 moguća stanja polarizacije, “A“ i “B“ prevode merenja u bitove. Neka linearno horizontalna i linearna pod 45 stepeni odgovaraju jedinici, a linearno vertikalna i linearna pod uglom od 135 stepeni nuli. Sada kao rezultat merenja dobijaju kod: 11010.

Na ovaj način “A“ i “B“ mogu generisati onoliko bitova koliko im treba za generisanje ključa. U proseku, “B“ će pogoditi ispravnu polarizaciju u 50% slučajeva. Ako bi “I“ prisluškivao, on takođe mora pogađati polarizacije u kojima će meriti te će takođe pogoditi u proseku u 50% slučajeva. Kako pogrešne pretpostavke menjaju polarizaciju impulsa, “A“ i “B“ bi dobili različite nizove ako “I“ prisluškuje. Zadnji korak u protokolu je da “A“ i “B“ uporede nekoliko bitova svojih nizova. Ako postoje nesuglasice, onda znaju da su bili prisluškivani. U suprotnom, odbacuju bitove koje su uporedili i zadržavaju ostale.

B92 protokol

Za razliku od protokola BB84 koji zahteva dve ortogonalne kvantne abecede (baze), protokol B92 zahteva samo jednu neortogonalnu abecedu. Neka se – označi foton koji je polarizovan pod uglom od 45 stepeni u odnosu na vertikalu, gde je $0<-<45^0$, a sa –‘ označimo foton polarizovan pod uglom 135^0 u odnosu na vertikalu. Tada im se dodaju vrednosti 0 i 1. Kao i kod protokola BB84, “A“ i “B“ komuniciraju u dve faze, prvo preko jednosmernog kvantnog kanala i drugo preko dvosmernog javnog kanala. Kako “A“ koristi neortogonalni sistem, ne postoji način koji bi jednoznačno razlučio ta dva stanja polarizacije. “B“ može tačno detektovati poslati bit ili primiti dvosmisleni rezultat. Prilikom komunikacije javnim kanalom “B“ obaveštava “A“ o rednim brojevima bitova koje je primio nedvosmisleno, a ostali bitovi se odbacuju. Bitovi koji su primljeni nedvosmisleno postaju ključ. Ostatak se odvija kao i u protokolu BB84. Prisutnost “I“ može se otkriti velikim brojem grešaka u sistemu. Ovaj protokol je mnogo jednostavnije implementirati nego BB84 protokol, ali još nisu osmišljeni verodostojni dokazi koji bi pokazali njegovu apsolutnu sigurnost [4] [6].

E91 protokol

Protokol je dobio ime po Arturu Ekertu koji ga je 1991. godine izmislio. Ekertova šema koristi isprepleteni par fotona. Oni mogu biti kreirani od strane “A“, “B“ ili nekog izvora nezavisnog od njih, uključujući i “I“. Fo-

toni se distribuiraju tako da “A“ i “B“ dobiju po jedan foton iz svakog para. Ova šema zasniva se na dva svojstva isprepletenosti fotona:

– isprepletena stanja su savršeno povezana i

– bilo koji pokušaj prisluškivanja uništava korelaciju između fotona na način koji “A“ i “B“ mogu detektovati.

“A“ i “B“ nezavisno biraju bazu u kojoj će meriti primljeni foton, s tim da “A“ beleži izmereni bit, a “B“ beleži komplement izmerenog bita jer je njegov foton ortogonalan onome koji je primio “A“. U komunikaciji javnim kanalom “A“ i “B“ upoređuju korišćene baze detekcije i izdvajaju bitove u kojima su koristili iste operacije merenja. Oni bitovi na kojima su koristili različite operacije merenja ne odbacuju se, već se koriste za otkrivanje prisutnosti “I“ u komunikaciji korišćenjem Belove nejednačine. Ona se upotrebljava za određivanje postojanja lokalno skrivenih varijabli. Ukoliko je nejednačina zadovoljena, “I“ je prisluškivao. Ostatak protokola je isti kao i u BB84.

SARG04

Ovaj protokol je izveden iz protokola BB84. SARG04 su definisali Skarani i saradnici 2004. godine. SARG04 protokol namenjen je za situacije gde informacije šalje Poisonov izvor koji stvara slabe pulseve (gde je srednja vrednost poslatih fotona manja od 1) i informacije prima nesavršeni detektor. Prednost SARG04 nad BB84 protokolom je njegova robusnost kod nekoherentnih PNS napada.

Protokol šest stanja

Ovaj protokol koristi tri para ortogonalnih polarizacijskih stanja da bi predstavio stanja 0 ili 1. Pokazao se manje korisnim u prenosu ključa, ali je pokazao veću otpornost na greške nego protokoli BB84 i B92.

Kriptografija kvantnih podataka

Predstavlja kriptografiju kvantnih podataka gde se kriptografski alati razvijaju za informacije koje su ugrađene u kvantne sisteme.

Slede neki primeri.

Kvantna jednokratna sveska

U ovom sistemu “A“ i “B“ unapred dele par maksimalno isprepletenih čestica i koriste ih za teleportaciju proizvoljnog qu-bita. Jedinu komunikaciju javnim kanalom predstavlja par slučajnih bitova poslatih od subjekta “A“ subjektu “B“, koji mu omogućavaju rekonstrukciju originalnog stanja koje je “A“ hteo poslati.

Vernamova kvantna šifra

Koristi se klasični ključ koji može imati 4 moguće vrednosti. “A“ primenjuje jedan od 4 unarna (Paulijeva) operatora na proizvoljnom sistemu od jednog qu-bita koji onda može biti poslat subjektu “B“. “B“ dekriptuje stanje upotrebom inverznog unarnog operatora. Kvantni opis poslatog stanja je isti bez obzira na originalno stanje koje je poslato dok god je ključ uniformno distribuisan i nepoznat subjektu “I“. Uspešno je izvedena demonstracija kako se tajni ključ za Vernamovu kvantnu šifru može upotrebiti i više puta, ako se koristi klasični javni tekst.

Kvantna distribucija ključa

Svrha kvantne distribucije ključa je omogućavanje dvema poštenim stranama, dogovor o slučajnom kriptografskom ključu u situacijama gde je moguće prisluškivanje. Međutim, u komunikaciji između subjekta “A“ i “B“ može se desiti da će deo tačno izmerenih fotona biti detektovan pogrešno. Takođe, ako “I“ pokuša da izmeri fotone koje je subjekat “A“ poslao pre nego što stignu do subjekta “B“, greške će nastati zbog činjenice da “I“ pokušava da izmeri podatke o polarizaciji fotona. Ove dve situacije ne mogu se razlikovati: prirodan ili veštački šum izgledaju isto. Procena o nivou šuma vodi do procene o količini informacija koje je “I“ dobio. Posledično, protokol u tri faze dozvoljava “A“ i “B“ da dobiju i da se slože oko manjeg, tajnog kriptografskog ključa na temelju njihovog toka podataka sa šumom koji je prisluškivan. Te tri faze nazivaju se procena greške, poravnanje informacija i pojačanje privatnosti [3].

Procena greške

Sprovodi se na način da “A“ ili “B“ odaberu slučajan broj *t* od prethodno poslatih bitova koji su tačno izmereni i jave da drugoj strani. Druga strana tada upoređuje bitove sa onima koje ona ima i javlja broj grešaka *e*. Za dovoljno velike uzorke, rezultanta *e/t* trebalo bi da bude razumna procena broja grešaka koje su ostale u neobjavljenom delu ključa.

Upoređivanje i izjednačavanje informacija

Predstavlja način ispravke grešaka koji se sprovodi između ključeva “A“ i “B“, u pokušaju osiguravanja identičnosti oba ključa. Postupak se sprovodi javnim kanalom pa je tako od najveće važnosti minimizovati poslate informacije o ključevima jer ih “I“ može pročitati. Uobičajeni protokol je kaskadni protokol. On se odvija u nekoliko faza, gde se oba ključa dele u blokove u

svakoj fazi i upoređuje se paritet tih blokova. Ako se pronađe razlika u paritetu, provodi se binarna pretraga da bi se našla i ispravila greška. Ovaj proces sprovodi se rekurzivno i nakon što se svi blokovi uporede te sve faze završe, "A" i "B" imaće iste ključeve sa visokom verovatnoćom. Međutim, "I" će takođe dobiti dodatne informacije o ključu iz ovog procesa.

Pojačanje privatnosti

Predstavlja metodu za uklanjanje delimičnih informacija koje "I" ima o ključu "A" i "B". Te delimične informacije mogu biti rezultat prisluškivanja kvantnog kanala tokom prenosa ključa ili javnog kanala tokom upoređivanja informacija. Pojačanje privatnosti koristi ključ "A" i "B" za stvaranje novog, kraćeg ključa na način da "I" ima samo zanemarive informacije o novom ključu. To se može postići korišćenjem funkcija sažimanja, koje kao ulazni parametar primaju binarni niz dužine ključa i kao izlaz daju binarni niz kraće dužine. Novi ključ se sažima na temelju količine informacija koje je "I" mogao saznati o starom ključu što se zna iz količine grešaka koje postoje. Na taj način se smanjuje verovatnoća da "I" ima bilo kakve informacije o novom ključu na vrlo male vrednosti.

Mogući napadi na kvantne kriptografske sisteme

Kako bi kvantni kriptografski sistem bio potpuno siguran, moraju biti zadovoljeni sledeći uslovi:

– "I" ne može pristupiti uređajima za enkripciju i dekripciju u vlasništvu subjekata "A" i "B";

– slučajni generator brojeva koji koriste "A" i "B" mora zaista davati slučajne brojeve;

– klasični komunikacioni kanal mora biti autentifikovan korišćenjem potpuno sigurne šeme autentifikacije.

U nastavku su opisani neki od najpoznatijih napada na kvantne kriptografske sisteme [7] [8].

Napad „osoba u sredini"

Kvantna kriptografija je osetljiva na ovaj napad kada nema autentifikacije kao i klasična kriptografija. "A" i "B" ne mogu autentifikovati jedno drugo i uspostaviti sigurnu vezu bez nekog načina provere identiteta, kao na primer bez tajne poznate obema stranama. Ako "A" i "B" imaju takvu tajnu, onda mogu koristiti šemu savršeno sigurne autentifikacije (Karter-Vegman šema) zajedno sa kvantnom distribucijom ključa da bi eksponencijalno proširili ključ i koristeći mali deo novog ključa da bi autentifikovali novo razdoblje razmene podataka.

Napad razdvajanjem broja fotona (PNS napad)

U protokolu BB84 "A" šalje kvantna stanja "B" koristeći pojedinačne fotone. U praksi se koriste oslabljeni laserski pulsevi za slanje kvantnih stanja. Ti pulsevi sadrže malu količinu fotona raspodeljenih po Poisonovoj raspodeli. To znači da neki pulsevi ne sadrže nijedan foton, neki jedan, a neki dva ili više fotona. Ako puls sadrži više od jednog fotona onda "I" može razdeliti dodatne fotone i poslati jedan foton "B". Tada "I" može sačuvati dodatne fotone u kvantnoj memoriji dok "A" ne otkrije koje su kodirajuće baze. "I" može izmeriti fotone u ispravnoj bazi i time dobiti podatke o ključu bez uvođenja grešaka koje se mogu detektovati.

Hakerski napadi

Ovi napadi ciljaju na nesavršenost u implementacijama protokola umesto samih protokola. Ako je oprema korišćena u kvantnoj kriptografiji kompromitovana, mogu se generisati ključevi koji nisu sigurni pomoću napada generatorom slučajnih brojeva. Drugi način napada je napad trojanskim konjem. U takvom napadu osoba koja prisluškuje šalje jak svetlosni signal i tada reflektuje deo svetlosti nazad, otkrivajući koja je polarizacija korišćena. Takođe, postoji i napad lažnim stanjima, napad promenom faze i napad vremenskim pomakom. Napad vremenskim pomakom bio je i uspešno prikazan na komercijalnom kvantnom kriptografskom sistemu.

Sve vrste hakerskih napada relativno je lako onemogućiti modifikacijom opreme.

DoS napad (Denial of Service)

Budući da se za kvantnu kriptografiju koriste optički kablovi ili foton kao medij prenosa informacija, napad se može pokušati prekidajući ili blokirajući liniju, odnosno prisluškujući liniju.

Pravci razvoja kvantne kriptografije

Početak kvantne kriptografije može se pratiti od ranih sedamdesetih godina kada je naučnik Stefen Veisner napisao rad „*Conjugate Coding*". Veisner je predlagao dva područja primene:

– stvaranje bankovnih potvrda koje nije moguće kopirati i

– umnožavanje dve ili tri poruke na način da čitanje jedne uništava ostale.

Nažalost, do objavljivanja tog rada bilo je potrebno više od deset godina. U međuvremenu, Čarl Benet (koji je znao o Veisnerovoj ideji) i Brasard počeli su da rade na istom području, najpre kroz nekoliko članaka, a posle i eksperimentalnim prototipom koji je demonstrirao tehnološku ostvarivost koncepta.

Taj prototip sastojao se od fotona koji su se kretali kroz 0,30 m dugu cev nazvanu *„lijes tete Marth"*. Zavisno od smera u kojem su fotoni oscilirali, njihove polarizacije predstavljaju 0 ili 1 niza kvantnih bitova ili qu-bita.

Kvantna kriptografija DAS

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) je 2004. godine pokrenula projekt povezivanja šest mrežnih čvorova između kompanije BBN Technologies univerziteta Harvard i Boston. Ključevi za šifrovanje šalju se kvantnim kanalom, a poruke šifrovane tim ključem internetom. Ta mreža predstavlja prvu kvantno-kriptografsku mrežu koja je konstantno u pogonu a nalazi se van laboratorije.

Godine 2004. u Beču se dogodio prvi bankarski prenos pomoću kvantne kriptografije. Tada je neki važan ček, za koji je bila zahtevana apsolutna sigurnost, prenesen u jednu austrijsku banku. U jesen 2005. godine kompanija *idQuantique* i internet provajder iz Ženeve *Deckpoint* predstavili su mrežu koja omogućava skupu poslužilaca koji se nalaze u Ženevi bezbedno memorisanje podataka na lokaciju koja je udaljena 10 km, uz upotrebu ključeva distribuisanih kvantnom enkripcijskom vezom. U martu 2007. godine demonstrirana je kvantna razmena ključa na udaljenosti od 148,7 km, uspeh koji je postigla Los Alamos/NIST grupa korišćenjem BB84 protokola. Kompanija *idQuantique* je osigurala opremu u kantonu Ženeva, Švajcarska, da bi se poslali rezultati izbora koji su održani 21. 8. 2007. U oktobru 2008. godine kompanija *idQuantique* upotrebila je svoju opremu za uspostavljanje kvantnih mreža u Beču i Durbanu, za obezbeđenje izbora u Švajcarskoj.

Prvi računar na svetu zaštićen kvantnom kriptografijom implementiran je u avgustu 2008. godine na naučnoj konferenciji u Beču. Mreža je koristila 200 km standardnih optičkih kablova za povezivanje šest lokacija u Beču i grada St. Poeltena koji se nalazi 69 km zapadno. Evropska unija je 2004. godine pokrenula projekat zaštite komunikacionih kanala kvantnom kriptografijom, delimično i da spreči moguće prisluškivanje pomoću satelita Ešelon.

U eksperimentu 2004. godine kompanija NEC ostvarila je prenos ključa kvantnom kriptografijom na udaljenost većoj od 150 km.

Kako bi se povećala udaljenost na koju je moguće razmenjivati podatke, istraživači traže i druge medije za uspostavljanje kriptografske mreže.

Eksperiment koji je 2002. godine sprovela LosAlamos nacionalna laboratorija uspostavio je vezu u slobodnom prostoru na udaljenosti od 10 km. Iste godine kompanija *QinetiQ* iz Velike Britanije i univerzitet *Maximilian* iz Minhena uspostavili su vazdušnu vezu između dva planinska vrha u južnim Alpima na udaljenosti od 23,4 km. Evropska svemirska agencija je u ranim fazama ostvarivanja vazdušnog kriptografskog kanala između Zemlje i satelita. Najveća udaljenost postignuta u slobodnom prostoru je 144 km, što predstavlja udaljenost između dva ostrva iz Kanarskog ostrvlja, uspeh koji je postiglo evropsko udruženje korišćenjem isprepletenih fotona 2006. godine, korišćenjem modifikovanog BB84 protokola 2007. godine.

Ovi eksperimenti pokazuju da bi prenos podataka do satelita bio moguć, zbog niže gustine atmosfere na većim visinama.

Rekord u brzini prenosa kvantno kripovanih podataka ostvario je NIST (National Institute of Standards and Technology) brzinom od 4 miliona bitova u sekundi kroz optički kabal dužine 1 km. Kompanija NEC, National Institute of Information and Communications Technology i Japan Science and Technology Agency su u septembru 2004. godine ostvarili kvantni kripotografski kanal brzine 100 kb/s na udaljenosti od 40 km. Početkom 2003. godine kompanije *idQuantique* iz Ženeve i *MaqiQ Technologies* iz New Yorka predstavile su proizvode koji mogu slati kvantne kriptografske ključeve na udaljenosti prihvatljive za komercijalnu upotrebu tih sistema. Prosečna cena takvih sistema je od 70.000 do 100 000 dolara. Trenutno postoje četiri kompanije koje nude komercijalna rešenja iz područja kvantne kriptografije: *idQuantique*, *MagiQ Technologies, Quintessence Labs* i *SmartQuantum*. Takođe, kompanije *IBM*, *HP*, *Fujitsu*, *NEC* i *Toshiba* imaju svoje programe istraživanja kvantne kriptografije.

Zaključak

Kvantna kriptografija je u poslednjih dvadesetak godina doživela snažan razvoj. Pređen je veliki put od prvog eksperimenta u kojem su fotoni poslati kroz cev dužine 0,30 m. Danas je tehnologija napredovala dovoljno da se kvantna kriptografija može koristiti u velikom broju praktičnih primena. Ipak, to nije tako. Glavni je razlog svakako visoka cena kvantnih kriptografskih sistema, ali i način razmišljanja prema kojem kvantna kriptografija spada u domen naučne fantastike.

Kvantna kriptografija će svoj procvat doživeti ako ne pre onda kada kvantni računari postanu stvarnost. Tada algoritmi iz domena klasične kriptografije više neće pružati pouzdanu zaštitu od napada kao što je Šorov kvantni algoritam za faktorizaciju brojeva. Naravno, tada će nastati problem zaštite svih onih podataka koji su u prošlosti zaštićeni klasičnim kriptografskim sistemima, a postoji potreba za tajnošću tih podataka kroz duži niz godina [9,10].

Naravno, i kvantna kriptografija nije u potpunosti imuna na napade, ali za razliku od klasičnih napada, ti napadi su usmereni na probleme implementacije i autentifikacije. Takvi napadi mogu se sprečiti bez većih problema, ili implementacijom modifikovanih protokola ili sigurnijom i dodatnom opremom.

Literatura

[1] Schneier, B., *Applied Cryptography, 2nd Edn*. John Wiley& Sons, 1996.

[2] Hrg, D., Budin, L., Golub, M., *Quantum Cryptography and Security of Information Systems,* Proceedings of the 15th International Conference on Information and Intelligent Systems, IIS2004

[3] Tilborg, H., Encyclopedia of Cryptography Security, Springer, 2005.

[4] Mollin, R. A., An Introduction to Cryptography, 2nd Edn, Chappman & Hall/CRC, 2007.

[5] Oppliger, R., Contemporary Cryptography, Artech House, 2005.

[6] Lomonaco, S. J., A Quick Glance at Quantum Cryptography, arxive e-print quant.ph/9811056, 1998.

[7] Scientific American Magazine, Best-Kept Secrets, p. 65-69, January 2005.

[8] Internet stranice:

-http://idquantique.com/

-http://magiqtech.com/

-http://www.quintessencelabs.com/

-http://www.smartquantum.com/-rubrique2-.html

-http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_cryptography

-http://www.nec.co.jp/press/en/0409/2701.html

-http://news.illinois.edu/scitips/02/0711quantumcrypt.html

[9] Kuljanski, S., *RSA algoritam i njegova praktična primena,* Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 58, No. 3, pp. 65–77, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2010.

[10] Evseev, S. P. (Евсеев, С. П.), Dorokhov, O. V. (Дорохов, А. В.), Korol, O. G. (Король, О. Г.), Mechanisms of protection of information in computer networks and systems (Механизмы и протоколы защиты информации в компьютерных сетях и системах), Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 4, pp. 15–39, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.

PROTOCOLS AND PLAN OF QUANTUM CRYPTOGRAPHY

FIELD: Telecommunications
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary

Along with the development of confidentiality of data and resources, there is a need to develop systems that would provide confidentiality. Currently, the most used systems are classical cryptographic systems and encryption public key systems. However, none of these systems provides a solution for the famous "catch 22" of cryptography. Owing to the intensive development of quantum mechanics, in the last 30 years emerged an entirely new kind of cryptography-quantum cryptography.

Its greatest contribution is a possibility to discover an intercepted communication channel from a third party. The question is: is this really true? The question arises: 'If the quantum cryptography is so good, why is not widely used?' The aim of this paper is, on the one hand, to define the basic mechanisms of quantum cryptography IP, and, on the other hand, to point to the shortcomings, as they related to the opportunities of today's devices and flaws in protocols.

Introduction

The aim of cryptography is the transmission of information data in a way that they are only available to the recipient, i.e. the person to whom they are designed for. At first the security of the encrypted text depended solely on the secrecy of the process of encryption and decryption. Today we use codes whose algorithms are publicly known, but it does not jeopardize the security of encrypted messages. In such a system secret key messages and clear text are entered as parameters in the algorithm.

Quantum protocols

Quantum cryptography exploits the properties of quantum states to ensure the safety of the system. There are several approaches to quantum key distribution, but they can generally be divided into two groups, depending on whether the qubits are independent from each other or not.
Some of the quantum protocols are as follows:

Prepare and measure protocols

A measurement process is an integral part of quantum mechanics. In general, the measurement of an unknown quantum state will change this situation. This is known as quantum ambiguity and is based on the results of the Heisenberg uncertainty principle and the no cloning theorem.

Entanglement based protocols

Quantum states of two or more separate objects can be linked in order to be described as a combined quantum state rather than as individual objects. This means that the implementation of measurements on one object affects the other one. If a pair of entangled objects is sent through a communications channel, an attempt to intercept any particle will cause a change in the whole system, which will lead to the discovery of the third party- an attacker in the communication channel.

BB84 protocol

The first quantum cryptographic protocol was created in 1984 (hence the name) by Gilles Brassard.

A sender ("A") and a receiver ("B") are linked by a quantum communication channel that enables the exchange of quantum states. In the case of photons, the communication channel is either an optical fiber or free space (ether).

B92 protocol

Unlike the BB84 protocol, which requires two orthogonal quantum alphabets (bases), the B92 protocol requires only one nonorthogonal alphabet. Let the – denote a photon polarized at an angle of 45^0 to the vertical where 0 <- <4 5^0 and let the - ' denote a photon polarized at an angle of 135^0 with respect to the vertical.

E91 protocol

The protocol is named after Artur Ekert who invented it in 1991. The Ekert scheme uses an entangled pair of photons. They can be created by A, B, or by any other separate source, including E. The photons are distributed so that A and B receive one photon from each pair.

Quantum cryptography data

I*t represents a quantum cryptography where data encryption tools are developed for information embedded in quantum systems. Some examples are as follows:*

Quantum one-time volumes

In this system, A and B share in advance a few maximally entangled particles and use them for the teleportation of an arbitrary qubit. The only public communication channel represents a few random bits sent by A to B, which enable the reconstruction of the original condition A wanted to send.

Quantum key distribution

The purpose of quantum key distribution is to enable two honest parties to agree on a random cryptographic key in situations where the interception is possible. However, in the communication between A and B, it can happen that a part of the accurately measured photons is detected incorrectly.

Error Measurement

Comparison and alignment of information
Privacy amplification

Possible attacks on a quantum cryptography system

Man-in-the-middle attack

Quantum cryptography is vulnerable to this attack when there is no authentication and classical cryptography. A and B cannot authenticate each other and establish a secure connection without any authentication methods such as a secret known to both parties.

Photon number splitting attack (PNS attack)

In the BB84 protocol, A sends quantum states to B using single photons. In practice, weakened laser pulses are used to send quantum states. These pulses contain a small amount of photons distributed according to a Poissonian distribution.

Directions of the development of quantum cryptography

The beginnings of quantum cryptography can be traced to the early 1970s, when Stephen Wiesner wrote a paper "Conjugate Coding". Wiesner suggested two areas of application:

• the creation of bank certificates that cannot be falsified and

• reproduction of two or three messages in a way that reading one destroys the other.

Quantum cryptography das

In 2004, the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) launched the project of connecting six network nodes between the company BBN Technologies and Harvard and Boston Universities. The

encryption keys are sent through the quantum channel, and the messages encrypted by that key are sent through the Internet. This network represents the first quantum cryptographic network that is constantly in operation outside the laboratory.

Conclusion

In the past twenty years, quantum cryptography has experienced a strong growth from the first experiment in which the photons were sent through a tube 0:3 m long. Today's technology has progressed enough that quantum cryptography can be used in many practical applications. However, it is not. The main reason is certainly a high price of a quantum cryptography system and a way of thinking that quantum cryptography is one of the realms of science fiction.

Keywords: cryptography, keys, protocols, protection

Datum prijema članka: 28. 12. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 05. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 06. 10. 2011.

MOGUĆNOSTI REGENERACIJE DELOVA BRODSKIH GASOTURBINSKIH MOTORA PRIMENOM METODE METALIZACIJE PLAZMA POSTUPKOM

Dautović D. *Jovo*, Vojska Srbije, Tehnički opitni centar, Beograd

OBLAST: mašinstvo, tehnologija površinske zaštite metala
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Rezime:

U radu je prikazana mogućnost regeneracije delova brodskih gasoturbinskih motora metodom metalizacije plazma postupkom. Jedan od najsavremenijih postupaka metalizacije je plazma postupak, koji ima više prednosti i specifičnosti u odnosu na druge postupke metalizacije. U ovom radu biće obrađeni postupci metalizacije, odnosno postupak metalizacije plazma-postupkom i mogućnosti primene tog postupka kod regeneracije delova brodskih gasoturbinskih motora (GTM).

Ključne reči: *regeneracija delova, metalizacija, plazma postupak, prevlaka.*

Uvod

U savremenim uslovima održavanja mašinskih delova, sklopova i tehničkih materijalnih sredstava (TMS) sve više se javlja potreba da se oštećeni i pohabani mašinski delovi regenerišu, jer se time znatno smanjuje cena remonta i održavanje TMS.

Naučna dostignuća iz oblasti metoda regeneracije dala su više tehnoloških rešenja koja omogućavaju postizanje takvih rezultata da svojstva regenerisanih delova po svojim karakteristikama prevazilaze svojstva novih delova ili bar zadržavaju kvalitet novih.

Za izvođenje regenerativnih zahvata primenjuje se više metoda u zavisnosti od vrsta materijala, oblika oštećenja, konstruktivno-tehnoloških karakteristika oštećenog dela, uslova rada i mogućnosti primene pojedinih metoda u datim uslovima.

U ovom radu biće obrađeni postupci metalizacije, odnosno, postupak metalizacije plazma-postupkom i mogućnosti primene tog postupka kod regeneracije delova brodskih gasoturbinskih motora (GTM).

jovodaut@gmail.com

Metalizacija (raspršivanje po površini metala)

Nabrizgavanje metala je jedna vrsta obrade površine materijala koja se već nekoliko decenija primenjuje za zaštitu od korozije, za popravak nanošenjem jednog sloja na istrošene površine delova, kao i za druge svrhe. Prvi uređaj za nabrizgavanje napravio je Šop 1910. godine u Švicarskoj. Nabrizgavanje može u nekim slučajevima zameniti druge postupke obrade kao što su: galvanizacija, pocinkavanje, alitriranje, bojenje komprimiranim vazduhom, elektrostatičko nanošenje slojeva i neke druge [1].

Metalizacija je proces raspršivanja plamenom, pri kojem se koriste metalne (ili keramičke) prevlake, za presvlačenje površina u toku procesa proizvodnje, za povećanje otpornosti na habanje, toplotu i koroziju.

Proces termičkog raspršivanja sastoji se od zagrevanja metala (ili nemetalnih materijala) i njegovog izbacivanja u atomiziranom obliku na podlogu. Materijal izvorno može biti u obliku žice namotane na kalem, ili u obliku praha zagrejanog do stanja topljenja oksigensko-gasnim plamenom. Ako se za raspršivanje koristi prah, on se na mesto metalizacije dovodi pištoljem, iz suda montiranog na njemu i nosača plamena, sistemom za dovod vazduha. Komprimirani vazduh mora da bude čist, filtriran i tačno regulisan za uniformnu atomizaciju. Kao gasovito gorivo za održavanje plamena može da se koristi acetilen, propan ili vodonik, koji su naročito pogodni za plameno prskanje metala sa malim tačkama topljenja, kakvi su na primer: aluminijum, cink i drugi.

Danas je poznato više postupaka metalizacije, od kojih su u industrijskoj primeni najčešći: a) metalizacija žicom; b) elektrolučna metalizacija; c) metalizacija prahom; d) metalizacija Dimond Jet procesom i e) metalizacija plazma-postupkom.

Metalizacija plazma-postupkom

Osnovni pojmovi o plazma prevlakama

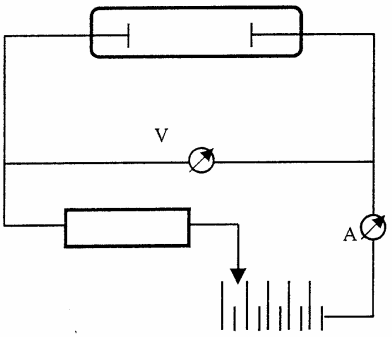
Naziv plazma nastao je kao potreba da se opiše stanje materijala, koji je doveden u parno stanje na viši energetski nivo od običnog gasovitog stanja.

Sa nekim oblicima plazme čovek se sretao odvajkada, kroz zvezde, munju, vatru i severnu svetlost.

Egzaktno naučno čovekovo bavljenje plazmom novijeg je datuma i počinje negde u drugoj polovini 19. veka intenzivnijim izučavanjem električnog pražnjenja u gasovima.

Posebno interesovanje pobuđivalo je tzv. tinjavo pražnjenje, koje se uspostavlja u uređaju, šematski prikazanom na slici 1. Ono nastaje ukoliko je pritisak gasa u cevi za pražnjenje vrlo nizak (ispod 100 Pa) i ukoliko je

napon između elektroda iznad kritične vrednosti U_S, tzv. napon pražnjenja. Utvrđeno je da ovaj napon zavisi od ukupnog broja atoma gasa u međuelektrodnom prostoru, tj. od proizvoda $p \cdot d$ (pritisak gasa u cevi, d – rastojanje između elektroda) i da pri izvesnoj vrednosti tog parametra, slika 2, zavisnoj od prirode gasa, on ima minimum (tzv. Paschenov zakon).

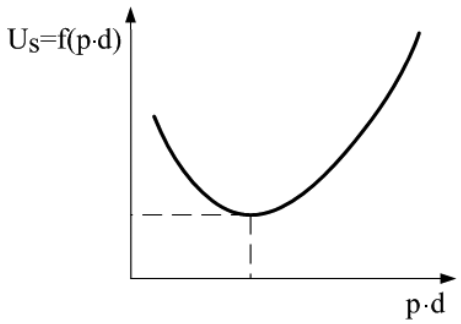


Slika 1 – Šematski prikaz uređaja za proučavanje karakteristika gasnog pražnjenja
Figure 1 – Schematic of a device for testing the gas discharge characteristics

U upaljenom tinjavom pražnjenju oko obe elektrode obrazuje se nekoliko uočljivih, naizmenično raspoređenih svetlih i tamnih zona. Idući od katode ka unutrašnjosti gasa, nailazi se, redom, na Astonov (Aston) tamni prostor, katodno tinjanje, Kruksov (Crookes) tamni prostor, negativno tinjanje i Faradejev (Faraday) tamni prostor, a idući od anode, opet ka unutrašnjosti gasa, zapaža se anodni tamni prostor i anodno tinjanje.

Najveći deo cevi za pražnjenje ispunjen je intenzivno svetlećim pozitivnim stubom, koji je našao primenu kod „neonskih" reklama.

U pozitivnom stubu, gas u cevi za pražnjenje nalazi se u vrlo specifičnom fizičkom stanju, za koje je Kruks 1879. godine rekao da predstavlja četvrto agregatno stanje, a koje je Lagmur (Lagmuir) 1929. godine nazvao *plazma* [2].



Slika 2 – Ilustracija Paschen-ovog zakona: napon paljenja u funkciji prizvoda p·d
Figure 2 – Illustration of Paschen's law: ignition voltage as a function of p·d product

Sintagma „plazma – četvrto agregatno stanje“ ubrzo ulazi u svakodnevnu upotrebu, te je i fizičari tako prihvataju, ne samo kao lepo sročenu stilsku figuru već se za njenu upotrebu može naći i dublje fizičko opravdanje.

Stanje gasa određeno je vrednošću srednjih energija po jednoj čestici. Ova energija izražava se u elektron–voltima (eV).

Jedinica $1\mathrm{eV}$ predstavlja srednju kinetičku energiju toplotnog kretanja jednog molekula gasa na temperaturi od oko $10.000\,\mathrm{K}$ (tačnije $11.600\,\mathrm{K}$).

U čvrstom agregatnom stanju srednje energije po jednoj čestici kreću se od $10^{-3}\,\mathrm{eV}$ do $10^{-2}\,\mathrm{eV}$, a u tečnostima $10^{-2}\,\mathrm{eV}$ do $10^{-1}\,\mathrm{eV}$.

Kod gasova, srednja energija po čestici kreće se u dijapazonu od $10^{-1}\,\mathrm{eV}$ do $1\mathrm{eV}$.

Daljim dovođenjem energije sistemu, u rasponu od $1\mathrm{eV}$ do $10\mathrm{eV}$, dovodi se u stanje plazme.

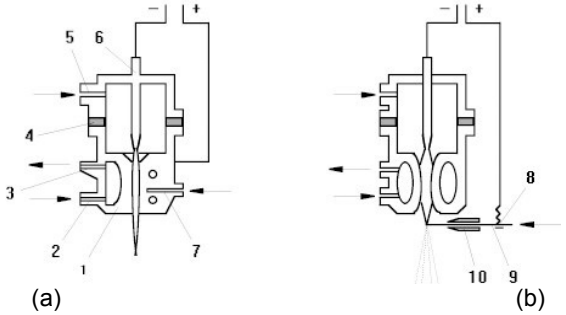
Plazma je našla primenu, u sledećim oblastima: elektronici i telekomunikacijama, gasnim laserima sa električnim pražnjenjem, plazmenim izvorima svetlosti, plazmenoj hemii i primeni plazme u metalurgiji.

Pobuđivanje i prevođenje u stanje plazma-gasa vrši se jonizacijom pomoću visokonaponskog luka, koji nastaje između anode i katode u pištolju.

Visokonaponski luk jednosmerne struje formira se između negativne elektrode od tungstena i komore hlađene vodom koja predstavlja pozitivnu elektrodu. Inertni gas, npr. argon, pod pritiskom se ubacuje u prostor između elektroda, koji je zagrejan do temperature između 8.000°C i 16.000°C. Vreli mlaz plazme prolazi velikom brzinom kroz mlaznik od bakra, hlađen vodom, a pri tome metal u obliku praha, koji se koristi za prevlaku, biva injektiran u vreli gas plazme, gde se topi i nanosi na podlogu.

Na slici 3 prikazan je izgled preseka jednog plazma pištolja (brenera) [3].

Kao plazma gas najčešće se koriste argon ili azot, koji se ujedno koriste kao izvor toplote i kao sredstvo za transport istopljenih čestica.



Slika 3 – Strukturna šema plazma pištolja za prah (a) i za žicu (b)
1 – Cu sapnica, 2,3 – ulaz i izlaz vode, 4 – izolacioni prsten, 5 – ulaz gasa za plazmu, 6 –volfram elektroda, 7– dodavanje praha za nabrizgavanje, 8 – kontakt struje, 9 – žica za nabrizgavanje, 10 – cev vodilica

Figure 3 – Schematic of the plasma gun for powder (a) and wire(b)

Na slici 4 prikazano je nanošenje prevlake na rukavac kolenastog vratila plazma-pištoljem za prah [3].

Slika 4 – Nanošenje prevlake na rukavac kolenastog vratila plazma pištoljem
Figure 4 – Coating deposition on a cranckshaft pin by the plasma gun

Prah za metalizaciju uvodi se pod određenim pritiskom u plazma mlaz. Čestice praha se tope i vrši se njihovo nanošenje velikom brzinom na pripremljenu površinu.

Kao rezultat ovog procesa dobija se prevlaka visokog kvaliteta u pogledu homogenosti i vezivne moći.

Instalacija za nanošenje plazma prevlake sastoji se od sledećih komponenti:

a) **upravljačke kabine,** koja se sastoji od: dovoda vode za hlađenje plazma-pištolja; izvora napajanja strujom i dva spremnika gasa. Jedan spremnik komprimiranog, primarnog, gasa koji može bit azot ili argon i jedan spremnik komprimiranog, sekundarnog, gasa koji može biti vodonik ili helijum;

b) generatora struje;

c) **distributera komprimiranog praha** sa kontrolom potrošnje i pneumatskim transportom praha do plazma-pištolja.

Plazma-gas se uvodi u plamenu komoru. Tu se vrši mešanje primarnog gasa, argona ili azota, sa sekundarnim gasom, vodonikom ili helijumom (sekundarni gas se ne koristi kod svih plazma prevlaka).

Električni luk se proizvodi dovođenjem struje između tungsten aksijalne katode i bakarne anode, koja ima oblik mlaznice. Gas, koji se uvodi u taj međuprostor, jonizuje se i izlazi u vidu plazme.

Prah, koji se želi naneti, ubacuje se (injektira se) u plazmu, na nekoliko milimetara od izlaznog preseka anode, rastapa i u stanju plazme nabacuje na površinu, na koju se nanosi prevlaka.

Gas, nosač praška (azot ili argon), istog je pritiska kao i primarni gas i potiču iz istog spremišta.

Vrste i podela plazma prevlaka

Poznat je veliki broj raznih materijala koji se koriste za stvaranje plazma prevlaka, koje prema sastavu mogu biti:

- *prevlake na bazi gvožđa, nikla, kobalta, nerđajućih i ugljeničnih čelika, egzoterni nikl- aluminijum;*
- *prevlake od samotečnih legura (legura hroma, volframa i kobalta);*
- *prevlake od obojenih metala (bronze, aluminijum, mesing, bakar itd.);*
- *oksidokeramičke prevlake (aluminijum-oksidi, hrom-oksidi, kompozitni materijali na bazi titan-dioksida, cirkonijum-dioksida, magnezijum);*
- *volfram-karbidne prevlake (kompozitni materijali na bazi volfram-karbida, kobalta, mešavine karbida i kobalta);*
- *hrom-karbidne i ostale prevlake na bazi mešavine hrom-karbida i nikl-aluminida;*
- *teško topivi metali: molidben, volfram, tantal itd.;*
- *bor-nitridi i aluminijske bronze, hrom-nikl i aluminijum-grafit, oksido-keramičke mešavine;*
- *prahovi sa plastičnom osnovom, poliesteri i silicijum-aluminijum, mešavine aluminijske bronze sa poliesterom.*

Najvažniji zahtevi koje prevlake treba da zadovolje jesu otpornost na: habanje u svim uslovima; abraziju; trenje i ciklično opterećenje; kavitaciju; eroziju; oksidaciju i toplotnu koroziju; atmosfersku koroziju i koroziju u uslovima kvašenja i potapanja.

Svi navedeni tipovi prevlaka mogu se, prema vrsti prevlaka, svrstati u tri glavne grupe: a) zaštitne prevlake od visokotemperaturne oksidacije i korozije, b) zaštitne prevlake od toplote i c) zaštitne prevlake od habanja.

a) Zaštitne prevlake od visokotemperaturne oksidacije i korozije. Prevlake otporne na visokotemperaturnu oksidaciju i koroziju koriste se na delovima GTM koji su podložni visokotemperaturnoj oksidaciji i koroziji, kao što su sprovodni venci i lopatice kompresora.

b) Zaštitne prevlake od toplote. Tanak sloj oksida na prevlakama djeluje, do izvesnog stepena, kao termička barijera, zbog toga što poseduje relativno niži koeficijent toplotnog provođenja.

Efektivnost takve barijere proporcionalna je debljini oksida, te se s toga i primenjuju relativno debeli slojevi od 100–500 mm.

Prevlake se zasnivaju na cirkonijum-dioksidu koji je stabilizovan itrijum oksidom.

c) Zaštitne prevlake od habanja. Prevlake otporne na habanje omogućavaju duži i pouzdaniji ciklični vek delova GTM, kao što su lopatice kompresora i elementi agregata.

Prevlake otporne na habanje su na bazi nitrida i karbida elemenata: titana (Ti), tantala (Ta), hroma (Cr), molibdena (Mo), cirkonijuma (Zr), hafnijuma (Hf) i drugih.

Primena tehnologije plazma prevlaka na delovima brodskih gasoturbinskih motora

Mogućnost primene plazma prevlaka na brodskim GTM

Pri projektovanju GTM, koji se primenjuju, kao brodski pogonski uređaji, neophodno je rešiti niz složenih tehničkih i konstrukcionih problema vazanih za zaštitu od prisustva morske vode u GTM.

Ispitivanja brodskih pogonskih grupa sa GTM, sa prisustvom morske vode u protočnom traktu, pokazala su gubitak snage i intenzivniju koroziju lopatica.

Na primer, kod motora AI 24 (ugrađenog na brod „Tajfun"), na ispitnoj stanici, kada se u protočni trakt ubrizgavala morska voda u trajanju od 45 min, protokom od 12,5 l/min, konstatovan je gubitak snage motora od 8%.

Nakon rastavljanja motora konstatovana je potpuna pohabanost mekih zaptivnih prevlaka na radnim prstenovima i sprovodnim aparatima kompresora, te lopaticama kompresora.

Zbog navedenih problema, neophodno je potpuno zaštititi motor od ulaska morske vode, a primenom plazma prevlaka zaštititi navedene elemente sklopova.

U radu je prikazana primena tehnologije plazma prevlaka na komori sagorevanja i turbini visokog pritiska GTM M8G, proizvedenog u bivšem SSSR-u.

GTM se sastoji se od sledećih glavnih delova: a) kompresora niskog pritiska; b) kompresora visokog pritiska; c) komora sagorevanja; d) turbine visokog pritiska; e) turbine niskog pritiska; f) pogonske turbine i g) ispusnog voda [4].

Za primenu tehnologija plazma prevlaka neophodno je poznavati konstrukciju GTM sa termičkim i gasodinamičkim parametrima, kao i uslove eksploatacije i moguće otkaze.

Komore sagorevanja

Komora sagorevanja (slika 5) deo je GTM u kojem se vrši kontinuirano sagorevanje dovedenog goriva u struji vazduha dovedenog iz kompresora.

Plamene cevi su osnovni sklop komore sagorevanja i u njima se hemijska energija dovedenog goriva pretvara u toplotnu energiju sagorelih gasova, koji dalje pokreću turbine.

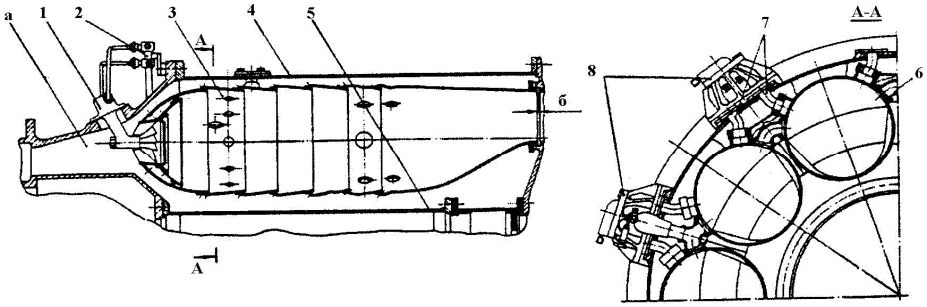
Materijali koji se primenjuju za izradu pojedinih delova komore sagorevanja određeni su temperaturama zagrevanja u toku rada.

Plašt komore sagorevanja zagreva se približno i do 500°C i obično se izrađuje od legiranog čelika otpornog na visoke temperature

Plamena cev je termički najopterećeniji deo i u njoj temperatura dostiže do 900°C. Za izradu plamene cevi neophodni su vatrootporni materijali koji moraju ispuniti zahteve za visoku čvrstoću, puzanje, otpornost na gasnu koroziju, nisku sklonost ka prskanju i vitoperenju.

Pored toga što se, pri razvoju i konstruisanju komora sagorevanja, poštuju navedeni kriterijumi za izradu, u eksploataciji se dešavaju različiti defekti.

Da bi se ti defekti izbegli moguće je vršiti zaštitu površina komora sagorevanja prevlakama otpornim na visokotemperaturnu oksidaciju i koroziju.

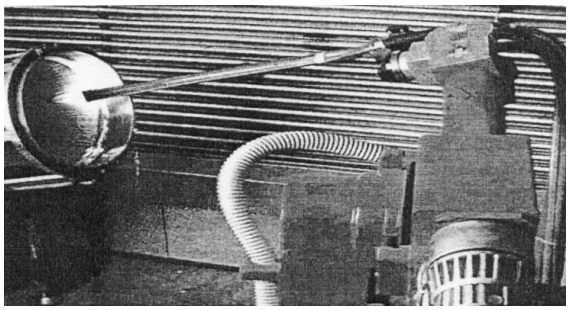


Slika 5 – Komora sagorevanja
a) difuzor; b) zazor radi toplotnog širenja; 1. rasprskač; 2. kolektor goriva; 3. plamena cev; 4. plašt komore sagorevanja; 5. plašt vratila turbine; 6. međuspoj komore sagorevanja; 7. fiksator; 8. ventil za ispuštanje vazduha

Figure 5 – Combustion chamber

Materijal osnovnog sloja – osnovne prevlake je Ni/Al 5%. Kao materijal prevlake međusloja može se koristiti keramička mešavina npr. cirkonijum oksid i magnezijum oksid, a kao završni sloj čista keramika.

Na slici 6 prikazan je postupak nanošenja zaštitne prevlake na komoru sagorevanja.



Slika 6 – Nanošenje zaštitne prevlake na komoru sagorevanja
Figure 6 – Protective coating deposition on the combustion chamber

Turbina visokog pritiska

Turbina visokog pritiska (TVP), slika 7, deo je GTM koji pogoni KVP. Turbina visokog pritiska je aksijalna, reakciona dvostepena..

Jedan od najopterećenijih delova TVP je rotor turbine, koji se sastoji od vratila i diskova sa radnim lopaticama.

Primena plazma tehnologije na elementima turbine visokog pritiska je velika.

Zaštitne prevlake mogu da se koristei na radnim lopaticama, sprovodnim lopaticama, diskovima, lavirintnim zaptivkama, osloncima ležaja i delovima kućišta.

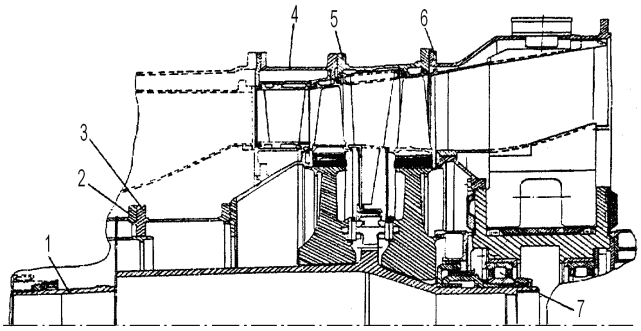
Čaura lavirinta je ta koja se troši usled habanja i nju je moguće regenerisati nanošenjem *plazma prevlake, npr. od Ni-grafita (METCO 307 NS).*

Posebno su opterećene lopatice turbine, jer su, pored ostalog, izložene delovanju visokih temperatura i agresivnom delovanju sagorelih gasova. Takvi gasovi prouzrokuju eroziju, koroziju, oksidaciju i termički zamor materijala.

Da bi se to izbeglo, lopatice se „presvlače“ prevlakama otpornim na visokotemperaturnu koroziju i oksidaciju.

Zaštita ovako opterećenih delova je višeslojna. Osnovni sloj, odnosno osnovna prevlaka je na bazi Ni/Al 5%.

Završni sloj je prevlaka na bazi oksidne keramike ZrO_2 modifikovane oksidima MgO.



Slika 7 – Turbina visokog pritiska
1 – rotor turbine visokog pritiska; 2 – plašt osovine; 3 – umetak;
4 – sprovodni aparat I stepena; 5 – sprovodni aparat II stepena;
6 – nosivi venac turbine visokog pritiska; 7 – valjkasti ležaj
Figure 7 – High-pressure turbine

Pored navedenog, vrlo zastupljena primena plazma prevlaka je na održavanju minimalnog zazora između kućišta i samih lopatica, kako kod turbina tako i kod kompresora.

Ovo se postiže presvlačenjem dela vrha lopatica slojem metala nanesenim plazma tehnologijom.

To su mekane i abrazivne prevlake koje uzrokuju niskoenergetske uslove trenja i koje su otporne na eroziju.

Njihova uloga je da se habaju umesto da uzrokuju habanje.

Za kompresore se mogu koristiti prahovi na bazi smeša legura AlSi i poliestera i kompozitnih prahova Ni – 25 C grafit i Ni – 15 C grafit.

Na slici 8. prikazan je presek turbinske lopatice visokog pritiska sa filmom za hlađenje i zaštitnom termičkom prevlakom [5].

Slika 8 – Presek turbinske lopatice visokog pritiska sa filmom za hlađenje i zaštitnom termičkom prevlakom

Figure 8 – Cross-section of a high-pressure blade with a cooling film and a protective thermal coating

Metodologija regeneracije delova GTM tehnologijom plazma prevlaka na atmosferi

Pod pojmom nanošenje plazma prevlaka, na delovima gasnih turbina, podrazumeva se proces taloženja para elemenata čija se prevlaka želi naneti na površinu dela.

Ovaj proces može se sprovoditi na atmosferskim uslovima ili u uslovima visokog vakuuma.

Tehnologija nanošenja brizganjem plazma prevlaka, pri normalnim atmosferskim uslovima okoline, poznat je u svetu pod nazivom „ATMOSFERIC PLASMA SPRAYING" (APS), odnosno plazma prskanje (brizganje) na atmosferi [6].

Metodologija nanošenja plazma prevlaka na delovima gasnih turbina propisana je od proizvođača, te se je mora striktno pridržavati.

TURBOMECA, kao jedan od proizvođača prahova i uređaja za nanošenje prevlaka putem plazme, propisao je svoju proceduru koja će biti izložena.

Za svaki deo GTM koji se regeneriše tehnologijom plazme neophodno je uraditi tehnološki postupak sa sledećim fazama i operacijama [7]: izbor praha za plazma prevlaku; tehnologija pripreme, nanošenja, obrade i kontrole plazme; sastavljanje GTM sa regenerisanim delovima; priprema (kalibracija) ispitne stanice za homologaciona ispitivanja i homologaciono ispitivanje GTM sa ugrađenim regenerisanim delovima, na Ispitnoj stanici.

Izbor praha za plazma prevlaku

Izbor praha, odnosno tipa prevlake početni je i najznačajniji korak koji zavisi od sledećih faktora ili njihove kombinacije:

- *vrste osnovnog materijala i oblika dela;*
- *karakteristike željene prevlake (otpornost na habanje, koroziju, toplotu itd.);*
- *radnih uslova dela (pritisak, udar, temperatura, fluidi itd.);*
- *debljina prevlake;*
- *moguće tehnologije obrade prevlake;*
- *stanja površine nakon nanošenja prevlake (tvrdoća i površinska hrapavost).*

Izbor praha, odnosno tipa prevlake jedna je od najvažnijih etapa u procesu nanošenja plazma prevlake, kako na nove delove tako i na delove koji su predviđeni za regeneraciju na GTM.

Prah se, pre upotrebe, mora prekontrolisati na prisustvo stranih primesa i tragova vlage.

U svetu postoji više proizvođača prahova za nanošenje plazma metodom, pored ostalih: METCO, WELDSTEEL, LINCOLIN, LOCITE, UTP, BOHLER, BELZONA i METALOK.

VZ „Moma Stanojlović“ – Batajnica, koji veoma uspešno primenjuje navedenu tehnologiju u regeneraciji motora za helikoptere i avione koji se nalaze u naoružanju VS, prihvatio je standarde za nanošenje prevlaka plazma tehnologijom proizvođača TURBOMECA.

U tabeli 1 dat je, kao primer jedan broj praškova, a primer načelnog izbora prevlake dat je u tabeli 2.

Tabela 1 – Pregled prahova, koji se upotrebljavaju za plazma prevlake

Table 1 – Selection of powders used for plasma coatings

Red. br.	Naziv – oznaka praha	Trgovačka oznaka praha	Maks. radne temper.	Upotreba i namena prevlake
1	Nikl/aluminijum 5%	- 450 METCO - Amdru 956 Plazma – technik	850°C	Višenamenska prevlaka. Služi kao podloga za nanošenje drugih prevlaka.
2	Hrom oksid	- 106 F METCO - Amdry 125 Plasma – technik	540°C	Za prevlake otporne na habanje.
3	Hrom karbid Nikl / hrom	- 81 VF – NS METCO - Amdry 305 Plasma – technik	815°C	Za prevlake otporne na visoke temperature i habanje.

Tabela 2 – Kriterijumi za izbor prevlake
Table 2 – Criteria for coating selection

Materijal na koji se nanosi prevlaka	Osnovna prevlaka (podsloj)	Završna prevlaka	Upotreba
Liveno gvožđe	Ni / Al 5 %		
		Ni / Al 5 %	
Ugljeni;ni I niskolegirani čelici	Ni / Al 5 %		Primenjuje se za velike debljine prevlake > 1 mm
		Ni / Al 5 %	
		Karbid–tungsten / Kobalt 12 ili 17 %	Prevlake otporne na habanje
		Oksid hroma	
Čelici sa 13 % hroma I nerđajući čelici	Ni / Al 5 %		
	Ni / Al 20 %		
		Ni / Al 5 %	
		Karbid–tungsten / Kobalt 12 ili 17 %	Prevlake otporne na habanje
		Oksid hroma	Prevlake otporne na habanje
Legure titana		Ni / Al 20 %	Prevlake otporne na habanje
		Karbid–tungsten / Kobalt 12 ili 17 %	

Tehnologija pripreme, nanošenja, obrade i kontrole plazme

a) Tehnologija pripreme i nanošenja prevlake na epruvetu

Osnovne tehnološke operacije su:

1. karakterizacija praha
   - fizičke, hemijske i mehaničke osobine praha,
   - kontrola kvaliteta praha (granulacija i vlaga);
2. iIzbor standardnih epruveta za mehanička i metalografska ispitivanja
   - definisanje broja standardnih epruveta;
3. izrada standardnih epruveta;
4. provera uređaja i sredstva za peskiranje (hrapavljenje);
5. izbor programa rada robota (za slučaj procesorskog upravljanja);
6. parametri nanošenja prevlake na epruvetu;
7. hrapavljenje epruvete;
8. nanošenje plazma prevlake na epruvetu;
9. kontrola kvaliteta plazma prevlake na epruvetama
   - debljina prevlake,
   - adhezija (prianjanje),
   - tvrdoća prevlake,
   - metalografske karakteristike (oksidi, poroznost, neistopljene čestice, unutrašnje prskotine, veza između prevlaka u više slojeva).

U slučaju dobijanja nezadovoljavajućih rezultata i kvaliteta prevlake na epruvetama, moraju se kritički ispitati oprema, tehnologija rada i radni uslovi.

Nanošenje prevlake na deo koji se regeneriše ne sme početi dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati kvaliteta prevlake na epruvetama.

b) Tehnologija pripreme i nanošenja prevlake na delu

Osnovne tehnološke operacije na delovima su:

1. priprema površine (pranje i odmašćivanje);
2. defektacija;
- ispitivanje na prskotine (ferofluks, penetrat, rentgen, ultra- zvuk),
- dimenzione kontrole sa proverom tolerancija oblika i položaja;
3. mašinska obrada pre plazmiranja;
4. kontrola dimenzije nakon mašinske obrade;
5. definisanje, konstruisanje i izrada alata (nosećih, maskirnih i kontrolnih);
6. zaštita (maskiranje) površina koje se ne peskiraju;
7. peskiranje (hrapavljenje) površina koje će se plazmirati;
8. zaštita (maskiranje) površina koje se ne plazmiraju;
9. provera programa plazmiranja na „hladno“;
10. nanošenje prevlake na pripremljeni deo, sa parametrima potvrđenim na epruvetama;
11. dimenzione kontrole sa nanetom prevlakom;
12. definisanje metoda i tehnologije mašinske obrade;
13. kontrola tvrdoće i kvaliteta površine prevlake;
14. dimenziona kontrola.

U slučaju nezadovoljavajućeg kvaliteta nanete prevlake, neophodno je njeno uklanjanje i ponavljanje postupka nanošenja.

Pri izvođenju ovih radnji važno je uvek voditi računa o merama zaštite tokom rada, jer je ova tehnologija ekološki opasna i štetna po ljudsko zdravlje.

Sastavljanje GTM sa regenerisanim delovima

Posle završene regeneracije delova, a pre ugradnje u gasnu turbinu, mora se izvršiti merenje svih definisanih kota, na trokodinatnoj mašini za kontrolu.

Dobijene rezultate izmerenih kota, prema definisanim lokacijama, uneti u liste dimenzione kontrole delova GTM.

Priprema (kalibracija) ispitne stanice za homologaciona ispitivanja

Kalibracija ispitne stanice sprovodi se prema postojećoj dokumentaciji. Cilj kalibracije je provera svih mernih sistema na stanici, koji moraju biti u propisanim granicama tačnosti. Time se obezbeđuje tačnost izmerenih parametara tokom homologacionog ispitivanja na GTM.

Kalibracija ispitne stanice vrši se „Etalon“ GTM, a prema listama Protokola serijskog ispitivanja motora.

Protokol serijskog ispitivanja motora sastoji se od sledećih operacija:

– pripreme motora za ispitivanje;
– povezivanja motora na ispitni sto;
– provere sistema za kontrolu motora;
– kontrole vibracija bez opterećenja;
– postavljanja kočnice sa vodom i uhodavanje;
– snimanja statičke karakteristike za n_{kor} (o/min) P_{kor} (kW);
– proračuna i analize rezultata;
– kontrole vibracija sa opterećenjem;
– funkcionalne provere pri n_{iz} (o/min) P_{max} (kW);
– provere pojave pumpanja;
– skidanja kočnice i provere zaustavljanja motora;
– unutrašnje konzervacije;
– odvajanja instalacije i skidanja motora sa ispitnog stola;
– spoljašnje konzervacije i pakovanja.

Cilj kalibracije je pouzdana potvrda performansi motora sa ugrađenim regenerisanim delovima.

Homologaciono ispitivanje GTM sa ugrađenim regenerisanim delovima, na ispitnoj stanici

Ispitivanje motora na ispitnoj stanici izvodi se prema Protokolu serijskog ispitivanja. Po dobijanju zadovoljavajućih performansi motora, pri standardnom serijskom ispitivanju GTM, pristupa se 48-časovnom homologacionom ispitivanju po ciklusima.

Kroz ovo ispitivanje, koje je najvažniji deo homologacije, treba da se potvrdi kvalitet i pouzdanost regenerisanog dela u uslovima koji odgovaraju uslovima rada u eksploataciji.

Homologaciono ispitivanje motora u trajanju od 48 časova je nastavak serijskog ispitivanja motora i odvija se u 8 ciklusa. Predviđeno je da svaki ciklus traje 6 časova neprekidnog rada motora.

Struktura jednog ciklusa sa režimima i vremenima rada motora mora biti unapred definisana i propisana.

Nakon završetka svakog ciklusa, u neprekidnom trajanju od 6 časova, snima se karakteristika motora prema Listi ispitivanja iz Protokola ispitivanja motora.

Program homologacionog ispitivanja definiše se u zavisnosti od konstruktivne složenosti, roka rada i pouzdanosti delova sa prevlakom, kao i karakteristika prevlaka.

Najčešće se čuva jedan GTM specijalno za homologaciona ispitivanja regenerisanih delova i sprovedenih modifikacija.

Nakon odvajanja instalacija i skidanja motora sa ispitne stanice motor se upućuje na rastavljanje.

Rastavljanje motora sprovodi se do nivoa potrebnog da se skinu svi regenerisani delovi koji su bili na 48-časovnom homologacionom ispitivanju. Nakon pranja izvodi se dimenziona kontrola. Merenje se vrši po istom postupku kao što se vrši kod dimenzione kontrole delova pre homologacije.

Na kraju treba vizualno prekontrolisati stanje prevlake na regenerisanim delovima, na kojima se ne dozvoljavaju nikakve prskotine, promena boje ili ispupčenja na površinama sa prevlakom.

Zaključak

Održavanje brodskih GTM u pogonskoj spremnosti u sadašnjim uslovima veoma je otežano, uglavnom zbog nemogućnosti nabavke skupih rezervnih delova iz uvoza, a posebno za GTM starije proizvodnje.

Zbog toga je nužno proces održavanja usmeriti u pravcu regeneracije oštećenih i pohabanih delova GTM.

Jedna od najprihvatljivijih metoda regeneracije koja bi se mogla primeniti na delovima brodskih GTM jeste metoda metalizacije plazma postupkom.

Tehničke karakteristike prevlaka, dobijenih ovim postupkom, najbolje odgovaraju zahtevima koji proizlaze iz uslova rada delova GTM na brodovima.

Kao garancija uspešnosti primene plazma tehnologije na delovima brodskih GTM je vrlo uspešna primena ove tehnologije u vazduhoplovstvu na različitim tipovima pogonskih grupa, pri čemu se moraju ispoštovati specifični zahtevi u pogledu uslova rada brodskih GTM (npr. intenzivna korozija usled dejstva morske vode).

U remontnim ustanovama Ratne mornarice ova tehnologija se nije primenjivala u procesu održavanja GTM ugrađenih na brodovima.

Uvođenje tehnologije plazma prevlaka u regeneraciji delova GTM na brodovima može biti olakšano time što oprema za nanošenje prevlaka i verifikovani kadar sa potrebnim iskustvom postoje u vazduhoplovnim strukturama VS, tako da nisu potrebna nikakva ulaganja ni u eventualnu opremu niti u naknadno edukovanje kadra.

Da bi se ova tehnologija uspešno primenjivala, potrebno je uvođenje tehničke dijagnostike prema stanju u eksploataciji GTM, od kojih su od posebnog značaja endoskopija, vibraciona dijagnostika, parametarska dijagnostika i spektralna analiza ulja. Efekat primene ovakvog dijagnosticiranja i regeneracije je produženje roka rada i napuštanje zastarelog sistema fiksnog roka rada (resursa), koji je danas na snazi.

Literatura

[1] Mišović, D., *Regeneracija metalizacijom plazma – postupkom*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol 41, No. 1, pp. 32–39, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 1993.

[2] Milić, B.*, Što bi trebalo da svaki obrazovan čovek zna o fizici plazme?*, Društvo matematičara i fizičara Crne Gore i Društvo fizičara Srbije, 9. kongres fizičara Jugoslavije, Plenarna predavanja, Petrovac na Moru, 1995.

[3] www.vecowelding.com.

[4] *Tehnički opis i uputstvo za eksploataciju brodskog postrojenja s gasnom turbinom M8G*, SSNO, Beograd, 1982.

[5] Rašuo, B., *Tehnologija gradnje letelica*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 1995.

[6] *Turbomeca common tecniques book*, jul 1981, mart 1983. godine, Procedure 430.

[7] Janković, S., Jovanović, M., *Primena i verifikacija tehnologije plazma prevlaka na delovima gasoturbinskih motora*, VZ „Moma Stanojlović“ Batajnica.

POSSIBILITY TO REGENERATE PARTS OF SHIP GAS TURBINE ENGINES USING THE PLASMA METALLIZATION PROCESS

FIELD: Mechanical Engineering
ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary:

This paper presents the regeneration of parts of ship gas turbine engines by the plasma metallization process. One of the most modern metallization procedures is a plasma process, which has more advantages compared to other metallization procedures. This work will deal with metallization processes, i.e. the plasma-based metallization process and the possibility of applying this process to the regeneration of parts of ship gas turbine engines (GTEs).

Introduction

In modern conditions of maintenance of mechanical parts, components and technical material resources (TMS), there is a growing need to regenerate mechanically damaged and worn parts, since it significantly reduces the price of repairs and maintenance of TMSs.

Scientific achievements in the field of regeneration methods gave more technological solutions that enable the achievement of such results that the properties of regenerated parts surpass the characteristics of new parts, or at least maintain the quality of new ones.

Several regeneration methods are applied, depending on the type of material, shape, damage, constructive and technological characteristics of the damaged parts, working conditions and application of certain methods in the given circumstances. The most commonly used methods of regeneration are the following ones: welding and over-welding, hard chromium

plating, hot and cold metallization, use of technical metals, Metalock process, various bonding procedures, etc. This paper presents the plasma-metallization process and the possibilities to apply this process for the regeneration of parts of ship gas turbine engines (GTEs).

Metallization (spraying the surface of metals)

Metallization is a flame spraying process in which metal (or ceramic) coatings are used for coating surfaces during manufacturing processes to increase surface resistance to abrasion, heat and corrosion. The process of thermal spraying consists of heating metals (or non-metallic materials) and their injection in the atomized form onto the surface. Today there are more metallization procedures, some of which are common in industrial applications: wire metallization, electric arc metallization, metal powder coating, Dimond Jet metallization process and plasma-metallization process.

Plasma metallization process

One of the most modern procedures of metallization is the plasma process which has more advantages and specific characteristics compared to other procedures of metallization. The development of spray technology was needed to spray metal alloys that melt at temperatures of more than 15000 ℃. This technical and technological requirement could only be achieved by the plasma procedure. Plasma gas is obtained by ionization using a high-voltage arc occurring between the anode and the cathode in the plasma gun. Hot plasma jet passes through the copper nozzle at high rate, then it is water cooled while at the same time metal powder used for coating is injected into the hot plasma gas where it is melted and deposited on the substrate.

The application of plasma technology coating on parts of ship gas turbine engines (GTEs)

Possibilities of applying plasma coatings to large parts of GTEs are wide. Protective coatings can be used on working blades, conductive blades, disks, labyrinth seals, mounts, bearings and parts of the body and the combustion chamber. Besides the above, a frequent application of plasma coatings is for maintaining the minimum clearance between the casing and the blades themselves, in turbines as well as in compressors. For each part of GTEs, regenerated by the plasma technology, it is necessary to perform a technological process with the following phases and operations: selection of powder for plasma coating; technology of plasma preparation, deposition, treatment and control; preparation of GTEs with regenerated areas; preparation (calibration) of test stations for testing and homologation, and homologation testing of GTEs with integrated regenerated parts at test stations.

Conclusion

One of the most acceptable methods of regeneration that could be applied to parts of the ship GTE is a method of plasma metallization process. Technical characteristics of the coating, obtained by this procedure, show the best matching with the requirements fort GTE parts of ships.

A guarantee of the success of applying the plasma technology in the areas of ship GTEs can be a very successful application of this technology in the Air Force in various types of operating groups, while specific requirements must be met as to the conditions of ship GTEs (e.g. due to intense corrosion effects of sea water).

To make this technology successfully implemented, it is necessary to introduce technical diagnosis of the conditions of the exploitation of GTEs, some of which are of special importance such as endoscopy, vibration diagnostics, diagnostics and parametric spectral analysis of oils. The effect of such a diagnosis and regeneration is an extension of operational life and abandoning the outdated system of fixed operating lives of resources, which is now in force.

Key words: *regeneration of parts, metallization, plasma process, coating.*

Datum prijema članka: 21. 10. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 02. 02. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 03. 02. 2011.

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK/MILITARY TECHNICAL COURIER, 2012., Vol. LX, No. 1

EKOLOŠKI ASPEKTI PROCESA DEMILITARIZACIJE I UNIŠTAVANJA UBOJNIH SREDSTAVA

Jeremić B. *Radun*, Vojna akademija, Katedra vojnohemijskog inženjerstva, Beograd

OBLAST: hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: stručni članak

Rezime:

U poslednjih desetak godina Vojska Srbije suočava se sa problemom viškova različitih ubojnih sredstava koji su posledica promene organizacione strukture i racionalizacije. Pored toga, na više lokacija u Srbiji još je prisutan određen broj neeksplodiranih ubojnih sredstava zaostalih nakon NATO bombardovanja. U radu su razmatrani ekološki aspekti uništavanja viškova ubojnih sredstava kao i neeksplodiranih ubojnih sredstava. Dat je kratak pregled metoda uništavanja i tehnoloških uslova za njihovu primenu. Posebno su analizirani toksični efekti sastojaka ubojnih sredstava na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Dati su i odgovarajući predlozi za umanjenja ekoloških rizika u procesu demilitarizacije ubojnih sredstava.

Ključne reči: *ubojna sredstva, demilitarizacija, uništavanje ubojnih sredstava, toksični efekti, životna sredina.*

Uvod

Kao i mnoge druge zemlje u svetu, i Vojska Srbije se u poslednjih dvadesetak godina suočava sa problemom viškova različitih ubojnih sredstava (UbS) koja više nisu perspektivna ili nisu pouzdana za dalje čuvanje i upotrebu, kao i sa relativno velikim brojem neeksplodiranih UbS (NUS) zaostalih nakon NATO bombardovanja [1]. Pored ostalog, ova UbS predstavljaju značajan bezbednosni rizik za ljude i životnu sredinu. Zato uklanjanje viškova UbS i rashodovanih UbS (demilitarizacija), kao i uništavanje NUS treba posmatrati kao praktičan bezbednosni zahtev.

Demilitarizacija podrazumeva prevođenje UbS u stanje u kojem više ne mogu imati funkciju za koju su namenjena. Načelno, demilitarizaciju sledi faza uništavanja eksplozivnih komponenti sadržanih u UbS.

Uklanjanje zastarelih ili neispravnih UbS je u poslednjih nekoliko godina sve urgentniji problem; sa jedne strane, zato što postoji potreba da se oslobodi skladišni prostor, a sa druge strane zbog toga što se vremenom, zbog odvijanja različitih fizičko-hemijskih procesa u UbS, povećava opasnost i verovatnoća nastanka neželjenog akcidenta koji mogu imati izrazito negativne posledice po okolinu i bezbednost ljudi [2].

radun@mail.com

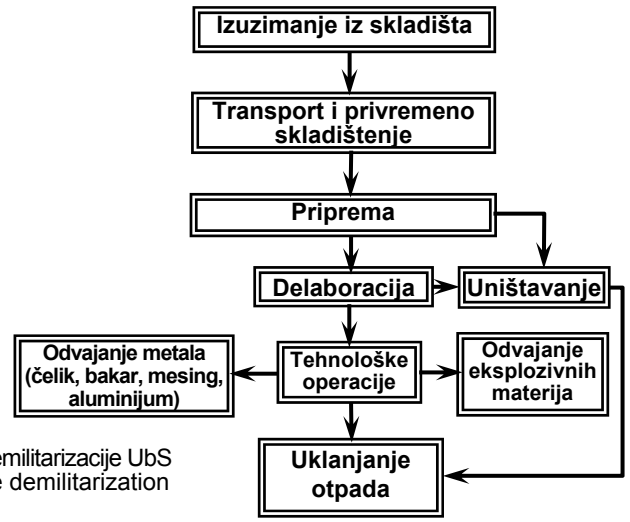
Pri izboru metode uništavanja UbS uzmaju se u obzir vrsta UbS, ko vrši uništavanje (vojska, policija, specijalizovane komercijalne kompanije), mesto uništavanja kao i količina UbS za uništavanje. Pri izboru najprihvatljivije metode uništavanja moraju se uzeti u obzir i troškovi kao i posledice na životnu sredinu.

Na slici 1 prikazana je opšta metodologija demilitarizacije. Postoje mnoge prateće faze i opcije izbora. Svaka faza sastoji se od skupa procesa, a mnogi procesi od više potprocesa. Najprikladniji proces demilitarizacije koji će biti primenjen zavisi od brojnih faktora, kao što su raspoložive tehnologije, problemi zaštite životne sredine, bezbednosni problemi, komercijalna pitanja itd.

UbS su u suštini opasna i proces demilitarizacije obavezno uključuje i analizu pirotehničke bezbednosti kao i ekološke rizike. Konkretno, procesi rastavljanja i sečenja UbS, kao i tretmana eksplozivnih komponenti mogu biti opasni, što zavisi od metoda rada, osetljivosti eksplozivnih komponenti itd. Pored toga, procesi moraju da budu što je moguće manje štetni po zdravlje i bezbednost radnika, atmosferu, zemljište i vodu.

Da bi se uštedeli resursi i zaštitila životna sredina, cilj procesa demilitarizacije mora biti maksimalan stepen reciklaže i minimalno stvaranje otpada. Značajne količine skupih metala (bakar, čelik, mesing, aluminijum) mogu se dobiti reciklažom (delaboracijom) UbS. Takođe, moguće je delaborisane baruteи eksplozive iskoristiti za proizvodnju komercijalnih eksploziva [3].

Ubojna sredstva su, uz retke izuzetke, konstruisana sa akcentom na postizanje efekta na cilju, pri čemu se vrlo malo ili nimalo nije uzimala u obzir potreba za demilitarizacijom na kraju veka upotrebe. Shodno tome, demilitarizacija UbS je često složeniji proces nego njihova proizvodnja. Savremena UbS su sve složenije konstrukcije, pa je zato neophodno još u fazi konstruisanja uzeti u obzir i proces demilitarizacije.



Slika 1 – Opšta šema procesa demilitarizacije UbS
Fig. 1 – General scheme of the demilitarization process of EO

Osnovne karakteristike ubojnih sredstava i lokacije na kojima se mogu naći

Uslovi i stanje u kojem se nalaze UbS važan je parametar u proceni verovatnoće njihove neželjene detonacije. UbS su konstruisana tako da budu bezbedna za transport i manipulaciju pre upotrebe. Međutim, napuštena UbS ili UbS koja se nalaze ukopana u zemlju ne mogu se smatrati sigurnim za transport i manipulaciju bez detaljnog pregleda. Pored toga, upotrebljena UbS čije je dejstvo izostalo na cilju (neeksplodirana UbS) mogu biti armirana ili delimično armirana. Kao posebna kategorija UbS, NUS su najopasnija i po pravilu nisu bezbedna za manipulaciju i transport.

Za razliku od napuštenih UbS, kod kojih se lako može utvrditi da li su sa upaljačem ili bez upaljača, kog ukopanih UbS ili NUS u principu to nije moguće pouzdano zaključiti. Mnoga UbS imaju više sistema aktiviranja, pa jedan upaljač može biti armiran, a drugi ne. To znači da se iz bezbednosnih razloga sva UbS inicijalno tretiraju kao armirana, sve dok se pouzdano ne utvrdi stanje upaljača, ako je to moguće. Pored toga, opasnost od detonacije NUS zavisi od vrste UbS i od stanja u kojem se nalaze.

Karakteristične lokacije na kojima se u većem ili manjem broju mogu naći UbS su: pogoni za proizvodnju UbS, skladišta UbS, poligoni za ispitivanje UbS, remontni zavodi, poligoni za uništavanje UbS, strelišta, poligoni za obuku i lokacije na kojima su prisutna NUS kao posledica ratnih dejstava. NUS se mogu naći i na strelištima i poligonima za obuku. Kao što je istaknuto, NUS predstavljaju i najveću opasnost po ljude i okolinu. Značajna potencijalna opasnost prisutna je i u pogonima za proizvodnju eksplozivnih materija, pirotehničkih komponenti i UbS, kao i u remontnim zavodima, gde u slučaju akcidenta dolazi do ozbiljnog ugrožavanja kako života i zdravlja radnika u pogonima tako i šire životne sredine (karakterističan primer za to je eksplozija municije u kompaniji „Sloboda“ – Čačak, u decembru 2010).

Vrste elemenata UbS koji se potencijalno mogu naći na poligonima zavise od tipa i namene poligona. Na primer, treba očekivati da strelišta za gađanja iz streljačkog naoružanja budu kontaminirana metalnim zrnima i čahurama, dok se na artiljerijskim poligonima, avio-poligonima ili poligonima za uništavanje UbS, pored metalnih delova, NUS, može očekivati i prisustvo manjih količina eksplozivnih jedinjenja u zemlji i vodi, kao što je TNT, heksogen i drugi eksplozivi kojima su laborisana UbS. Na primer, prilikom bacanja avio-bombe ili ispaljivanja artiljerijskog projektila moguće su sledeće situacije:

– potpuna detonacija projektila (bombe), pri čemu dolazi do razbacivanja fragmenta košuljice i male količine municijskih komponenata (npr. TNT, heksogena, olova i drugih teških metala) u okolinu,

– nepotpuna detonacija pri čemu dolazi do razbacivanja u okolinu, ne samo parčadi i većih količina municijskih komponenata već i većih delova ili sklopova UbS,

– otkaz funkcije (laganje), što dovodi do pojave NUS, koje može biti neoštećeno (nema oslobađanja sastavnih komponenata u okolinu) ili će imati oštećenja koja će uzrokovati oslobađanje eksplozivnih i drugih hemijskih komponenti u okolinu.

Pored toga, UbS mogu biti izgubljena, napuštena ili ukopana, sa upaljačem ili bez upaljača. Ako su ta UbS oštećena ili se nađu u korozivnoj sredini, može doći do oslobađanja hemijskih komponenti u okolinu.

Poseban problem za bezbednost ljudi i životnu sredinu predstavljaju NUS zaostala nakon ratnih dejstava, kao u slučaju NATO bombardovanja naše zemlje. Ona se mogu naći na različitim lokacijama – na zemlji, ukopana u zemlju ili pod vodom. Pod zemljom se mogu naći na različitim dubinama koje se kreću i do 10 m, što zavisi od vrste UbS i karakteristika zemljišta.

Migracija i ponašanje nekih komponenata UbS u životnoj sredini još nisu ni blizu istraženi kao u slučaju drugih zagađivača, kao što su ugljovodonici [4]. Na primer, TNT apsorbuje čestice zemlje i zato se ne očekuje da brzo migrira kroz zemlju u podzemne vodotokove. Međutim, ponašanje produkata degradacije TNT-a u životnoj sredini nije dovoljno istraženo [5].

Hemijska reaktivnost standardnih vojnih eksplozivnih materija zavisi od materijala sa kojim su u kontaktu, uslova skladištenja i uslova okoline kojima su izložene. Zato se moraju preduzeti mere predostrožnosti da se spreči njihova reakcija sa drugim materijalima. Na primer, olovo azid će reagovati sa bakrom u prisustvu vode i CO_2, formirajući bakar azid koji je još osetljiviji eksploziv. Amonijum nitrat reaguje u prisustvu vode sa čelikom ili aluminijumom formirajući amonijak i metalne okside. TNT reaguje sa bazama pri čemu dolazi do stvaranja opasnih i osetljivih jedinjenja.

Zbog ovih i mnogih drugih reakcija, UbS moraju biti zaštićena od uticaja vlage i drugih primesa. U suprotnom dolazi do ubrzanog pada kvaliteta i pouzdanosti UbS, a naročito hemijske stabilnosti eksplozivnih komponenti, zbog čega ona postaju opasna za upotrebu i dalje skladištenje.

Načelno, na pogoršanje stanja UbS, pored kvaliteta i otpornosti (hermetičnosti) ambalaže, dominantno utiču uslovi okoline kojima su UbS izložena, kao i stepen njihovog oštećenja u slučaju NUS.

UbS su konstruisana tako da budu bezbedna pri transportu i manipulaciji. Međutim, u slučaju laganja na cilju, nepotpune detonacije ili oštećenja na drugi način postoji mogućnost da eksplozivne materije i drugi sadržaji, kojima su UbS laborisana, iscure i kontaminiraju tlo i podzemne vodotokove.

Korozioni procesi umnogome doprinose brzini degradacije i propadanja NUS. Na brzinu korozije utiču brojni faktori, od kojih su najznačajniji: stepen vlažnosti tla, vrsta tla, pH tla, otpornost, elektrohemijski potencijal, količina kiseonika, prisustvo mikroorganizama itd.

Metode uništavanja ubojnih sredstava

Danas se u svetu i kod nas u praksi primenjuje veliki broj metoda i tehnika uništavanja UbS, počev od najjednostavnijih, kao što su detonacija ili spaljivanje na otvorenom prostoru, pa do visoko sofisticiranih industrijskih procesa.

Načelno, sve metode uništavanja mogu se svrstati u tri glavne grupe (tabela 1):

– klasične metode,
– dopunske metode i
– eksperimentalne metode.

Tabela 1
Table 1

Metode uništavanja UbS i uslovi primene
Destruction proceses of EO and the conditions of application

Grupa	Metoda	Tehnološki uslovi primene
Klasične metode	Detonacija na otvorenom prostoru	• nema druge raspoložive tehnologije • transport nije moguć • relativno veliki bezbednosni rizik • moguće uništavanje UbS bez potrebe za specijalnom opremom
	Spaljivanje na otvorenom prostoru	• nema druge raspoložive tehnologije • ograničene količine municije • visoke koncentracije opasnih produkata koji se formiraju za vreme sagorevanja
	Zatvoreno spaljivanje	• veliki broj municije manjih kalibara • velika količina eksploziva i pogonskih EM • mogućnost korišćenja energije • velika količina otpadnog metala
	Detonacija u detonacionoj komori	• mali bezbednosni rizik • ograničena količina municije
	Odlaganje UbS	• uticaj na životnu sredinu • nacionalna i međunarodna zakonska ograničenja
Dopunske metode	Delaboracija Mehanički tretman Kriogeno drobljenje Separacione tehnologije itd.	• mogućnost recikliranja i ponovne upotrebe nekih komponenata UbS • ove procese moguće je realizovati u fabrikama ili prilagođenim objektima
Eksperimentalne metode	Hidrotermička oksidacija Hemijska reakcija Plazma-lučna piroliza Elektrohemijska oksidacija Biodegradacija itd.	• specifična primena za opasne materije i visokotoksične supstance radi zaštite okoline • zahteva specijalnu opremu

Detaljnije opisivanje pojedinih metoda nije tema rada, ali je značajno istaći da izbor najpogodnije metode zavisi od brojnih faktora koji su sumirani u tabeli 2.

Tabela 2
Table 2

Parametri koji utiču na izbor metode uništavanja
The parameters that influence the choice of methods of destruction

Parametar	Komentar
Fizičko stanje UbS	• Utiče na bezbednost postupka uništavanja, što može da bude presudno da metoda uništavanja detonacijom na otvorenom ima prednost u odnosu na industrijske tehnologije. • Može diktirati da li su UbS bezbedna za transport do postrojenja za uništavanje ili da se moraju uništavati što je moguće bliže mestu skladištenja
Količina UbS	• Veće količine povećavaju efikasnost uništavanja. U takvoj situaciji moguć je veći izbor raspoloživih tehnologija.
Raspoloživi kapaciteti i resursi	• Mali broj zemalja poseduju tehnologije za uništavanje koje su bezbedne, bezopasne po okolinu, efektivne i efikasne. Obično su zadovoljeni jedan ili dva navedena zahteva.
Zakonska regulativa	• Zakonska regulativa iz oblasti zaštite životne sredine i pirotehničke bezbednosti utiče i na primenljivost određene tehnike uništavanja.
Tehnološke opcije	• Industrijska demilitarizacija može se sprovesti kroz mehaničko rastavljanje i delaboraciju, kao i spaljivanje u ekološki kontrolisanim postrojenjima, sa kontinuiranim radom u toku cele godine.

Detonacija na otvorenom prostoru, odnosno uništavanje na zatečenom mestu, kao i spaljivanje na otvorenom prostoru, tradicionalne su i ujedno najjednostavnije metode uništavanja UbS. Međutim, treba naglasiti da su, zbog strogih ekoloških propisa, neke zemlje sveta zabranile ove metode uništavanja [6].

Druge klasične metode, kao što su zatvoreno sagorevanje i detonacija u detonacionoj komori, mogu biti dobre alternative za uništavanje, pre svega sa aspekta bezbednosti i zaštite životne sredine.

Kombinacija faktora bezbednosti, logističke podrške, kapaciteta i ekonomskog faktora često diktiraju primenljivost određene tehnologije. Da bi se došlo do najprihvatljivije metode, moraju se analizirati sledeći kriterijumi:

1. primenjena tehnologija mora obezbediti potpuno uništavanje municije, eksplozivnih i pogonskih materija, kao i pirotehničkih komponenti sadržanih u UbS;

2. primenjena tehnologija ne sme imati posledica po životnu sredinu i mora biti bezbedna po ljude; principi sistemskog praćenja stanja životne sredine moraju biti primenjeni;

3. primenjena tehnologija mora biti ekonomski opravdana, sa minimalnim utroškom energije i minimalnim otpadom;

4. primenjena kombinacija tehnologija treba da bude pogodna za uništavanje većine vrsta UbS;

5. u nekim slučajevima, kada UbS nisu bezbedna za transport, primenom odgovarajuće tehnologije moraju se dovesti u bezbedno stanje na samoj lokaciji gde se nalaze.

Konstrukcija konvencionalnih UbS trebala bi da omogući lako rastavljanje na sklopove i delove, jednostavnu delaboraciju eksplozivnih i pirotehničkih komponenti, ekonomično recikliranje materijala i njihovu ponovnu upotrebu, bezbednu manipulaciju i minimalni uticaj na životnu sredinu.

Analiza uticaja na životnu sredinu

U pogledu uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje, klasične metode uništavanja UbS, pre svega detonacija i spaljivanje na otvorenom prostoru, mogu imati značajne posledice zbog oslobađanja teških metala (olovo, antimon i barijum), toksičnih gasova u produktima sagorevanja, odnosno detonacije (HCl, CO, NO, NO_2, HCN), što za posledicu ima zagađenje vazduha, podzemnih voda i zemljišta. Količina produkata sagorevanja i detonacije varira od 30 do 45 mol/kg za različite eksplozivne materije [7]. Neka istraživanja su pokazala da je količina toksičnih azotnih oksida i ugljen-monoksida kojim se zagađuje atmosfera, u slučaju detonacije ili spaljivanja na otvorenom, i do deset puta veća u odnosu na savremene metode uništavanja [8, 9]. To znači da je osoblje koje radi na uništavanju UbS, kao i stanovništvo koje živi relativno blizu mesta za uništavanje, izloženo povećanom riziku obolevanja od kancerogenih bolesti i trovanja teškim metalima. Pored toga, rizik po ljudsko zdravlje i životnu sredinu predstavljaju i drugi sastojci UbS kao što su eksplozivne materije i druge hemijske komponente, uključujući olovo, živu i druga jedinjenja koja se koriste prilikom proizvodnje UbS ili koja nastaju prilikom uništavanja UbS.

U tabeli 3 prikazani su neki rezultati merenja zagađenja vazduha pri različitim metodama uništavanja eksplozivnih materija, a u tabeli 4 isti rezultati prikazani su preko NO_2 – ekvivalenta emisije toksičnih gasova [8]. Treba istaći da nijedna metoda u tabeli 4 ne ispunjava standarde Evropske unije u pogledu zaštite životne sredine, pre svega zbog emisije azotnih gasova. Međutim, ako se pri zatvorenom spaljivanju doda urea (kolona 6), količina azotnih oksida opada na dozvoljene granice, što znači da metoda zatvorenog spaljivanja, uz primenu adekvatnog postupka denitrifikacije, može zadovoljiti standarde.

Tabela 3
Table 3

Prosečne količine štetnih produkata pri uništavanju eksplozivnih materija u gramima po kg eksplozivne materije [8]
The average amount of harmful products during the destruction of explosive substances (in grams per kg of explosive materials) [8]

Produkt uništavanja	Sagorevanje na otvorenom	Detonacija na otvorenom	Zatvorena detonacija	Zatvoreno spaljivanje TNT	Zatvoreno spaljivanje TNT + urea
CO	2,46	34,04	0	1,26	2,30
NO_x	5,41	10,82	7,912	69,03	3,50
Sitne čestice	56	26	1,3	0,208	0,056
Ugljovodonici	0,03	0,18		$0,1x10^{-3}$	$0,06x10^{-3}$
SO_2	– [b]			$0,11x10^{-3}$	$0,07x10^{-3}$
Hg				$0,06x10^{-3}$	$0,05x10^{-3}$
NH_3				$18,1x10^{-3}$	5,135
HCl	– [b]			$3,9x10^{-3}$	$4,8x10^{-3}$
HF				$0,3x10^{-3}$	$0,3x10^{-3}$
Teški metali	– [b]			$0,2x10^{-3}$	$0,1x10^{-3}$
Dioksini				$0,5x10^{-3}$	$0,4x10^{-3}$

[a] Rezultati se odnose na pentrit, TNT i tetril
[b] Zavisi od sastava

Tabela 4
Table 4

Emisija zagađivača vazduha izražena preko NO_2-ekvivalenta
Emissions of air pollutants expressed by NO_2-equivalent

Metoda uništavanja	Emisija NO_2-ekvivalenta (g/kg)[a]
Sagorevanje na otvorenom	285
Detonacija na otvorenom	141
Zatvorena detonacija	14
Zatvoreno spaljivanje	70
Zatvoreno spaljivanje + urea	4

[a] NO_2-ekvivalent uključuje emisiju CO, NO_2 i čestice koje se mogu udisati

Pri spaljivanju dolazi do stvaranja i čvrstog otpada koji treba da se odlaže. Čvrsti otpad se sastoji od donjeg ostatka i pepela. Obično se odlaže na deponije, iako se neki ostaci mogu koristiti u građevinskim materijalima (cement, asfalt). U nekim zemljama (npr. Nemačka i Holandija) čvrsti ostatak spaljivanja je klasifikovan kao otrovan opasan otpad zbog mogućih primesa dioksina [8, 9].

Pepeo i druge čestice dima mogu sadržavati poliaromatske ugljovodonike. Sagorevanje i detonacija na otvorenom mogu dovesti do taloženja ovih materija u neposrednoj blizini mesta uništavanja UbS. Ovakvo nekon-

trolisano odlaganje produkata uništavanja može se smatrati najvažnijim negativnim uticajem na životnu sredinu. Smatra se da nekontrolisano odlaganje oko sto puta više ugrožava životnu sredinu u odnosu na kontrolisano uništavanje (detonacija i spaljivanje u zatvorenom prostoru) [8].

Iako ne postoji potpuno ekološki bezbedan postupak uništavanja UbS, gde god je to moguće treba izbegavati metode detonacije i spaljivanja na otvorenom prostoru i preduzimati mere da se smanji štetan uticaj na vazduh, zemljište i vodu. Prilikom planiranja uništavanja UbS uvek se moraju predvideti i mere kontrole zagađenja. Prikupljanje otpada i ostataka nakon uništavanja znatno doprinosi smanjivanju negativnog uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje.

Najčešće eksplozivne materije koje se primenjuju u UbS ili su nusproizvod prilikom proizvodnje, upotrebe ili uništavanja UbS prikazane su u tabeli 5. Ostali toksični materijali, kao što su olovo, nalaze se u streljačkoj municiji.

Tabela 5
Table 5

Glavna primena eksplozivnih materijala u UbS
Main use of explosives in EO

Jedinjenje	Pogonske EM	Inicijalni elementi	Pojačnik	Eksplozivno punjenje UbS	Pirotehnički elementi
TNT				+	
RDX	+		+	+	
HMX	+		+	+	+
Pentrit		+	+	+	+
Tetril			+		
Tetrazen		+			
DEGDN	+				
Nitroceluloza	+				
Dinitrotoluen	+			+	
Nitrogvanidin	+				
Amonijum nitrat	+			+	
Nitroglicerin	+				
Olovo azid		+			
Olovo stifnat		+			
Živin fulminat		+			
Beli fosfor					+
Perhlorati	+				+

Navedene eksplozivne materije i druga potencijalno toksična jedinjenja mogu se naći u zemljištima, podzemnim vodama, površinskim vodama i vazduhu i mogu imati potencijalno ozbiljne posledice po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Karakter i intenzitet ovih uticaja, kao i pitanja da li oni predstavljaju neprihvatljiv rizik po zdravlje ljudi i životnu sredinu zavise od doze, trajanja, mesta i smera kretanja opasne supstance, kao i od osetljivosti populacije koja je izložena njihovom uticaju.

Uticaj sastojaka ubojnih sredstava na zdravlje ljudi

Od svih eksplozivnih i drugih hemijskih jedinjenja, TNT je svakako najznačajniji kontaminant životne sredine jer je najzastupljeniji u UbS. On može dospeti u ljudski organizam udisanjem vazduha kontaminiranog TNT-om. Radnici u proizvodnji eksploziva, koji su izloženi visokim koncentracijama TNT u vazduhu na radnom mestu imaju probleme sa različitim telesnim organima, imunim sistemom, kao i iritacijom kože. Istraživanja su pokazala da je TNT potencijalno kancerogen za ljudski organizam.

TNT, RDX i druga nitroaromatična jedinjenja mogu se akumulirati u biljkama iz kontaminiranih zemljišta, i to može biti potencijalni put ugrožavanja ljudi i životinja. Utvrđeno je da biljke apsorbuju visok nivo TNT-a, uključujući i jestive vrste kao što su zelena salata, pasulj i šargarepa. Zato se pri proceni rizika mora uzeti u obzir da je opasnost po ljude i životinje veća putem lanca ishrane.

U tabeli 6 sumirani su potencijalni toksični efekti na ljudsko zdravlje najznačajnijih eksplozivnih materija i drugih hemijskih jedinjenja koja se mogu naći u UbS [5, 9].

Tabela 6
Table 6

Potencijalni toksični efekti eksplozivnih materija i drugih jedinjenja na ljudski organizam
Potential toxic effects of explosives and other compounds on the human body

Kontaminant	Hemijski sastav	Potencijalna toksičnost/Efekti
TNT	2,4,6-trinitrotoluen $C_7H_5N_3O_6$	Moguće kancerogen, jetra je najugroženija, iritacija kože, katarakta
RDX	1,3,5-trinitro-2,4,6-triazacikloheksan	Moguće kancerogen, problemi sa prostatom, problemi nervnog sistema, mučnina, povraćanje. Rezultati ispitivanja životinja ukazuju na potencijalna oštećenja organa
HMX	1,3,5,7-tetranitro-2,4,6,8-tetraazaciklooktan	Studije ispitivanja životinja ukazuju na potencijalno oštećenje jetre i centralnog nervnog sistema
Pentrit	Pentaeritritol tetranitrat $C_5H_8N_4O_{12}$	Iritacija očiju i kože; inhalacija uzrokuje glavobolju, slabost i pad krvnog pritiska
Tetril	2,4,6-trinitrofenil-N-metilnitramin $C_7H_5N_5O_8$	Kašalj, zamor, glavobolja, iritacija očiju, gubitak apetita, krvarenje iz nosa, mučnina i povraćanje.
Tetrazen	$C_2H_6N_{10}$	Dovodi se u vezu sa profesionalnom astmom; izaziva iritaciju i grčenje, toksičan za jetru, iritira i oštećuje oči, izaziva srčane smetnje, nizak pritisak, razaranje bronhijalne mukozne membrane, edem pluća, smrt.
DEGDN	Dietilenglikol dinitrat $(C_2H_4NO_3)_2O$	Meta su bubrezi; mučnina, nesvestica, bol u predelu bubrega. Uzrokuje akutnu bubrežnu insuficijenciju.

Kontaminant	Hemijski sastav	Potencijalna toksičnost/Efekti
Dinitrotoluen	$C_7H_7N_2O_4$	Može uzrokovati methemoglobinemiju, anemiju, leukopeniju, nekrozu jetre, vrtoglavicu, zamor, nesvesticu, slabost, mučninu, povraćanje, nesanicu, drhtavicu, paralizu, bol u grudima, otežano disanje, lupanje srca, anoreksiju i gubitak telesne težine.
Nitrogvanidin	$CH_4N_4O_2$	Nema podataka o karcinogenom dejstvu na ljude i životinje. Specifični toksični efekti nisu dokumentovani.
Difenilamin	N,N-difenilamin $C_{12}H_{11}N$	Iritacija sluzokože i očiju; čista supstanca ima malu toksičnost, ali onečišćen može sadržavati 4-bifenilamin koji je potencijalno kancerogen
N-nitrozodifenil-amin	$C_{12}H_{10}N_2O$	Potencijalno kancerogen
Ftalati	Različiti	Uočeno pojačanje toksičnog polineuritisa kod radnika koji su bili izloženi dibutilftalatu
Amonijum nitrat	NH_4NO_3	Nagli pad krvnog pritiska; zujanje u ušima sa glavoboljom i vrtoglavicom; mučnina i povraćanje; kolaps i koma
Nitroglicerin (Glicerol trinitrat)	$C_3H_5N_3O_9$	Iritacija očiju, pad krvnog pritiska, glavobolja i kolaps
Olovo azid	N_6Pb	Glavobolja, razdražljivost, slabljenje memorije, poremećaj sna, potencijalno oštećenje mozga i bubrega, anemija
Olovo stifnat	$PbC_6HN_3O_8 \bullet H_2O$	Utiče na centralni nervni sistem, imunološki sistem i bubrege. Izaziva bolove u mišićima i zglobovima, slabost, rizik od visokog krvnog pritiska, gubitak apetita, grčevi u stomaku, mučnina.
Živin fulminat	$Hg(OCN)_2$	Nije pouzdano dokazana kancerogenost; izaziva konjunktivnu iritaciju i svrab; trovanje živom izaziva drhtavicu, oticanje ruku, nogu, obraza i nosa praćeno gubitkom kose i ulcerom; teški grčevi u stomaku, proliv, krvarenja i nekrozu gastrointestinalnog trakta, šok i cirkulatorni kolaps, slabosti bubrega
Beli fosfor	P_4	Uticaj na reproduktivnu sposobnost. Oštećenje jetre, srca i bubrega; smrt; kožne opekotine, iritacija grla i pluća, povraćanje, grčevi u stomaku
Perhlorati	ClO_4^-	Izloženost izaziva svrab i bol. Ingestija može izazvati gastroenteritis sa bolom u stomaku, mučninu, povraćanje i dijareju; zujanje u ušima, vrtoglavicu, povišen krvni pritisak, zamagljen vid i drhtavicu. Hronični poremećaji mogu uključivati metaboličke poremećaja štitaste žlezde

Uticaj sastojaka ubojnih sredstava na životnu sredinu

Kao i u pogledu uticaja na zdravlje ljudi, uticaj hemijskih jedinjenja na životnu sredinu, kao posledica upotrebe ili uništavanja UbS, zavisi od više faktora: toksičnosti samog jedinjenja, puta kojim jedinjenje dolazi do receptora, koncentracije kojoj je receptor izložen i reakcije određenog receptora na jedinjenje. Svako specifično mesto zahteva procenu potencijalnog štetnog uticaja na okolinu da bi se razumeo način na koji određeni ekosistem omogućava sastojcima UbS da dođu do potencijalnih receptora. Krajnji receptori mogu da obuhvate ne samo životinjske vrste već i njihova staništa, uključujući kopneni i vodeni biljni i životinjski svet.

Istraživanja ekoloških efekata komponenata UbS do sada nisu sprovedena sveobuhvatno i sistematski. Procena graničnih koncentracija najčešćih sastojaka UbS izvedena je ekstrapolacijom na osnovu rezultata istraživanja u literaturi toksičnih efekata na sličnim biljnim i životinjskim vrstama. Malo ovih podataka se dobija na osnovu posmatranja realnog sveta životne sredine, već se zaključci izvode na osnovu laboratorijskih istraživanja toksičnosti sastojaka UbS.

Na osnovu različitih podataka iz literature u tabeli 7 sumirani su potencijalni neželjeni efekti ovih jedinjenja na okolinu, a pre svega na divlje životinje [5].

Tabela 7
Table 7

Potencijalni efekti eksplozivnih jedinjenja na životnu sredinu
Potential effects of explosive compounds on the environment

Kontaminant	Potencijalni toksični i ekološki efekti
TNT	Biljke mogu preuzeti TNT iz zagađenog zemljišta, uključujući i jestive sorte vrtnih biljaka, vodenih i močvarnih biljaka i drveća. Mužjaci životinja, tretiranih velikim dozama TNT-a, imali su ozbiljne reproduktivne probleme, znake akutne toksičnosti – ataksiju, tremor i blage konvulzije.
RDX	Neke studije zaključuju da se RDX ne vezuje u ribama i ljudima. Javne zdravstvene procene zaključuju da usevi ne akumuliraju RDX i da su bezbedni za ljudsku upotrebu. Pored toga, studije na nekim drugim vojnim objektima, kao i laboratorijska istraživanja, ukazuju da jeleni i goveda ne akumuliraju RDX u svom tkivu. Međutim, istraživanja pokazuju da RDX preuzet od strane biljaka iz kontaminiranih zemljišta može ugroziti divlje životinje – biljojede.
HMX	Zaključak istraživanja je da nije poznato da li biljke, ribe ili životinje koje žive u kontaminiranim područjima akumuliraju određeni nivo HMX u tkivima. Nije poznato da li HMX može izazvati rak ili reproduktivne probleme kod životinja.
Pentrit	Razvijeni su pokazatelji procene toksičnosti za životinje – sisare, a studije toksikoloških efekata na laboratorijskim životinjama korišćene su za utvrđivanje referentnih toksičnih vrednosti za divlje životinje koje uključuju gubitak težine, krvni pritisak i bolesti disajnih organa.

Kontaminant	Potencijalni toksični i ekološki efekti
Tetril	Identifikovani su negativni efekti na biljne i životinjske vrste. Nije poznato da li se tetril akumulira u ribama, biljkama ili kopnenim životinjama, niti da li prouzrokuje kancerogenost i probleme razmnožavanja divljih životinja. Razvijeni su pokazatelji toksičnosti za sisare.
Tetrazen	Nema podataka
DEGDN	Nema podataka
2,4-Dinitrotoluen	DNT se može preneti na biljke preko korena putem zagađene vode ili zemljišta. Životinje izložene visokim nivoima DNT imaju umanjenu reproduktivnu sposobnost. Kod životinja je takođe uočeno smanjenje crvenih krvnih zrnaca, oštećenje nervnog sistema i jetre, kao i rak jetre i bubrega.
Difenilamin	Nema podataka
Ftalati	Nema podataka
N-nitrozo difenilamin	Vodeni organizmi apsorbuju N-nitrozodifenilamin ali ne dolazi do akumulacije u njima. Nije poznato da li ga kopnene životinje i biljke preuzimaju i skladište u sebi. Ispitivanja na životinjama su identifikovala nivo izloženosti koje mogu da izazovu smrt. Kod životinja kojima su u ishrani davani visoki nivoi N-nitrozodifenilamina tokom dužeg vremenskog perioda, došlo je do oticanja, pojave raka mokraćne bešike, kao i promene telesne mase.
Amonijum nitrat	Nema podataka
Nitroglicerin (Glicerol trinitrat)	Efekti na sisarima uključuju kardiovaskularne smetnje, smanjenje mase, kao i oštećenje jetre, krvi i reproduktivne probleme.
Olovo azid	Nema podataka
Olovo stifnat	Nema podataka
Živin fulminat	Nema podataka
Beli fosfor	Dokazano je da su čestice belog fosfora, koje su dospele do sendimenata na dnu plitkih jezera, kao posledica vojne obuke sa belim fosforom, visoko otrovne.
Perhlorati	Nema podataka
Nitrogvanidin	Nema podataka

Studije klijavosti semena i rasta, sprovedena na više zemaljskih biljaka, utvrdile su različite pragove fitotoksičnosti na eksplozivne i druge komponente UbS. Neke biljke (na primer, ovas) pokazale su tako visoke tolerancije za TNT, zbog čega su razmatrane kao potencijalne biljke za bioremedijaciju zemljišta kontaminiranog TNT-om.

Zaključak

Cilj rada bio je da se sagledaju i analiziraju moguće posledice procesa demilitarizacije i uništavanja UbS na zdravlje ljudi i životnu sredinu. U tom pogledu najveću opasnost predstavljaju NUS kojih još ima na više lokacija u našoj zemlji.

Pri uništavanju UbS oslobađaju se teški metali i toksični gasovi koji mogu zagaditi vazduh, vodu i zemlju. Pored toga, mnogi sastojci UbS, pre svega eksplozivne i druge hemijske materije, imaju štetno dejstvo na zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Sa ekološkog aspekta, najnepovoljnije metode uništavanja UbS su detonacija i spaljivanje na otvorenom prostoru, pa je zato neophodno u svakom pojedinačnom slučaju uništavanja obavezno sagledati ekološki aspekt i razmotriti mogućnost primene drugih metoda koje mnogo manje ugrožavaju životnu sredinu.

Literatura

[1] Jeremić, R., Dimitrijević, R., *Neki aspekti rešavanja problema neeksplodiranih UbS*, Novi glasnik, 3/2006.

[2] Alverbroa, A. i dr., *A life cycle assessment of destruction of ammunition*, Journal of Hazardous Materials, 170, str. 1101–1109, 2009.

[3] Dimitrijević, R., Jeremić, R., *Ispitivanje nekih detonacionih osobina malodimnih baruta*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 45, No. 1, pp. 37–49, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 1997.

[4] Vuruna, M., Antonović, D., *Migracija dizel goriva izlivenog u površinske slojeve zemljišta,* Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 53, No. 5, pp. 451–460, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2005.

[5] *Handbook on the Management of Munitions Response Actions*, United States Environmental Protection Agency, Washington, 2005.

[6] Mitchell, J W. i dr., *Improving the Environmental safety of munitions disposal by OB and OD,* Proceedings of the Fifth Global Demilitarization Symposium and Exhibition, Reno, NV, May, 1997.

[7] Mader, C. L., *Numerical modeling of Explosives and Propellants*, CRC Press, New York, 1998.

[8] Duijm, J. N., Markert F., *Assessment of technologies for disposing explosive waste*, Journal of Hazardous Materials, Vol. 90, 2/2002, str. 137–153.

[9] Anđelković-Lukić, M., *Sinteza i fizičko-hemijske karakteristike eksploziva HNIW (CL-20),* Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 57, No. 2, pp. 86–94, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2009.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE DEMILITARIZATION AND DESTRUCTION OF ORDNANCE

FIELD: Chemical Technology

ARTICLE TYPE: Professional Paper

Summary

In the last ten years, the Serbian Army has been facing the problem of surplus of various ordnance, which resulted from the changes in the organizational structure and rationalization. In addition, at several locations in Serbia there is still a large amount of unexploded ordnance remaining after the NATO bombing. The paper examined the environmental aspects of the destruction of surplus ammunition and unexploded ordnance. A brief survey of the methods of destruction and the technolo-

gical conditions for their implementation are presented. The impact of toxic constituents of ordnance on human health and the environment is analized in particular. In order to minimize environmental risks during the demilitarization process of ordnance, appropriate proposals are given.

Introduction

The Serbian Army is faced with the problem of surplus munitions and the presence of UXO at many locations. The nature of hazards and potential harmful effects of these munitions on human health and the environment are explained.

Basic characteristics of EO and the locations where it can be found

The locations where munitions can be found are listed, their conditions in different situations are briefly explained as well as the dangers posed by munitions depending on their current state. The chemical and corrosion processes leading to the impairment of ammunition quality are briefly explained as well as the parameters that affect them.

Methods of the destruction of munitions

Different methods of explosive ordnance disposal and the basic conditions for their implementation are presented. The parameters that influence the selection of methods and the criteria that must be analyzed in the choice of destruction methods are explaned.

Environmental impact analysis

The toxic products of the destruction of munitions are described in correlation with the applied method. A spreadsheet gives the literature results of toxic products emision for different methods of destruction.

Impact of ammunition constituents on human health

The so far investigated toxic effects of explosives and other chemical compounds found in explosive ordnance on human health are specially explained as well as their possible consequences.

Impact of ammunition constituents on the environment

This part describes the so far observed toxic effects of constituents of explosive ordnance on the environment, especially wildlife.

Conclusion

From the environmental aspect, the greatest danger comes from UXO, and the least favorable methods of UXO destruction are open burning and detonation.

Key words: *environment, ordnance, demilitarization, destruction of ordnance, toxic effects*

Datum prijema članka: 17. 03. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 24. 07. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 25. 07. 2011.

14. MEĐUNARODNA KONFERENCIJA ICDQM-2011 (PRIKAZ ZBORNIKA RADOVA)

Pokorni J. *Slavko*, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, Beograd

OBLAST: menadžment, telekomunikacije, pouzdanost
VRSTA ČLANKA: prikaz

Rezime:

U ovom prikazu date su osnovne informacije o ukupnim rezultatima, značaju, međunarodnom programskom odboru i oblastima rada Međunarodne konferencije upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM. Detaljnije je prikazana ovogodišnja 14. konferencija ICDQM-2011 i 2. konferencija upravljanje i inženjerstvo životnog ciklusa, koja je održana pod istim nazivom ICDQM-2011. Dati su broj i struktura radova i prikazani radovi pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane Republike Srbije u plenarnim saopštenjima i sekcijama: inženjerstvo kvaliteta, inženjerstvo pouzdanosti, konkurentno inženjerstvo sistemsko inženjerstvo, vojno inženjerstvo, i neprekidno unapređenje kvaliteta. Skoro pola ovih radova svrstano je u sekciju vojno inženjerstvo.

Ključne reči: *kvalitet, pouzdanost, inženjerstvo, konferencija, prikaz.*

Od 29. do 30. juna 2011. godine, u Beogradu je održana 14. međunarodna konferencija upravljanje kvalitetom i pouzdanošću ICDQM-2011 (14th International Conference Dependability and Quality Management) i, istovremeno są njom, 2. međunarodna konferencija upravljanje i inženjerstvo životnog ciklusa (2nd Life Cycle Engineering and Management) pod istom oznakom ICQDM-2011 [1, 2].

Organizator konferencije je, kao i do sada [3], DQM istraživački centar (Istraživački centar za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću) iz Prijevora kod Čačka, čiji je osnivač akademik prof. dr Ljubiša Papić, redovni član Akademije za kvalitet Ruske Federacije i dopisni član Inženjerske akademije Srbije, koji je i predsednik međunarodnog programskog odbora obe ove konferencije.

U poslednjih deset godina od konferencije posvećene održavanju, svrstala se u međunarodnu naučnu konferenciju ICDQM, koja predstavlja forum za prezentovanje novih naučnih rezultata, razvojnih istraživanja i privrednih primena u oblasti inženjerstva kvaliteta, inženjerstva pouzdanosti, konkurentnog inženjerstva i inženjerstva sistema. Svake godine uspeva da promoviše i nove tematske konferencije. Do sada su u zbornicima ove konferencije publikovana 1.482 rada.

slavko.pokorni@its.edu.rs

Pokorni, S., 14. međunarodna konferencija ICDQM-2011 (prikaz zbornika radova), pp. 299–306

Oblasti ICDQM su veoma interesantne i značajne i za Vojsku Srbije, pa nije neobično što se svake godine pojavljuje značajan broj radova pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane (MO). Ovo je treća godina kako su radovi pripadnika Vojske Srbije izdvojeni u posebnu tematsku celinu *Vojno inženjerstvo*, čime se odaje priznanje kontinuitetu i značaju radova i učešća pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane Republike Srbije, a posebno pripadnika Vojne akademije (VA), koji su, po pravilu, najbrojniji na ovoj konferenciji.

Programski odbor ovogodišnje konferencije čini 29 naučnih radnika (13 iz Srbije, 4 iz Rusije, 3 iz Velike Britanije, po 2 iz Indije, Izraela, Kanade i Španije i jedan iz SAD). Za Konferenciju o inženjerstvu životnog ciklusa, gde se radovi objavljuju na engleskom jeziku, programski odbor čini 21 član, od koji su samo 2 iz Srbije, a ostali iz stranih zemalja.

Komisija ovog programskog odbora, od radova saopštenih na konferenciji, već tradicionalno, bira dva najbolja, jedan iz oblasti akademskih istraživanja i jedan iz oblasti primenjenih istraživanja u privredi, a autori primaju priznanje i nagradu na narednoj konferenciji. Ove godine, od radova saopštenih na prošloj, 13. konferenciji, u oblasti naučnih istraživanja nagrađen je **dr Sreten Perić**, iz Vojne akademije u Beogradu, za saopštenje „Održavanje prema stvarnom stanju tehničkih sredstava“, a u oblasti primenjenih istraživanja nagrađen je **Dragan Miladinović**, dipl. inž., iz RB „Kolubara“ iz Lazarevca, za saopštenje „Primena alata kvaliteta u procesu prodaje i utvrđivanja zadovoljstva korisnika u RB Kolubara – model unapređenja“).

Za konferenciju su štampana dva zbornika radova sa ukupno 141 radom (prošle godine 162), što je opet podvig organizatora ovog simpozijuma, jer većina drugih ne štampa zbornik radova, već ih radi samo na CD-u. Naravno, i ovde su radovi i na CD-u.

U zborniku radova “14th DQM International Conference Dependability and Quality Management ICDM-2010” (na srpskom jeziku) objavljeno je 100 radova (prošle godine 97), i to 3 plenarna sopštenja, 34 rada u sekciji inženjerstvo kvaliteta (Quality Engineering), 10 u sekciji inženjerstvo pouzdanosti (Reliability Engneering), 15 u sekciji konkurentsko inženjerstvo (Concurent Engineering), 27 u sekciji inženjerstvo sistema (Systems Engineering), 6 u sekciji vojno inženjerstvo (prošle godine 18), jedan u sekciji upravljanje znanjem i konkurentnost organizacije i 4 u sekciji neprekidno unapređenje kvaliteta.

U zborniku radova “2nd DQM International Conference Life Cycle Engineering and Management” (na engleskom jeziku) objavljen je 41 rad (prošle godine 65), od toga 6 plenarnih saopštenja, 8 u sekciji Quality Engineering, 5 u Reliability Engneering, 10 u Concurent Engineering, 9 u Systems Engineering i 3 u sekciji Knowledge management and competitiveness.

Zvanični jezici konferencije bili su engleski, ruski i srpski. Neki od domaćih autora su, zbog prisustva stranih autora, izlagali na engleskom, ili su prezentaciju pripremili na engleskom, a izlagali na srpskom, tako da su strani autori ipak mogli uspešno da prate njihova izlaganja.

Pripadnici Vojske odnosno Ministarstva odbrane Srbije imaju ukupno 14 radova, šo je dvostruko manje nego prošle godine, kada je bilo 28 radova, ali je na nivou prethodnih godina, kada je bilo 10–15 radova. Skoro u svim radovima autori su iz Vojne akademije, što ukazuje da se u ovoj akreditovanoj visokoobrazovnoj ustanovi kontinuirano i aktivno odvija naučnostraživački rad.

Navešćemo ukratko sadržaj radova pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane Republike Srbije, po tematskim oblastima Konferencije, redosledom kako su dati u zborniku radova, koji je štampan pre održavanja Konferencije.

Pripadnici Vojske i MO Republike Srbije, ove godine, nisu napisali nijedan rad na engleskom jeziku, za ICDQM (prošle godine su bila dva). Radovi u zborniku na srpskom jeziku su sledeći:

U klasi *plenarnih sopštenja* objavljen je jedan rad.

Dragan Pamučar, Boban Đorović, Vesko Lukovac, Srđan Ljubojević, Vojna akademija, Beograd,

Srđan Dimić, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd

Poređenje rangova alternativa u procesu višekriterijumskog odlučivanja

U radu je opisano vrednovanje i rangiranje varijanti organizacione strukture upravnih organa logistike u Vojsci Srbije. Vrednovanje je izvršeno primenom metoda višekriterijumske optimizacije TOPSIS, PROMETHEE 2, Fuzzy AHP i FLD metode. Predložene su četiri varijante organizacione strukture, a izbor optimalne varijante izvršen je u odnosu na osam kriterijuma. Kako različite višekriterijumske metode daju različite rezultate rangiranja, odstupanja među rangovima analizirana su primenom korelacione analize.

U tematskoj oblasti *inženjerstvo pouzdanosti* objavljen je jedan rad.

Dušan Ostojić, Ljubiša Tomić, Dragoljub Brkić, Tehnički opitni centar, Beograd,

Slavko Pokorni, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, Beograd

Obezbeđenje zahtevane pouzdanosti komunikacione mreže

U ovom radu prikazani su neki od rezultata dobijeni metodologijom za obezbeđenje i optimizaciju zahtevanog nivoa pouzdanosti složene komunikacione mreže. Ovu metodologiju razvili su autori rada i za nju uradili softverski paket na bazi simulacione metode Monte Carlo. Računarski program urađen je u programskom jeziku VISUAL BASIC 6.0.

U tematskoj oblasti *konkurentno inženjerstvo* objavljen je jedan rad:
Milan Mihajlović, Vojna akademija, Beograd,
Miloš Dašić, Visoka poslovna škola strukovnih studija, Blace

Menadžment znanja kao faktor povećanja efikasnosti organizacije

U radu se konstatuje da znanje danas predstavlja najvažniji resurs koji obezbeđuje konkurentsku prednost svake organizacije, zbog čega je neophodno adekvatno upravljanje ovim resursom. Organizacije se u uslovima savremenog poslovanja okreću znanju koje poseduju, da bi unapredile svoje poslovanje, donosile što efikasnije odluke i postigle što veću efikasnost i kvalitet poslovanja. Koncept menadžmenta znanja usmeren je direktno na poboljšanje efektivnosti i efikasnosti organizacije, kako bi uspešno predvidele i kreirale svoju poslovnu budućnost. To je jedini način da se izazovi i opasnosti nepredvidljivog poslovnog okruženja pretvore u šansu uspešnog poslovanja organizacije i na taj način ostvari konkurentska prednost. U radu se kratko navode glavne oblasti na koje treba obratiti pažnju prilikom uvođenja sistema menadžmenta znanja u jednoj organizaciji i na kraju zaključuje da vreme znanja ne počinje, već se dogodilo.

U tematskoj oblasti *inženjerstvo sistema* objavljena su 2 rada.
Milorad S. Markagić, Zoran M. Krsmanović, Vojna akademija, Beograd

Prisluškivanje telefonskih komunikacija

U rezimeu rada se konstatuje da današnja komunikacija između pojedinaca, preduzeća, multinacionalnih kompanija i državnih institucija obuhvata mnoštvo komunikacijskih sredstava, pri čemu sve veći primat preuzimaju bežična sredstva i vidovi komunikacije (mobilni telefon ili bežični internet). U radu se navode primeri prisluškivanja, analizira zakonska regulativa korišćenja prislušne opreme, zatim metode zaštite u telekomunikacionim mrežama i, na kraju, uređaji za prisluškivanje u GSM-u.

Vladimir Antić, Vojska Srbije, Beograd,
Slobodan Ilić, Vojna akademija, Beograd

Modeliranje i simulacija proizvodnih tehnoloških sistema zasnovanih na agentima

U radu je predstavljena simulacija proizvodnog tehnološkog sistema zasnovanog na agentima i osnovne informacije o agentnoj tehnologiji i na agentima zasnovanom modeliranju i simulaciji, koja se pojavila kao odgovor na složenost i velike troškove instalacije fleksibilne tehnološke ćelije, što je dovelo do potrebe da se pre jednog takvog procesa izvrši što realnija simulacija rada takve ćelije. Korišćenjem odgovarajućeg softverskog paketa, u ovom radu dizajniran je model jednog, na agentima zasnovanog višeagentnog sistema i simuliran proizvodni proces integrisan sa transportnim procesom.

U oblasti *vojno inženjerstvo* objavljeno je 6 radova pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane:

Saša Jović, Vojna ustanova Dedinje, Beograd,

Branko Tešanović, Slaviša Arsić, Vojna akademija, Beograd

Komparacija kvaliteta hrane u oružanim snagama SAD i Vojsci Srbije

U radu se konstatuje da standardi kvaliteta hrane u oružanim snagama SAD mogu poslužiti kao model rešenja kvaliteta hrane Vojske Srbije. Ukratko se predstavljaju dva standarda kvaliteta hrane oružanih snaga SAD: AR 40-657 i AR 40 – 660. Konstatuje se da Vojska Srbije nije usvojila međunarodne standarde kvaliteta hrane, te strana iskustva mogu doprineti formiranju budućih rešenja u ovoj oblasti.

Duško Bugarski, Vojna akademija, Beograd

Sistem menadžmenta zaštitom životne sredine (ISO 14001) i njegov značaj za Vojsku Srbije

U radu se konstatuje da je Međunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) od osamdesetih godina 20. veka počela da razvija takozvane generičke standarde sistema upravljanja od kojih su najpoznatiji i najkorišćeniji ISO 9000 koji se odnosi na menadžment kvalitetom i ISO 14000 koji se odnosi na menadžment zaštitom životne sredine, te da se sve više potencira primena porodice standarda ISO 14000 koji propisuje sistem poslovanja kojim se obezbeđuju ekološki standardi koji se donose i kada su u pitanju proizvodi, procesi proizvodnje, ambalaža i slično. Tvrdi se da je sve više razloga za uvođenje i primenu standarda ISO 14000, jer ljudi sve veću pažnju posvećuju pitanju zaštite životne sredine a organizacije koje imaju uveden sistem menadžmenta zaštitom životne sredine ISO 14001 ostvaruju određene interne i eksterne ciljeve. Ti ciljevi posebno dolaze do izražaja u organizacijama čija se poslovna delatnost svrstava u potencijalne zagađivače životne sredine. Primenom ISO 14001 organizacija stvara uslove za dobijanje integrisane ekološke dozvole.

Miroslav Terzić, Gorazd Zavodnik, Ratomir Đokić, Vojna akademija, Beograd

Prilog povećanju efikasnosti i efektivnosti katedre taktike vojne akademije

U radu su predstavljeni organizacija i zadaci Katedre taktike i uopšteno su date mogućnosti povećanja efikasnosti i efektivnosti Katedre taktike Vojne akademije, u skladu sa teorijom liderstva i menadžmenta.

Pokorni, S., 14. međunarodna konferencija ICDQM-2011 (prikaz zbornika radova), pp. 299–306

Nebojša Dragović, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd,
Marko D. Andrejić, Ilija Kajtez, Vojna akademija, Beograd

Društveno-ekonomski ambijent i njegov uticaj na srpsku odbrambenu industriju

U rezimeu rada se konstatuje da je jedan od osnovnih problema naše ekonomske realnosti u tome što se, za razliku od inostranih „investitora“, još uvek pod istim uslovima institucionalno ne favorizuju i naši privredni subjekti za koje je evidentno da predstavljaju strateški potencijal daljeg ekonomskog, odnosno sveukupnog razvoja Republike Srbije. Zato je, kao cilj rada, uzeto da ukaže na značaj makroekonomske politike i institucionalne podrške u kreiranju kvalitativnog razvoja srpske odbrambene industrije, s obzirom na njenu izvoznu poziciju. Na osnovu kritičkog prikaza makroekonomske politike predloženi su zaključci u kojima se ukazuje na potrebu institucionalne podrške srpskoj odbrambenoj industriji, kao i drugim strateškim izvoznicima, čime bi se doprinelo stabilnom funkcionisanju i daljem privrednom razvoju Republike.

Dejan Nikolić, Vojska Srbije, Beograd,
Marko Andrejić, Marjan Milenkov, Vojna akademija, Beograd,
Borislav Vukičević, Ministarstvo odbrane Bosne i Hercegovine, Sarajevo

Opšti model za praćenje i ocenu efektivnosti i efikasnosti sistema logističke podrške

U radu su analizirani nedostaci postojećeg načina kontrole funkcionisanja logističke podrške i predložen model ocene efikasnosti i efektivnosti menadžmenta logistike.

Goran Župac, Vojna akademija, Beograd,
Slavko Pokorni, Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije, Beograd,
Milić Milićević, Vladimir Ristić, Vojna akademija, Beograd

Modeli odlučivanja u procesu izbora projekata u vojsci

U rezimeu se konstatuje da nedostatak sredstava u vojnim organizacijama onemogućava realizaciju svih predloženih projekata, pa je neophodna njihova ocena i izbor projekta koji će se realizovati. U radu su predstavljene metode koje se najčešće koriste za ocenjivanje i izbor projekata za realizaciju, kao što su modeli odlučivanja i matematički modeli. Pošto je vojska neprofitabilna organizacija, izbor projekata realizuje se najčešće metodom ocenjivanja na osnovu unapred određenih i vrednovanih kriterijuma.

U sekciji neprekidno unapređenje kvaliteta objavljena su 2 rada:

Milorad Markagić, Vojna akademija, Beograd

Primena kriptografije za napad na informacijske mreže, personalne računare i komunikacione sisteme

U radu se konstatuje da se razvojem društva, tehnološkim razvojem komunikacionih sredstava i sve masovnijom upotrebom računara u naučne, društvene, lične i državne svrhe razvijaju i maliciozni programi koji nastoje da prisluškuju, unište ili oštete komunikacione mreže i sisteme, te da se kriptografija, kao nauka o zaštiti tajnosti podataka, može koristi i za borbu protiv svih oblika zloupotrebe informacionih tehnologija. Rad predstavlja pokušaj da se sagledaju mesto i uloga zloupotrebe kriptografije u svrhu napada na komunikacione mreže i sisteme, kao i kratak osvrt na moguću zaštitu od njih.

Biljana Ivanova, Vojna akademija, Beograd,

Lidija Barjaktarović, Univerzitet Singidunum, Beograd,

Novica Conić, Marko Andrejić, Vojna akademija, Beograd

Rizici poslovanja u namenskoj industriji

U rezimeu rada se konstatuje da je, zbog dinamičnosti namenske industrije, budućnost uvek neizvesna i poslovni subjekti moraju preuzeti određeni rizik. Rizika ima onoliko koliko i mogućih situacija ili događaja. Svaki potez može rezultirati gubitkom. Rizici poslovanja obuhvataju sve rizike sa kojima se poslovni subjekti suočavaju. Upravljanje rizicima u namenskoj industriji nameće multidisciplinarni pristup, kako bi se svi procesi sagledali u potpunosti. Da bismo se zaštititi od rizika i upravljali njime na način da se minimiziraju potencijalni gubici, potrebno je iznaći odgovarajuća rešenja kojima će se upravljati na takav način da se svedu na prihvatljivu meru. Za menadžment rizika je nužno da angažuje sve potencijale društva kako bi namensku industriju učinili ekonomski racionalnom u što većem stepenu.

Na kraju, može se konstatovati da je ove godine ukupan broj radova na ICDQM 2011 za oko 13% manji nego prethodne, ali je broj radova pripadnika Vojske i Ministarstva odbrane Republike Srbije upola manji. Pozitivno je što se i dalje nastavlja tendencija saradnje autora iz vojske sa autorima iz drugih institucija. Treba dodati da su, kao i prethodnih godina, na Konferenciji učestvovali i izlagali radove, uključujući i plenarna izlaganja, i drugi, nekadašnji pripadnici Vojske, koji su, zbog smanjivanja vojske, odlazili iz vojske po potrebi službe, ali sada rade u visokoobrazovnim institucijama u civilstvu. Međutim, zbog obima ovog prikaza, njih nismo predstavili, osim ako su bili koautori na radovima sa pripadnicima vojske.

Pokorni, S., 14. međunarodna konferencija ICDQM-2011 (prikaz zbornika radova), pp. 299–306

Literatura

[1] ICDQM 2011, 14. međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću, 29–30. jun 2011, Beograd, Srbija, zbornik radova, ISBN 978-86-86355-05-8, COBISS.SR-ID 184399116

[2] ICDQM 2011, 2nd International Conference Life Cycle Engineering and Management, June 29–30, 2011, Belgrade, Serbia, Proceedings, ISBN 978-86-86355-06-5, COBISS.SR-ID 184392716

[3] Pokorni, S., *13. međunarodna konferencija ICDQM 2010, prikaz naučnog skupa*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 59, No. 1, pp. 149–159, ISSN 0042'8469, UDC 623+355/359, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd, 2011.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEPENDABILITY AND QUALITY MANAGEMENT ICDQM-2011 (PROCEEDINGS REVIEW)

FIELD: Management, Telecommunications, Reliability
ARTICLE TYPE: Review

Summary:

The basic information about the overal results, significance, international programme committee and working areas of the International Conference on Dependability and Quality Management ICDQM is presented. There are more details about this year's 14th ICDQM-2011 and 2nd International Conference on Life Cycle Engineering and Management, which was held under the same acronim ICDQM-2011. The number and structure of the papers are given as well as the review of the papers presented as plenary lectures by the participants from the Armed forces and the Ministry of Defense of the Republic of Serbia in the following sections: Quality Engineering, Reliability Engineering, Concurrent Engineering, Systems Engineering, Military Engineering, and Continuous Quality Improvement. Almost a half of these papers are in the Military Engineering Section.

Key words: *quality, reliability, engineering, conference, review.*

Datum prijema članka: 06. 07. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 07. 09. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 08. 09. 2011.

TREĆI INTERNACIONALNI KONGRES SRPSKOG DRUŠTVA ZA MEHANIKU (PRIKAZ ZBORNIKA RADOVA)

Đurković P. *Vlado*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra vojnomašinskog inženjerstva, Beograd

OBLAST: mehanika
VRSTA ČLANKA: prikaz

Rezime:

Dat je prikaz radova i događanja na Trećem kongresu mehanike održanom od 5. do 8 jula 2011. na Vlasinskom jezeru – Vlasina. U radu su prikazane sekcije po oblastima primenjene mehanike i dat je prikaz predavanja po pozivu.

Dat je i prikaz radova čiji su autori iz Ministarstva odbrane (MO), koji su aktivno učestvovali u radu Kongresa. Na kraju je održana skupština Srpskog društva za mehaniku i izabrano rukovodstvo koje će voditi Društvo u narednom periodu.

Ključne reči: *kongres primenjene mehanike, mehanika čvrstog tela, opšta mehanika, interdisciplinarna i multidisciplinarna mehanika, mehanika fluida.*

Organizator Kongresa

Kongres je organizovalo Srpsko društvo za mehaniku (SDM) pod pokroviteljstvom Ministarstva za nauku i prosvetu Republike Srbije. Jedan od primarnih ciljeva Srpskog društva za mehaniku jeste da:

- poveže istraživače i praktične inženjere u područjima teorijske i primenjene mehanike sa akcentom na uvođenju savremenih metoda proračuna čvrstoće, ispitivanja, numeričkih metoda i svim domenima proračuna iz područja čvrstih tela, mehanike fluida, teorijske i primenjene mehanike kao i interdisciplinarnih oblasti nauke;
- pomaže članovima SDM u naučnom i profesionalnom uzdizanju i obrazovanju;
- pomaže članovima SDM da se povežu sa istraživačima u određenim domenima mehanika i uspostave saradnju sa drugim tipovima organizacija;
- pomaže publikovanje naučnih radova i knjiga, časopisa i drugih publikacija. SDM ima svoj časopis Theoretical and Applied Mechanics;

vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs

Đurković, V., Treći internacionalni kongres Srpskog društva za mehaniku (prikaz zbornika radova), pp. 307–311

- obezbedi saradnju sa Inženjerskom komorom Srbije (i drugim sličnim organizacija);
- podrži i organizuje naučne manifestacije u zemlji i inostranstvu, publikuje naučne radove i druge publikacije značajne za članove SDM.

Program Konferencije

Od 5. do 8. jula 2011. godine održan je na Vlasinskom jezeru Treći međunarodni srpski kongres teorijske i primenjene mehanike (The 3rd (28th Yu) [1, 2, 3].

Program konferencije realizovan je kroz:

- 5 plenarnih izlaganja (1. S. C. Sinha, A. Gabale: Reduced order models fot analysis and control of nonlinear systems with periodic coefficients; 2. Mihailo Lazarević: Stability of fractional order time delay systems; 3. Alexander P. Seyranin: Interaction of eigenvalues with applications in mechanics and physics; 4. Miroslav Živković: Numerical methods in fracture mechanics; 5. Rade Vignjević, James Campbell: Brief review of development of the smooth particle hydrodinamics (SPH) method);
- 4 sekcije (A-General Mechanics, B-Fluid Mechanics, C-Mechanics of Solid Bodies, D-Inetrdisciplinary and Multidisciplinary Problems) i
- 2 tematska mini simpozijuma (Mini-sumposium M1, Computational Biomechanics, Organizer: Nenad Filipović i Mini-sumposium M2, Nonlinear Dynamics Milutin Milanković, Organizer: Katica Stevanović Hadrih).

Na skupu je bilo prijavljeno 137 radova, koji su štampani u knjizi apstrakata koja je bila na raspolaganju autorima radova na samom kongresu. Na kongresu su bili zastupljeni autori (za plenarna predavanja ili za same radove) iz više od 15 zemalja. Posle kongresa (najkasnije do kraja septembra 2011.) biće štampan zbornik radova autora koji su prezentovali radove na samom kongresu.

Dana 7. jula 2011. godine održana je Skupština Srpskog društva za mehaniku (SDM). Na predlog predsednika SANU akademika Nikole Hajdina, za predsednika i kopredsednika SDM ponovo su izabrani Stevan Maksimović (Vojnotehnički institut, Beograd) i Tomislav Igić (Građevinski fakultet, Niš).

Treba istaći da je na ovom kongresu, za razliku od prethodnog kongresa mehanike koji je održan na Paliću 2009. godine, bio prisutan znatno veći broj mlađih istraživača. Opšta je ocena da su na samom skupu saopšteni rezultati istraživanja, od kojih značajan broj zaslužuje da bude publikovan u referentnim časopisima sa SCI liste.

Određen broj radova sa ovog skupa biće razmatran za publikovanje u časopisu Scientific Technical Review. Treba istaći da su predstavnici MO-VTI (Ivana Ilić, Marija Blažić i Marko Bojanić) u okviru organizacionog odbora, svojim angažovanjem, doprineli da skup bude ocenjen kao dobro organizovan.

Učešće pripadnika Ministarstva odbrane

Pripadnici MO dali su značajan doprinos Kongresu, kako brojem radova, tako i aktivnim učešćem. Od ukupno 137 radova izloženih u 4 sekcije, 14 radova (oko 10,29%) bilo je iz MO, i to po sekcijama:

- B - Fluid Mechanics, od 12 prijavljenih radova 2 su bila iz MO:
    1. B-05, D. Jerković, S. Ilić, A. Kari, D. Regodić, Influence of aerodynamic coefficient on the stability of the classic axis-symmetrical projectile,
    2. B-08, M. Kozić, S. Ristić, M. Puharić, B. Katavić, Comparison of euler-euler and euler-lagrange approach in numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill;
- C-Mechanics of Solid Bodies, od 65 prijavljenih radova, 8 je bilo iz MO:
    1. C-05, M. B. Blažić, K. Maksimović, Y. Assoul, Determination of stress intensity factors of structural elements by surface cracks,
    2. C-06, M. Bojanić, Stability analysis of layered composite panels by finiteelements,
    3. C-07, S. Boljanović, S. Maksimović, A. Carpinteri, Numerical modeling of semi-elliptical crack growth under cycling loading,
    4. C-08, I. Čamagić, N. Vasić, Z. Burzić, P. Živković, Z. Vasić, Application of fracture mechanics parameters for welded joints usability testing,
    5. C-11, J. Dautović, S. Đurković, V. M. Madić, One method of experimental determining of torsion moment on shaft by non-contact mesurment,
    6. C-14, P. Elek, V. Džingalašević, S. Jaramaz, Determination of determination products equation of state using cylinder test,
    7. C-20, I. Ilić, M. Đurić, Numerical simulation of mechaniccaly fastened joints by finite elements,
    8. C-31, S. Maksimović, I. Vasović, M. Maksimović, M. Đurić, Residual life estimation of damaged structural components using low-cycle fatigueproperties;
- D-Inetrdisciplinary and Multidisciplinary Problems, od 15 prijavljenih radova, 4 su bila iz MO:
    1. D-02, Z. Gajić, S. Mandić, M. Milošević, S. Stojković, Determination of minimal roll rate of gyro-stabilized rocket,
    2. D-03, S. Mandić, V. Vukmirica, S. Stojković, Guided earth to earth missile impact point dispersion due to commercial imu mesurement errors,

Đurković, V., Treći internacionalni kongres Srpskog društva za mehaniku (prikaz zbornika radova), pp. 307–311

3. D-04, M. Milošević, D. Živanić, V. Đurković, Optimization of launching cadences from self-propelled multiple launchers,
4. D-15, D. Živanić, V. Đurković, S. Jovančić, Analyzing methods for the responses of the launching system subjected to the stochastic excitation caused by wind.

Održana su i dva tematska mini simpozijuma:

- Mini-sumposium M1, Computational Biomechanics, Organizer: Nenad Filipović, sa 7 radova i
- Mini-sumposium M2, Nonlinear Dynamics Milutin Milanković, Organizer: Katica Stevanović-Hadrih, sa 19 radova.

Zaključak

Kao i prethodnih godina, učešće pripadnika MO i Vojske Srbije na ovom značajnom skupu potpuno je opravdano, a cilj je postignut. Pored saopštavanja rezultata istraživanja, vođena je plodna diskusija u kojoj su sagledani problemi, razmenjena mišljenja i iskustva i razmatrana mogućnost rešenja iznetih problema.

Ponovo se potvrdilo da izlaganje radova na ovakvom i sličnim skupovima, kako međusobno tako i sa naučnim radnicima iz zemlje i inostranstva, i iz drugih naučnih i obrazovnih institucija svakako ima pozitivan uticaj na naučni i stručni nivo rada u vojsci. Takođe, utiče i na stručno i naučno usavršavanje kako istraživača u opitnim centrima i institutima tako i nastavnika, te podiže kvalitet nastave na osnovnim i poslediplomskim studijama u Vojnoj akademiji.

Može se zaključiti da saradnja pripadnika Vojske i MO sa pripadnicima drugih institucija u rešavanju i istraživanju problema iz organizacije i naučno-tehničkim pristupom potvrđuje otvorenost Vojske za angažovanje drugih lica i institucija na rešavanju problema u oblasti odbrane, ali i spremnost i sposobnost pripadnika sistema odbrane da se angažuju na rešavanju problema u civilnim institucijama.

Literatura

[1] Program and Time Table, IConSSM 2011, The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake (Serbia), 5–8 July 2011

[2] Proceeding of Abstract, IConSSM 2011, The 3rd International Congress of Serbian Society of [3] Mechanics, Vlasina Lake (Serbia), 5–8 July 2011

[3] http://www.ssm.org.rs

THE THIRD INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SERBIAN SOCIETY OF MECHANICS (PROCEEDINGS REVIEW)

FIELD: mechanics
ARTICLE TYPE: Review

Abstract:

This paper gives an overview of the papers and events at the Third Serbian Congress of Theoretical and Applied Mechanics, held at Vlasina Ifrom 5th to 8th July 2011.The sections dealing with specific areas of applied mechanics are presented and an overview of Invited lectures is given.

The papers of the authors from the Ministry of Defence (MoD), who actively participated at this Congress, are presented in particular. At the end of the Congress, the Assembly of the Serbian Society of Mechanics was held and a new executive committee was elected.

Key words: *congress of applied mechanics, solid body mechanics, general mechanics, interdisciplinary and multidisciplinary mechanics, fluid mechanics.*

Datum prijema članka: 06. 09. 2011.
Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 07. 10. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 08. 10. 2011.

PRIKAZ MONOGRAFIJE „OPASNE MATERIJE“ AUTORA VLADE RADIĆA

Gaćeša N. *Nebojša*, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Medija centar „Odbrana“, Vojnotehnički glasnik, Beograd

OBLAST: hemijske tehnologije
VRSTA ČLANKA: prikaz

Sažetak:

U članku je dat prikaz monografije „Opasne materije“, autora Vlade Radića. Ova monografija predstavlja zaokruženu celinu svih opasnih materija i na saznajno prihvatljiv način prikazuje osnovne pojave, stanja i odnose. Ovako koncipirana knjiga o opasnim materijama sažetak je specifičnih oblasti hemije i toksikologije, fizike i nuklearne fizike, elektronike, biologije, ekologije, medicine i prava. Ukazuje da rad sa opasnim materijama zahteva izuzetnu stručnost, odgovornost i disciplinu, što omogućava izbegavanje povreda i situacija opasnih po život i zdravlje, budući da u sistemu odbrane postoji širok dijapazon sredstava NVO, kao i drugih sredstava u kojima se koriste ili su prisutne opasne materije – eksplozivi, baruti, hemijska i biološka sredstva, zatim aparati, uređaji i instrumenti koji se zasnivaju na nuklearnoj tehnologiji (skeneri, magnetna rezonanca, radiološki aparati).

Ključne reči: *opasne materije, upravljanje rizikom, transport opasnih materija.*

U septembru 2011. godine objavljena je monografija pod naslovom OPASNE MATERIJE autora pukovnika dr Vlade Radića, dipl. inž. mašinstva. Pukovnik Radić je dugi niz godina jedan od najplodnijih autora Vojnotehničkog glasnika i dugogodišnji član Uređivačko odbora.

Monografija je izložena u sedam poglavlja: 1) definicija opasnih materija, 2) razvoj i upotreba eksplozivnih materija, 3) zapaljive materije, 4) radioaktivne materije i energija, 5) razvoj i upotreba toksičnih materija, 6) razvoj i upotreba biološkog oružja, 7) označavanje opasnih materija.

Obim monografije je 310 strana, sa tabelama, slikama, dijagramima i literaturom.

nebojsa.gacesa@mod.gov.rs

Opasne i štetne materije su neminovan pratilac savremenog vremena. Neke su poznate vekovima, neke su pronađene relativno skoro, nekima se karakteristike poboljšavaju i danas, a deo njih pored vojne ima i mirnodopsku primenu. Naravno, eksplozivne, zapaljive, radioaktivne, toksične materije i biološki agensi, po svojoj prirodi, predstavljaju opasne i štetne materije. Njihova proizvodnja, primena, promet, skladištenje i transport definisani su posebnim zakonima, uputstvima i režimima, a rad sa tim materijama dozvoljen je samo školovanim i osposobljenim specijalistima.

Rad sa opasnim materijama praćen je rizicima većeg ili manjeg intenziteta, zavisno od vrste i karakteristika opasnih materija, različitih aktivnosti i znanja. Relativno česte akcidentalne situacije sa opasnim i štetnim materijama upućuju na potrebu prepoznavanja rizika i primenu odgovarajućih mera i postupaka za njihovo minimiziranje. Budući da se većina rizika u savremenom društvu ne smanjuje, nameće se potreba za pouzdanom procenom, odnosno efikasnom kontrolom i upravljanjem nad njima. To nije nimalo lako, jer se rizik ne može posmatrati kao trenutni čin, događaj ili kratkotrajno stanje. Stvarna pojava nekog rizika, obično, predstavlja poslednju kariku složenog niza uzroka i posledica povezanih u lanac događaja, koji može započeti postupkom, situacijom ili dešavanjem i ne mora imati nikakvu vidljivu vezu sa krajnjim ishodom. Uostalom, dok se za neke rizike može sa velikom sigurnošću pretpostaviti da će se dogoditi, za druge je to teško. Otuda i problem tzv. verovatnoće rizika, odnosno procene mogućnosti prerastanja neke opasnosti u konkretan rizik. Pojavila se i posebna disciplina koja se bavi procenom mogućnosti pojave rizika i njegovih posledica (Risk Assessment). Ona je relativno uspešno razvila metode identifikacije, kontrole i upravljanja onim rizicima kod kojih je jasna mogućnost njihove pojave.

Životna sredina je poslednjih nekoliko decenija pod negativnim uticajem zastarelih i prljavih tehnologija, trke u naoružanju, ratnih dejstava, terorističkih aktivnosti, što osetno narušava biološku ravnotežu i ugrožava život ljudi. Svedoci smo učestalih nuklearnih akcidenata i hemijskih havarija, saobraćajnih udesa i nezgoda u drumskom, železničkom, vazdušnom i pomorsko-rečnom transportu opasnih materija. Mnogobrojne sirovine, nusproizvodi, međuproizvodi i finalni hemijski proizvodi nose određene rizike u pripremi, transportu i manipulaciji, što predstavlja veliku opasnost i može da dovede do nesagledivih posledica. Stoga, intenzivna proizvodnja i transport opasnih materija zahtevaju strateška rešenja u prevenciji i upravljanju rizicima.

Oblast opasnih materija ima istorijsku podlogu koja upućuje na potrebu upoznavanja sa tim materijama, njihovim svojstvima, kao i posledicama koje se mogu desiti slučajno ili namerno. Posebno treba napomenuti da se znanja vezana za opasne materije moraju sticati kroz permanentnu edukaciju tokom profesionalnog rada. Opasne materije su predmet nacionalnih i međunarodnih propisa, pravila i procedura, kao i mno-

Gaćeša, N., Prikaz monografije „Opasne materije“ autora Vlade Radića, pp. 312–315

gobrojnih naučnih i stručnih skupova širom sveta i njihova aktuelnost ne prestaje. One su deklarisane ujednačenim definicijama i podelama i deo su zakonske regulative po pitanju proizvodnje, označavanja, transporta, upotrebe, prometa i skladištenja.

Opasne materije u svetu tretiraju se u mnogobrojnim dokumentima, posebno u onim koji se odnose na transport. Razne organizacije i institucije izučavaju pojedine aspekte opasnih materija, pa su opšte poznati priručnici, zbirke propisa, uputstva, mere predostrožnosti koje se propisuju za drumski, železnički, pomorski (rečni) i vazdušni transport. U odnosu na navedene vrste transporta, poznati su propisi RID (za transport železnicom), ADR (za drumski transport), ADN (za rečni transport), ADNR (za rečni transport rekom Rajnom), IMDG (pomorski transport) i ICAO (za vazdušni transport).

Transport opasnih materija je specifična oblast koja zahteva primenu određenih procedura s ciljem obavljanja bezbednog transporta i sprečavanja eventualnih akcidentalnih situacija i stanja opasnih po ljude i životnu sredinu. Zakon o opasnim teretima, koji je usvojen u Skupštini Republike Srbije i stupio je na snagu, propisuje uslove, postupke, mere i načine transporta opasnih materija, odgovornost fizičkih i pravnih lica, kao i kaznene mere u slučaju nepridržavanja i izazivanja opasnosti.

Monografija predstavlja zaokruženu celinu svih opasnih materija i na veoma korektan i saznajno prihvatljiv način prikazuje osnovne pojave, stanja i odnose, bez pretenzije za suviše uskim, detaljnim i naučno orijentisanim pristupom. Formule i izrazi u određenim poglavljima dati su u konačnom obliku, bez izvođenja. Svi podaci u tabelama sumarno prikazuju određene karakteristike opasnih materija, a slike uz tekst samo su pomoć u lakšem razumevanju određenih pojava, stanja i dešavanja. Na kraju je priložen opširan spisak literature koja može poslužiti kao dopunski izvor za sticanje i produbljavanje specifičnih znanja.

Prepoznatljivim načinom izlaganja, pukovnik Radić uspeo je da približi ovu materiju širokom krugu zainteresovanih, učenika, studenata i stručnjaka koji su svakodnevno uključeni u procese sa opasnim materijama – od proizvodnje, rukovanja, manipulacije (utovara, istovara, skladištenja) do transporta.

Imajući u vidu potrebu da se ova oblast prati, analizira i izučava u sistemu odbrane, preporuka je da se uvrsti u nastavne planove Vojne akademije ili kurseve usavršavanja na poslediplomskim studijama. U sistemu odbrane, kao što je poznato, postoji širok dijapazon sredstava NVO, kao i drugih sredstava u kojima se koriste ili su prisutne opasne materije – eksplozivi, baruti, hemijska i biološka sredstva, zatim aparati, uređaji i instrumenti koji se zasnivaju na nuklearnoj tehnologiji (skeneri, magnetna rezonanca, radiološki aparati), pa je briga o zdravlju i životnoj sredini izdignuta na veoma visok nivo. Stoga, navedena monografija predstavlja značajan edukativni materijal za svakodnevni rad.

Treba naglasiti da je ovako koncipirana knjiga o opasnim materijama samo sažetak specifičnih oblasti hemije i toksikologije, fizike i nuklearne fizike, elektronike, biologije, ekologije, medicine i prava. Rad sa opasnim materijama zahteva izuzetnu stručnost, odgovornost i disciplinu, što omogućava izbegavanje povreda i situacija opasnih po život i zdravlje. Takođe, svi zakoni, uredbe, pravilnici i standardi kojima se reguliše rad sa opasnim materijama, njihova upotreba, promet i transport predstavljaju materijal čije izučavanje ne prestaje dobijanjem određenog proizvoda ili realizacijom jednog ili više transporta. Tim pre, specifične izraze, pojmove i definicije treba shvatiti kao deo sveukupnog korpusa znanja koje se stiče i dopunjava u kontinuitetu.

Monografiju su recenzirala tri eminentna stručnjaka iz pojedinih oblasti, tako da njen kvalitet i upotrebnu vrednost određuju njihove pohvale i ocene.

REVIEW OF THE MONOGRAPH
HAZARDOUS MATERIALS BY VLADO RADIC

FIELD: Chemical Technology
ARTICLE TYPE: Review

Summary:

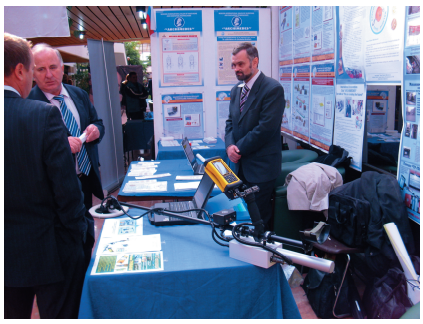
The paper presents the monograph Hazardous Materials by Vlado Radic, a comprehensive overview of all hazardous substances. This book on hazardous materials treats basic phenomena, conditions and relations in a comprehensible way. Thus conceived, it offers summaries of specific areas in chemistry and toxicology, physics and nuclear physics, electronics, biology, ecology, medicine and law. The monograph emphasizes the utmost importance of professionalism, responsibility and discipline while dealing with hazardous materials in order to avoid injuries as well as life and health threatening situations since a defence system comprises a wide range of weapons and military equipment as well as other items with dangerous goods such as ordnance, gunpowder, chemical and biological agents, devices, apparatuses and instruments based on nuclear technology (scanners, magnetic resonance, X-ray devices, etc.).

Key words: *hazardous materials, risk management, transport of hazardous materials.*

Datum prijema članka: 06. 10. 2011.
Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 08. 10. 2011.

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA
MODERN WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Georadar „mirador“



Na jubilarnom 25. Tesla festu 2011, međunarodnoj izložbi inovacija, pronalazaka i novih proizvoda, održanom od 12. do 15. oktobra 2011. u Poslovnom i sportskom centru SPENS u Novom Sadu, pored brojnih novih i još nedovoljno poznatih proizvoda kombinovane vojno-civilne namene, predstavljen je detektor metala (minoistraživač) „mirador” TR-GEO-04 (Ground-penetrating radar GPR). Proizvođač je kompanija Geologikal prospekting Rus. Ltd iz Moskve. Reč je o kombinovanom detektorskom uređaju koji poseduje sondu (radar) i druge komponente za detekciju metala i drugih predmeta ispod površine zemlje. Radom uređaja upravlja kompjuter tipa „nomad“.

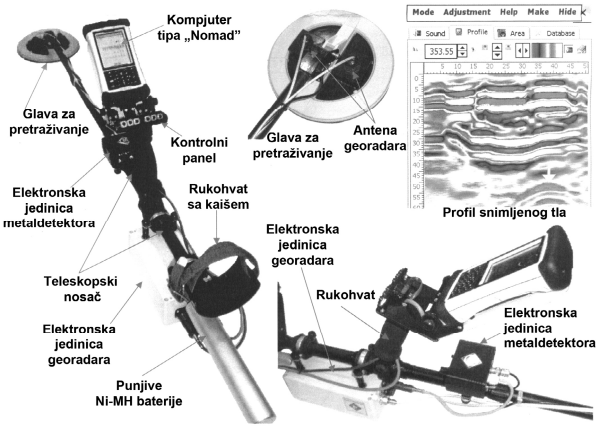
Pomoću ovog detektora mogu da se evidentiraju dielektrični objekti (koji ne sadrže metal), kao i šupljine ispod zemlje. Zbog toga je ovaj uređaj pogodan za traženje kablova, cevi od metala, ali i od plastike kao i drugih predmeta koji u sebi ne sadrže metalne delove. S obzirom na dvojnu (civilnu i vojnu) upotrebu, može uspešno da se koristi za brzo pronalaženje ukopanih mina i drugih eksplozivnih sredstava. Ovaj uređaj na ekranu prikazuje dvodimenzionalne i trodimenzionalne slike skeniranog dela zemljišta u vertikalnom preseku, koje se koriste za detaljno proučavanje. Radarska slika na ekranu omogućava da razlikujemo signale objekata prema obliku i tipu materijala, posebno prikazujući šupljine, iz čijeg se oblika se može zaključiti da li je reč o mini ili o eksplozivnom punjenju u plastičnoj kutiji, sa minimalnim sadržajem metala. Može se koristiti i za očitavanje položaja rasporeda gvožđa u armiranom betonu.

Princip rada zasniva se na emisiji impulsa elektromagnetnog signala preko emisione sonde (radara), koja stvara elektromagnetno polje. Impulsima vrtložne struje sondira se površina tla. Emitovani impuls prodire u tlo, a kada naiđe na predmet, signal se reflektuje i vraća u sondu. Primljeni povratni signal dolazi do kompjutera koji vizuelno kreira sliku preseka tla ili površine koja je skenirana. Kompjuter

obrađuje signal u dvodimenzionalnom obliku (2-D) kao presek ili trodimenzionalno (3-D). Obrađeni signali prikazuju se na ekranu laptopa. Obrada signala uključuje preliminarnu obradu, odnosno uzima u obzir uticaj neravnomernosti površine na direktan prenos signala, kao i neke druge dodatne obrade kao što su autokorelacije i algoritam za identifikaciju tipa predmeta. Na taj način otkriva dielektrične i metalne predmete veličine 5–7 cm, na dubini od 0,5 do 0,7 m u suvom zemljištu, odnosno na 0,1–0,3 metra u vlažnim ili do 0,1 m u vlažnim glinenim zemljištima. Dubina detekcije objekata sa niskim sadržajem metala iznosi 0,3 m. „Mirador“ detektor georadarskim pulsom može da detektuje objekte u terenu koji se razlikuju od njega po dielektričnim svojstvima ili po provodljivosti elektromagnetnih impulsa.

Prvi model mirador-TR-GEO-03 razvijen je početkom 21. milenijuma. Koristio je frekvencije spektra od jednog GHz i korišćen je za pretraživanje puteva i zgrada. Takođe je testiran za otkrivanje protivpešadijskih plastičnih i metalnih mina, prečnika do 10 cm. Ovaj detektor metala našao je primenu u razminiranju kao i u protivterorističkim akcijama, kada su teroristi pretili postavljanjem eksplozivnih naprava u javnim objektima. U sastavu njegovog kompleta nalazi se prenosni računar za obradu signala i vizuelizaciju rezultata. Ima detektorsku glavu (antenska jedinica) dimenzija 12x35x3 cm. Maksimalna dubina detekcije kreće se od 0,5 do jednog metra, zavisno od sadržaja vlage terena.

Budući da prosečna učestalost od 1 GHz nije dovoljna da otkrije plastične predmete manje od 3 do 5 cm, proizvođač je stoga razvio novi model mirador-2009, koji zrači impuls frekvencije 2,5–3 GHz.



Sastavni delovi detektora metala „mirador“

Georadar TR-GEO-04 poslednji je razvijen uređaj iz te serije. Emituje impuls sa prosečnom frekvencijom oko 1,5–2 GHz. Ta frekvencija omogućava detekciju na putevima, pa je deset primeraka ovog modela proizvedeno za montažu na vozilo, što omogućava skeniranje puta.

Upotreba je jednostavna. Antena (detektorska glava), koja je montirana na teleskopski štap, pomera se na maloj visini (oko 5 cm) iznad površine zemlje duž linije pretraživanja, u širini pojasa od približno jednog metra. Kada se kretanje antene završi, monitor prikazuje vertikalni poprečni presek terena uz skenirane linije. U

obrazloženju funkcionisanja navodi se da signal sa sonde sadrži dve osnovne oscilacije u pola ciklusa. Metalni objekti, odnosno oni koji imaju različit električni potencijal u odnosu na okolnu zemlju, identifikuju se po znaku prve oscilacije. Vertikalne preseke operator koristi za preliminarno gledanje. Snimanje signala u nekoliko linija duž površine omogućava prikaz horizontalne sekcije ili 3-D slike. Zvučni signal tokom skeniranja ukazuje na prisustvo objekta.

Kompjuter „nomad“

Kompjuter Trimble Nomad je mali smart uređaj, ali koji je, bez obzira na veličinu, veoma moćan ručni računar koji olakšava prikupljanje, čuvanje i prenos podataka sa brojnim ugrađenim mogućnostima. Pored toga, poseduje GPS prijemnik sa integrisanim aplikacijama za navigaciju te je u stanju da izračuna lokaciju korisnika. Pored toga, ima integrisan laserski skener bar koda, pojedine verzije imaju digitalnu kameru, sa blicem, od 5 megapiksela za snimanje u boji. Korisnik na snimku, pored geografske oznake slike, ima zabeleženu GPS lokaciju. Pored toga, može da snima video u KVGA formatu. Najnoviji tip ima serijsku oznaku „nomad 900“. Pomoću mrežnog interfejsa, nomad serije 900Ks može da se priključi i na terenu u AT & T mrežu. To je sertifikovani IP68 uređaj, izrađen po standardu MIL-STD-810F, sa oznakom da je zaštićen od prašine i vode. Koristi Windows Mobile 6.1 operativni sistem, preveden na deset jezika. Ekran nije osetljiv na sunčevu svetlost, odnosno slika je vidljiva i pri snažnom sunčevom osvetljenju, osetljiv je na dodir (touch screen) i prilagođen je za upotrebu u različitim vremenskim uslovima. Njegova masa iznosi 1,3 lb uključujući baterije. Napaja se punjivim litijum-jonskim baterijama 5000 mAH koje obezbeđuju do 15 časova upotrebe između napajanja. Procesor je KSScale 806 MHz, ima SDRAM memoriju od 128 MB, koja se može proširiti od 512 MB do 2 GB. To je jedan od najbržih procesora u operativnom sistemu Windows za prenosne uređaje na tržištu, sa optimizacijom za grafičke funkcije, ima napredno keširanje i veoma brz proces za ažuriranje sistema datoteka. Nema pokretnih delova, robusnih je performansi, upotrebljiv u ekstremnim temperaturama i ne podleže uticaju vibracija. Pored toga, ima integrisanu Bluetooth bežičnu vezu, tako da se lako povezuje sa Bluetooth uređajima, uključujući senzore, instrumente i druge interfejs uređaje. Može da se proširi funkcija sa CompactFlash (CF). Tip II slota za više uređaja ima slot za karticu Secure Digital (SD/SDHC), USB priključak za mobilni modem, a na njega se može priključiti i numerička tastatura.

Za povezivanje u bežičnu Nomad mrežu koristi SIM karticu.

U kompjuteru postoji algoritam za prepoznavanja klase objekta koji je uočen. Ovaj algoritam koristi bazu podataka sa evidencijom reflektovanih signala iz raznih vrsta površina. Automatskim upoređivanjem dobijenih signala sa snimljenim otiskom, tokom skeniranja po linijama, ili tokom dodatne obrade posle skeniranje površine, dobije se trodimenzionalni pregled skeniranog prostora ispod zemljine površine. Pri identifikaciji pronađenog objekta program će prikazati fotografiju iz baze podataka, radi procene pouzdanosti identifikacije, kao i oblike predmeta na vertikalnom ili horizontalnom preseku. To je posebno značajno kada se georadar koristi za otkrivanje protivpešadijskih mina, jer se time odmah dobija podatak o kojoj je mini reč. Prototip uređaja testiran je sa dva nova modela antipersonalnih plastične mina (PMN, PMN2).

Kompanija koja je razvila detektor metala „mirador“ ima u svom programu i višenamenski georadar „geoskop“ za geodetsko pretraživanje terena. Koristi širokopojasni superzvučni i video-impuls. Pogodan je za pretraživanje suvog i vlažnog peščanog terena, ilovače sa niskim sadržajem vlage, stenovitog i smrznutog tla. I ovaj detektor otkriva metale i dielektrične predmete i takođe može da identifikuje tip objekta koji skenira.

Nikola Ostojić

Nebesko oko – baloni umesto satelita

Za osmatranje iz vazduha, od početka novog milenijuma, mnoge vojske sveta koriste savremene balonske platforme. Takav sistem za osmatranja iz vazduha, pod nazivom TAS (Tactical Air Surveillance), odnosno bespilotni balon specijalno opremljen za osmatranje i izviđanje, proizvodi izraelska kompanije „Imidžsat internešenel”. U SAD se takvi baloni koriste za zaštitu granica od pokušaja nelegalnog prelaska, a teksaska policija je najveći korisnik ovakvih sistema. U Tajlandu se koristi za protivterorističke akcije u blizini granice.

Budući da se pune gasom lakšim od vazduha, to im omogućava da ostanu u vazduhu dugo vremena. Oni mogu imati i motore za pokretanje. U gondoli, smeštenoj ispod balona, nalazi se oprema za osmatranje (video-kamere visoke rezolucije, termovizijske dnevno–noćne kamere, radar i drugi senzori). Tu su i uređaji za vezu, odnosno releji za prenos signala, akumulatori za napajanje, GPS prijemnici, kao i uređaji za kontrolu leta balona, orijentaciju i navigaciju. U savremenim armijama i policijama, koje najčešće koriste ovakve balone, mnogi od ovih uređaja su tajna, s obzirom na primenjenu savremenu tehnologiju.

Amerikanci kod kuće, ali i u Avganistanu i Iraku koriste balonski PTDS sistem

Kamere, koje se postavljaju na gondolu, imaju mogućnost snimanja u krugu od 360 stepeni, pokretljive su po viisini i uveličavaju prema potrebi. Koristi se tehnologija sferne fotografije, u okviru postojećeg geografskog informacionog sistema. Sferna fotografija, pored ostalog, omogućava virtuelni prikaz prostora,

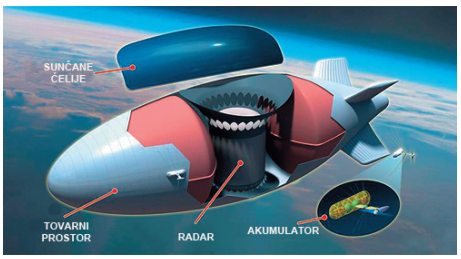
koji se ostvaruje pomoću savremenog softvera. Pored te tehnologije, u savreemenim svetskim sistemima osmatranja prostora koristi se tehnologija proširene stvarnosti (augmented reality), odnosno geografski i drugi podaci umetnuti u sliku snimljenu kamerom, tako da operater (koji preko naglavnog vizira ili na ekranu monitora) uvek ima pred sobom sliku predela koji kamera snima sa brojnim podacima o objektima koje vidi (u oblačićima iznad njih).

Baloni komuniciraju u taktičkoj mreži komandovanja ali su uvezani i u mrežu SIMNET, svetsku mrežu za pomoć u slučaju prirodnih katastrofa, elementarnih nepogoda i drugih okolnosti.

Posle dogovora postignutog u vezi sa sporom oko izraelskog satelita, Srbija je u avgustu 2011. godine dobila tri TAS sistema.

Amerikanci u Avganistanu i Iraku koriste još jedan sistem balona. Naravno, na manjim visinama. Za potrebe vojske „Lokid Martin“ je konstruisao PTDS sistem ([1]), namenjen za otkrivanje potencijalnih opasnosti, a zasniva se na balonskoj platformi nazvanoj 74K Aerostat. Na nju su smešteni višenamenski sistemi za dnevnu i noćnu detekciju pokreta u zoni operacija. Koristi se kao pomoć međunarodnim snagama koje su tamo angažovane, a funkcionalan je 24 časa.

Preko multisenzorskog sistema, ovaj osmatrački balon snabdeva američke obaveštajce podacima o pokretima snaga u zoni osmatranja, komunikacijama radio-vezom i mobilnim uređajima, kao i o drugim aktuelnim zbivanjima snimljenim kamerama visoke rezolucije. Sistemi koji se koriste za izviđanje, osmatranje i prikupljanje podataka u stanju su da otkriju i mine ukopane na putevima kojima je predviđeno da prođu multinacionalne snage. Pored toga, ovaj sistem koristi se i kao relej za održavanje veza međunarodnih snaga u Avganistanu i Iraku. Pod nazivom 420K Aerostat sistem, od 2004. godine koristi se u SAD za kontrolu granice (Persistent Border Security 420K Aerostat System), a u američkim vazduhoplovnim snagama namenjen je za daljinsko radarsko osmatranje (Teathered Aerostat Radar System TARS[2]). U američkoj pešadiji to je sistem za neposrednu borbenu podršku (Persistent Combat Support), odnosno funkcioniše u okviru komunikacione mreže snaga za taktičku podršku.



ISIS platforma za izviđanje na velikim visinama, takođe namenjena za Avganistan i Irak, počeće da se koristi 2014. godine

U Avganistanu i Iraku američka vojska je počela da proverava sistem nazvan ISIS (Integrisana platforma za izviđanje na velikim visinama[3]). Platforma je, u stvari, veliki balon, sa integrisanim senzorima. Napaja se strujom

[1] Lockheed Martin. **Persistent Threat Detection System**. Accessed August 28, 2010. http://www.lockheedmartin.com/products/PTDS/index.html &
Lockheed Martin. **Aerostat Systems Brochure**. Accessed August 28, 2010. http://www.lockheedmartin.com/data/assets/ms2/pdf/AerostatSystems.pdf

[2] http://www.defenseindustrydaily.com/Time-for-TARS-Along-USAs-Southern-Borders-04973/ (5 Sep 2011)

[3] http://www.flightglobal.com/news/articles/isis-poised-to-become-the-ultimate-eye-in-the-sky-360212/, ISIS poised to become the ultimate eye in the sky By: Stephen Trimble Washington DC; About a decade ago the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) conceived of a new kind of radar antenna (1 Aug 2011)

dobijenom preko solarnih panela. Balon je dugačak 450 metara, a postaviće se na visinu od 70.000 metara iznad zemlje, van dometa raketa zemlja–vazduh ivazduh–vazduh koje se koriste na avionima.

Predviđeno je da u stratosferi ostane da lebdi do 10 godina. Balon je napunjen helijumom Njegov zadatak jeste da prati zbivanja na terenu u krugu od 300 kilometara, odnosno da otkriva lansiranje raketa i da prati njihovo kretanje na prostoru većem od 600 kvadratnih kilometara. Multifunkcionalni senzori na ovom balonu moći će da prate kretanje vozila i kroz pošumljene predele.

Nikola Ostojić

Ajpod na bojnom polju

Mali smart kompjuterski uređaj ajpod (iPod) postao je sastavni deo opreme vojnika na bojnim poljima u Avganistanu i Iraku. Reč je o Apleovom ajpod tač (iPod touch) koji je dostavljen američkim vojnicima početkom 2010. godine na ispitivanje, radi usvajanja u standardnu opremu vojske. Taj uređaj ima izuzetno dobre preformanse i funkcije kada je u pitanju umreženo ratovanje (netware), jer ajpod na taj način ne samo da spaja vojnike već i oružja, na dva udaljena bojišta.

Apleov ajpod tač uređaj analizira podatke sa satelita, bespilotnih letelica, senzora, a može da se koristi u svrhu obaveštavanja stanovništva pomoću video-poruka u slučaju neposredne opasnosti u području zone borbenih dejstava. U ovaj mali računar integrisana je i tehnologija proširene stvarnosti (augmented reality), tako da korisnik, dodirom slike na kojoj je na primer ulica ili znaka koji označava neki objekat, putem mreže (koja je uvezana u satelitski sistem komunikacija) dobija naziv ulice, objekta, njegove karakteristike i druge taktičke podatke koji su mu potrebni. Takođe, može tako da dobije podatke o kvalitetu vode u lokalnim sredinama gde su inžinjerci proverili da li je upotrebljiva za piće. Aplikacije na ovom uređaju omogućavaju vojnicima slanje fotografija sa bojišta, na kojima se nalaze protivničke snage, što omogućava snagama za podršku (artiljeriji, avijaciji, protivtenkovskim helikopterima) da otvore vatru i neutrališu protivnički cilj. Može da koristi i biometrijske podatke za prepoznavanje lica iz baze podataka koja je dostupna preko kompjuterske satelitske veze.

Za sada se koristi u jedinicama mornaričke pešadije, a nakon ispitivanja i analize, razmotriće se mogućnost upotrebe u svim jedinicama. Postoje dva tipa ovog uređaja. Jedan je opremljen govornim i pisanim prevodiocima za arapski, kurdski i avganistanski jezik i naziva se „Vcommunicator". Taj uređaj omogućava primanje i slanje animiranih fotografija, što omogućava veoma lako špijuniranje neprijateljskih položaja, a i veoma laku raspodelu tog video-materijala.

Drugi uređaj „BulletFlight"[4] (u popularnom prevodu „leteći metak") je čisto vojna aplikacija koja se koristi kao balistički kalkulator. Ovaj balistički računar omogućava brze proračune elemenata koji su bitni za precizno otvaranje pešadijske vatre, posebno snajperistima, nišandžijama mitraljeza i drugih oružja. Podaci se odnose na dinamička rešenja u trenutnim vremenskim uslovima, a uključuju temperaturu, pritisak i vlažnost vazduha i brzinu i pravac vetra. Aplikacija daje veoma detaljne rešenja za ciljeve na daljini do 3.000 metara.

Proizvedeno je nekoliko profila koji se ugrađuju na poluautomatske puške M110, 14.5 inčni SR16, 50 BMG M107, .308 M40A3, .308 M24, kao i 6.5 mm. Poseduje i KAC kameru.

„Leteći metak" je izrađen u više verzija, lakša verzija, BulletFlt L1 – bazna verzija, srednja verzija, BulletFlt L2 za potpuno izračunavanja podataka, gde se unosi tačan opseg podataka o atmosferi, GPS podaci i vreme, na osnovu čega računar generiše niz tablica neophodnih za korišćenje u nestandardnim vremenskim uslovima.

Za razliku od drugih, BulletFlight vojna verzija daje dodatne mogućnost za izračunavanje putanje metka i brzine leta, kao i podatke koji utiču na stabilnost zrna u letu, određujući tzv. okretanje metka oko ose (Bullet spin) uvažavajući čak i uticaj efekata Zemljine rotacije (Coriolis efekt).

Apleov program za ajpod „leteći metak" verzija 3.1 ima više funkcija. Podešen je tako da ga mogu koristiti vojni snajperisti u Iraku i Avganistanu. Međutim, ima ugrađene profile za zajedničke vojne puške, a lako se mogu dodati i drugi korisnički profili. Poseduje bazu podataka za većinu municije koja se koristi u američkoj vojsci. Precizno izračunava podatke za municiju do 3000 metara. Funkcija – za brzo i precizno računanje balističkih podataka koristeći G1, G7, G8 standarde, ili balističke koeficijente.

Interfejs je lak za korišćenje a svi relevantni podaci prikazuju se na ekranu odjednom. Korisnički interfejs dizajniran je tako da minimizira mogućnost unosa greške. Ekran je moguće koristiti u dve varijante, kao jednostavan ekran sa menijima, ali i pun (Full) ekran na kojem mogu biti tačni podaci za opseg koji se koristi. Izlaz podataka je u inčima, CM, MOA, Mils standardima, kao i obim klikova kojima se aktiviraju aplikacije.

U programu postoji i opcija za metričke jedinice. U većini slučajeva obe vrste jedinica su vidljive u isto vreme. Izračunava jačinu vetra u miljama po satu ili metara u sekundi. Koristi GPS za pronalaženje najbliže meteorološke stanice i onda automatski dobija meteorološke podatke i nadmorsku visinu za balističko računanje. Ugrađeni akcelerometar detektuje ugao za poboljšanje tačnosti putanje zrna. To su samo neke od bitnih opcija koje izvršava ovaj ajpod, čija je primena započeta početkom 2010. godine. U 2011. godini dobio je svoju konačnu fizionomiju verzijom 4.0.0 koja ima aplikacije za izbor profila oružja kao i za izbor odgovarajuće municije.

Nikola Ostojić

[4] A ballistic computer designed to provide quick solutions in the field;
http://www.knightarmco.com/bulletflight/,
http://gizmodo.com/5156625/iphone-glove-battlemodo
http://www.thenorthface.com/catalog/sc-gear/etip-glove.html?parent_category_rn=
http://www.dotsgloves.com/ (10.10.2011)

Oklopljeni tablet računar algiz 7 i 8[5]

Otporni računari tipa notebok (laptop notes), izrađeni da izdrže pad sa visine, velike pritiske, uticaj različitih vremenskih prilika i elementarnih nepogoda, potrebni su vojsci, policiji, vatrogascima i svim drugima koji svoje poslove obavljaju na terenu u ekstremnim vremenskim ili zemljišnim uslovima. U nekim poslovima to su im omogućavali otporni PDA uređaji, a u nekim su korišćeni računari zaštićeni robusnim kućištem, koji se teško mogu nazvati laptopovi, već pre koferi.

Nekoliko proizvoda američke firme Handheld (HHCS Handheld USA Inc.), kao što su na primer algiz 7 i 8, predstavnici su nove klase prenosnih tablet računara.

Ovakvi uređaji zadovoljavaju stroge vojne standarde u pogledu otpornosti na vlažnost vazduha, vibracije, padove i ekstremne temperature.

Tablet algiz 7 predstavnik je nove generacije računara s potpunom zaštitom od fizičkih i atmosferskih smetnji. Proizveden je da bi se, pre svega, koristio pri radu na terenu. Pogodan je jer ima velik ekran osetljiv na dodir uz punu Windows funkcionalnost. U osnovi, to je računar snage naprednog netbooka, s ekranom osetljivim na dodir, dijagonale 7 inča, ali spakovan u zaštićeno vodootporno kućište.

U oklopu tog tableta nalazi se Intelov procesor Atom radnog takta 1,6 GHz. Njemu u radu pomaže 2 GB DDR2 RAM memorije, a za sistem i smeštanje podataka i aplikacija tu je hard disk sa 64 GB memorije, takođe otporan na udarce. Upotrebljena je SSD tehnologija koja doprinosi pouzdanosti ovog računara. Ima instaliran Windows 7 Ultimate.

U računar je ugrađena puna GPS podrška, a za povezivanje s drugim uređajima tu su Blu-tu, WiFi i 3G modem koji podržava tehnologije GSM, UMTS i EVDO. Može da se poveže sa drugim mobilnim uređajima što omogućava tehnologija Gobi 2000 WWAN. Tu tehnologiju razvila je firma „Kvalkom“ (Qualcomm) radi lakog dodavanja različitih bežičnih tehnologija u prenosive uređaje. Ovaj dodatak garantuje da će korisnik uvek moći da se poveže na druge mobilne uređaje zahvaljujući podršci za sve raspoložive bežične frekvencije.

Rad na terenu često obuhvata i vizuelno beleženje stanja ili skeniranje barkodova, pa algiz 7 ima ugrađenu kameru od nekoliko megapiksela, s LED lampicom. Za proširenja su na raspolaganju dobro zaštićeni USB i RS-232 priključci, a za povezivanje u lokalnu mrežu poslužiće LAN utičnica.

[5] Algiz 8 Manual Version 1.0; www.handheld.se, www.handheldeurope.com, www.handheldfinland.com (11.09.2011)

Napredak tehnologije

Koliko velikim koracima napreduje savremena vojna tehnologija uočava se na upoređivanju proizvoda od pre desetak godina sa novim proizvodima. Prethodna generacija prenosnih vojnih računara bila je robusna, oklopljena, najčešće se nosila na leđima ili u vozilu, što nije bio problem za artiljeriju, protivraketne ili oklopne jedinice. Međutim, u tom pogledu pešadijske jedinice su uvek bile hendikepirane. Bili su to uređaji od po desetak i više kilograma, sa povećim baterijama za napajanje. Digitalni uređaji za upravljanje borbenim dejstvima (Digital battle managment system) bili su mnogo veći.

Danas su to prenosni računari od jednog kilograma, sa mnogo većim i kvalitetnijim karakteristikama.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE ALGIZA 7

Veličina	242 x 144 x 40 mm
Masa	1,1 kg
Ekran	7", 1240X600 piksela
Procesor	Intel Atom Z530 1,6 GHz
RAM memorija	2 GB
Hard disk	64 GB SSD
Operativni sistem	Windows 7 Ultimate
Mrežni dodaci	Vajrles LAN 802.11 b/g/n za bežičnu vezu
	Integrisani Blu-tu v.2.0 + EDR
Ostali dodaci	Integrisani GPS Mediatek, WAAS/EGNOS
Mdul WWAN (Optional) Gobi™ 2000 na frekvencijama:	-HSDPA/UMTS 800/850/900/1900/2100 MHz -Quad-band EDGE/GPRS/GSM - 850/900/1800/1900 MHz -Dual-band EV-DO/CDMA - 800/1900 MHz

Algizom 7 upravlja se posredstvom ekrana osetljivog na dodir, prstom ili stajlusom (štapićem), a tu je i 10 tastera koji olakšavaju pomeranje kursora i odabir funkcija. Kada nešto treba otkucati, na raspolaganju je softverska QWERTY tastatura, a njena primarna namena jeste da omogući kucanje u veoma nepovoljnim uslovima. Masa uređaja je 1,1 kilogram, veoma se lako nosi, delimično i zahvaljujući posebnom rukohvatu. Ugrađene su dve baterije koje obezbeđuju do šest časova autonomije. Baterije mogu lako da se menjaju „u letu"; kada se jedna isprazni, druga radi, pa se rezervna sveža može umetnuti umesto prazne baterije i bez isključivanja. Zadovoljava strogi vojni standard MIL-STD-810G koji se odnosi na izuzetno veliku otpornost u vlažnoj atmosferi, otpornost na vibracije, padove i ekstremne temperature.

Algiz 8, drugi predstavnik ove vrste proizvoda, takođe poseduje maksimalne sposobnosti prenosnih računara i predviđen je za korišćenje u veoma rigoroznim uslovima. Izrađen je po najnovijim vojnim standardima koji se primenjuju u proizvodnji elektronskih uređaja za korišćenje do 2025. godine. Njegovu sposobnost rada ne mogu narušiti ni snažni udarci, vibracije i kondenzacija, on može sasvim pouzdano da radi i na temperaturi od -20°C do + 50°C.

Ovaj računar takođe ima procesor Atom 1.6 GHz, može da koristi 16-64 GB eksterni USB drajver ili hard disk od 60 GB, a ima radnu memoriju RAM od 1-2 GB. Na njemu je instaliran Windows XP Professional operativni sistem, poznat najvećem broju korisnika računara, poseduje kalendar, e-mail, Word, Excel i Power Point.

I ovaj računar ima integrisanu Blu-tu komunikaciju sa drugim perifernim uređajima, kao i 802.11b/g bežičnu vezu za komunikaciju preko lokalnih internet mreža, slanje i primanje i-mejlova i korišćenje interneta. Ima integrisanu 3G/GPRS podršku. Naravno, ima i ležište za SIM ili neku drugu vrstu memorijske kartice. PCI slotovi omogućavaju proširenje sa napretkom tehnologije, što pokazuje da je reč o proizvodu čiji je vek trajanja poduži. Uređaj ima i audio karticu sa izlazom na koji se mogu priključiti zvučnici kao i priključak za mikrofon, za audio-vizuelnu komunikaciju u mreži.

Ekran ovog računara je 8.4 inča SVGA TFT rezolucuije 1024 x 600 piksela, sa aktiviranjem komandi dodirom. Zaštićen je od uticaja jakog sunca i ostalih problema koje može da nametne okruženje u kojem se koristi. Kontrast i osvetljenje ekrana prilagođeni su korišćenju u raznim dnevnim uslovima, danju pod velikim sunčevim osvetljenjem a noću u mrklom mraku. Oklopljen je materijalom otpornim na udarce te je veoma pogodan za upotrebu u vojnim jedinicama na terenu, za specijalne i druge snage policije, servise za hitnu medicinsku, vatrogasnu ili drugu pomoć. Prilagođen je i za korišćenje u vozilima, avionu, helikopteru i svugde gde je prostor operatera skučen.

Ovakve računare mogu koristiti mehaničari pri popravljanju vozila ili mašine na terenu, šefovi timova u rudnicima, rukovodioci vatrogasnih ekipa ili grupa za pomoć ugroženom stanovništvu – a u vojsci komandiri borbenih jedinica, izviđački timovi, vezisti, kao i artiljerijski i drugi operateri za navođenje vatre. Nesumnjivo je da se ti uređaji mogu masovnije koristiti u svim vrstama borbenih jedinica kao sastavni deo sistema za digitalizovano upravljanje borbenim dejstvima, unapređujući njegovo funkcionisanje na taktičkom nivou.

Pomenuti tablet računari proizvode se u više varijanti. Na primer, imaju podlogu kojom se pričvršćuju za korišćenje u vozilu, na jahtama i brodovima. U šumskim uslovima, na snegu i ledu, kaišem se privezuje na butinu za rad u sedećem položaju u skučenom prostoru.

Postoji i industrijska verzija pod nazivom algiz 10, sa ekranom od 10,4 inča. Taj tablet proizveden je takođe po vojnom standardu MIL-STD-810F. Ima procesor Intel 1.2GHz Core Duo, hard disk od 80GB, RAM memoriju 2GB, WiFi, Blutu, kao i EDGE/GPRS radio. Litijumske baterije omogućavaju sedam časova neprekidnog rada. Ima modemsku karticu PCMCIA za vezu sa mobilnim uređajima. Na njemu je takođe instaliran Windows XP operativni sistem.[6]

Drugi tipovi vojnih tablet računara

Naravno, postoje i drugi tablet računari koji se koriste u specijalnim situacijama kao što je DRS's Dual Core (MRT), čija je upotreba usklađena sa taktičkim sistemom RVS-330 koji se nalazi u vojnom vozilu (JV-5). Koriste ga američka pešadija, mornarička pešadija i američko vazduhoplovstvo. Firma „Armel" takođe proizvodi vojni Roki 12 inčni tablet kompjuter (Rocky Military 12" & 8.4" Rugged Tablet Computers), iz TETRE dolazi Laki-XXS 12.1 inčni tablet (TETRA Light-XXS 12.1" Tablet PC Military version), Mobile grupa iz SAD proizvela je iX104C4M™ grubi vojni PC tablet, tu je i DRS oklopljeni vojni X10GX tablet. Među ovom vrstom proizvoda su i tableti iz firmi Gama Teč, DRS, Eksplore, Itroniks... Spisak bi bio poduži. Međutim, sve to pokazuje da je ova vrsta računara na dohvatu ruke vojnim starešinama i specijalcima u drugim službama, značajno olakšavajući donošenje odgovornih odluka.

Nikola Ostojić

Modernizacija vojske i mornarice Rusije[7]

Modernizacija ruske vojske odvija se pojačanim intenzitetom. U sledeće tri godine za opremanje Oružanih snaga Rusije biće usmereno skoro četiri triliona rubalja (130 milijardi dolara). Za 2012. godinu planirano je da se za kupovinu naoru-

[6] Ovi računari, kao i drugi proizvodi, predstavljeni su na konferenciji za štampu 9. februara 2010. godine u mestu Corvalis, u američkoj državi Oregon. Tom prilikom Dejl Kajle (Dale Kyle), predsednik firme Handheld US, rekao je: „Naši partneri očekuju od nas vrhunsku tehnologiju i mi im to možemo obezbediti. Ovo što nudimo unapredиće primenu ovakvih uređaja".

[7] *Glas Rusije*, 8. 12. 2011.

žanja, vojne i specijalne tehnike izdvoji 1,1 triliona rubalja (oko 40 milijardi dolara). Glavni zadatak je da za četiri godine u vojsci i u floti ima 30 odsto savremenog naoružanja i vojne tehnike. Do 2020. godine njihov nivo u Snagama opšte namene treba dovesti do 70 procenata, a u ruskoj nuklearnoj trijadi – do 80 procenata. Realizacija zadatka ovako velikih razmera već je počela i 2012. godine biće načinjen još jedan korak u ovom pravcu. Petina sredstava biće utrošena za raketno-nuklearni kompleks pošto je to najskuplje i tehnološki najsloženije i najvažnije naoružanje, koje odvraća svakog potencijalnog agresora. Preostali novac biće utrošen za kupovinu nadvodnih brodova, podmornica, avijacije, sistema PVO, operativno-taktičkih raketnih kompleksa kao što je „Iskander“. Novim borbenim avionima i sistemima PVO će značajno biti dopunjene ruske vojne vazduhoplovne snage. One treba da dobiju oko 60 novih i modernizovanih sredstava za protivvazduhoplovnu odbranu, uključujući komplekse S-400, radarske sisteme „Nebo-u“ i dalekometne raketno-topovske komplekse „Pancir-S1“. Takođe, na raspolaganje VVS treba da stigne oko 90 novih i modernizovanih aviona i helikoptera. U vojne vazduhoplovne snage stići će novi avioni Su-30 i MiG-29. Bombarderi Su-34 takođe će nesumnjivo pojačati borbenu moć VVS. Po svojim manevarskim mogućnostima i zadacima koje rešavaju, oni su bliski tipovima aviona koji spadaju u avijaciju velikog dometa. Su-34 može da preleti iz Moskve do Vladivostoka s dva dopunska točenja goriva u vazduhu. Piloti se pri tome neće zamarati zato što mogu da lete s automatskim pilotom. U jedinice će 2012. godine biti isporučeno do 10 bombardera Su-34.

Ruska ratna mornarica takođe se nalazi pred najvećim programom obnove i modernizacije od svog nastanka, a u ruskom budžetu za to je namenjeno 4,5 triliona rubalja, odnosno oko 150 milijardi dolara.

Jedna od atomskih podmornica iz serije „Borej"

Prošle godine je za izgradnju nuklearnih i dizel-podmornica i fregata i remont i održavanje flote potrošeno više od 85 milijardi rubalja (oko 280 miliona dolara), pokazuju podaci ruskog Ministarstva odbrane. Ministarstvo odbrane Rusije i brodogradilište „Sevmaš" u Severodvinsku potpisali su nedavno sedam ugovora za projektovanje i izgradnju atomskih podmornica serije „Borej" i „Jasenj", a vrednost posla iznosi 280 milijardi rubalja (oko 10 milijardi dolara). „Sevmaš" je jedino brodogradilište u Rusiji u kojem se grade podmornice na nuklearni pogon, a do sada su isporučili 128 podmornica. Rusija nije odustala ni od klasičnih dizel podmornica i do 2020. godine biće joj isporučeno 10 novih. One će predstavljati osnov ruske

pomorske moći tamo gde nuklearne podmornice ne mogu da operišu, u Crnom moru i na Baltiku. Što se tiče novih brodova, u "Severnom brodogradilištu" u Petrovgradu grade se četiri korvete, dve fregate i specijalni brod za vezu.

Podmornice klase „Borej“ su adut ruske mornarice

U izgradnji je korveta „Snalažljivi", koja će po svojim karakteristikama i borbenim osobinama prevazići slične brodove takve klase. Brod će posedovati ofanzivno raketno naoružanje i torpeda, kao i helikopter za borbu protiv podmornica. Nova tehnologija primenje u gradnji trupa omogućiće mu da za 25 odsto smanji otpor vode pri kretanju brzinom oko 30 čvorova. Trenutno, ruska ratna mornarica ima jedan nosač aviona „Admiral Kuznjecov", koji će ove godine biti van funkcije, jer će biti poslat na remont. Mada grandioznim planom obnove ruske mornarice nije predviđena gradnja još nekog nosača aviona, priprema projekta je već počela. Prema nekim najavama, 2018. godine trebalo bi da bude završen projekat novog „supernosača aviona", čija bi izgradnja trebalo da počne 2020. godine. Uporedo sa ovim projektom, Rusija planira i koji će avion biti osnova njenih mornaričkih jedinica.

Idejno rešenje novog aviona – Su-47

Pretpostavlja se da će to biti Su-47 Berkut – projekat ruskog perspektivnog palubnog lovačkog aviona.

Nebojša Gaćeša

Bespilotna avijacija za rusku armiju: sadašnjost i budućnost[8]

Prve bespilotne letelice „gruša“, namenjene za sakupljanje obaveštajnih podataka, stigle su u naoružanje Baltičke flote ruske armije. Kompleks je napravio ruski koncern „Ižmaš“. Prema mišljenju eksperata, kompleks „gruša“ odgovara svetskom nivou u kategoriji bespilotnih letelica mini klase. Njegove osnovne funkcije su izviđanje i osmatranje za male domete, u prečniku oko 10 kilometara. Novim bespilotnim letelicama biće opremljeni odredi morske pešadije i motorizovanih streljačkih odreda obalskih trupa Baltičke flote. U budućnosti se planira postavljanje istih sistema u sve jedinice flote. Uređaj ima raspon krila manji od metra i masu više od dva kilograma. Svojim video-kamerama uočava ljude na rastojanju do 500 metara, a sam ostaje nevidljiv zbog svetle boje i plastičnog korpusa kroz koji prolaze zraci radara. Ruski stručnjaci razvijaju i druge klase bespilotnih letelica. U mini klasu, u koju spada „gruša“, može da se uvrsti prototip kazanjskog preduzeća „Eniks“ sa varijantama sistema Elektron, zatim kompleks ZALA Lastočka kompanije, kao i porodicu uređaja „inspektor“ podmoskovske kompanije „Aerokon“. U taktičkoj klasi takođe postoji nekoliko bespilotnih sistema, među kojima je porodica „Dozor“ kompanije „Tranzas“. Ona je najviše napredovala u izgradnji taktičke klase bespilotnih letelica. U planu kompanije „Tranzas“ je izrada još krupnijih uređaja, mase više od 4 tone, a letelicu će praviti kazanjska kompanija „Sokol“.

Nebojša Gaćeša

Promašaj veka vojske SAD: „nevidljivi“ avion od 412 miliona dolara koji nije učestvovao u borbi[9]

Ono što je trebalo da bude ponos američkog ratnog vazduhoplovstva i najskuplji avion u istoriji vojske SAD pokazalo se po svoj prilici kao veliki promašaj. Iako je američko ratno vazduhoplovstvo koristilo avione F-22 raptor samo u probnim misijama, njihovi piloti doživeli su čak sedam velikih nesreća, a dvojica su poginula.

[8] *Glas Rusije*, 19. 12. 2011.
[9] *Blic,* 21. 12. 2011.

F-22 raptor: krila u obliku dijamanta

Kontroverzni borbeni avion F-22, koji je proizvela koporacija „Lokid Martin“, u upotrebi je od 2005. godine, ali zbog čestih kvarova nikada nije učestvovao u borbama i pored brojnih prilika u ratovima u Iraku, Avganistanu i Libiji. „Raptor“ je spoj najnaprednije „stelt“ tehnologije (nevidljivi avioni), najsavremenijih senzora, najboljeg raketnog naoružanja i – najozbiljnijih problema. Zbog njih je program i okončan, a poslednji primerak je iz fabrike u Marijeti, u državi Džordžija, izašao 13. decembra. Nedavno je objavljen izveštaj američkog ratnog vazduhoplovstva (USAF) o brojim mukama s „raptorom“. U novembru 2010. jedan F-22 srušio se severno od Enkoridža, Aljaska. Pilot je pokušao da spreči najgore, ali mu je prekinuto snabdevanje kiseonikom. Njegov avion se prevrnuo i udario u planinu, a pilot je poginuo. Bilo je i problema sa softverom koji je koristio, kao I sa lošim sistemom za odvođenje vode iz kokpita, zbog čega je korodirao čelik, a to je uzrok što je avion bio vidljiv na radarima. I pre pada aviona na Aljasci piloti su se žalili da im sistem za snabdevanje kiseonikom slabo radi, zbog čega su imali simptome kao što su vrtoglavica i slabost. Celokupna flota aviona F-22 zbog toga nije letela punih pet meseci, a i kada je zabrana leta ukinuta, istražitelji i dalje nisu nalazili odgovore na pitanje otkud kvarovi.

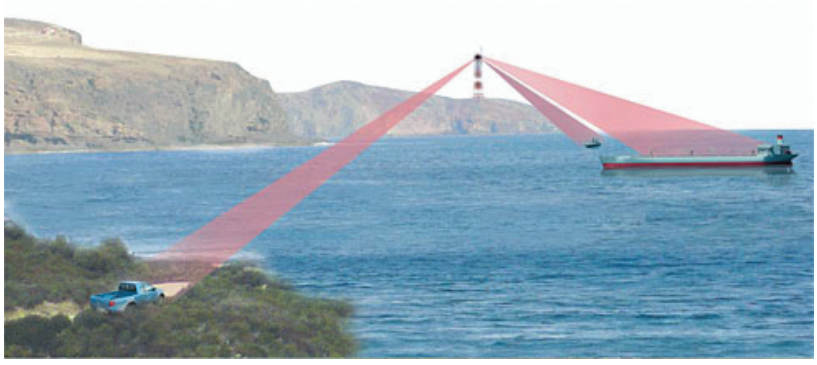
Dostiže brzinu veću od brzine zvuka bez upotrebe komore dogorevanja, što mu omogućava da leti brže i dalje

Prema izveštaju američkog ratnog vazduhoplovstva, od sredine septembra 2011, kada je zabrana ukinuta, zabeleženo je još 14 slučajeva problema pilota koji su možda bili uzrokovani nedostatkom kiseonika. Prema izveštaju USAF, svaki od ovih gizdavih aviona sa krilima u obliku dijamanta košta 143 miliona dolara. Ako se tome dodaju troškovi usavršavanja, istraživanja i razvoja, procenjuje se da svaki F-22 košta američke poreske obveznike 412 miliona dolara.

Nebojša Gaćeša

Prenosni radar za nadzor[10]

Kompanija „Cassidian“ je u 2011. godini pokrenula dva nova tipa iz svoje porodice Spexer radara aktivnog elektronskog skeniranog niza (AESA-Active Electronically Scanned Array), takođe poznatog kao radar sa aktivnim fazama u nizu, koji obuhvataju prenosivu verziju poznatu kao Spexer 1500 i verziju koja je optimizovana za priobalnu ulogu a naziva se Spexer 2000 Coastal. Oba sistema su u velikoj meri zasnovana na postojećem sistemu Spexer 2000, za koji kompanija Cassidian11 (ranije EADS Defense & Security) tvrdi da je prvi operativni kopneni radar AESA, sa 40 isporučenih sistema u funkciji obezbeđenja granice i još 100 u proizvodnji. Spexer 1500 je zapravo umanjena verzija sistema 2000 sa polovinom od 48 modula za primo-predaju signala. Sistem je prenosiv i dva operatora ga mogu lako instalirati, napajajući se ili iz sopstvenog izvora ili iz prenosnog generatora. Zrači relativno malu snagu od 7 W – što, prema saopštenju zvaničnika, gotovo uopšte ne smanjuje zonu pokrivenosti signalom skeniranja, ali obezbeđuje instrumentalizovani domet od oko 40 km. Poseduje automatsku klasifikaciju ciljeva i može detektovati bespilotne letelice (UAV; eng. unmanned aerial vehicle) refleksne površinesa od 0,2 m2 na 7 km i pešaka na 15 km. Projekat AESA takođe nudi veoma visoku rezoluciju Dopler-uređaja, što doprinosi smanjenju lažnih alarma i povećanju mnogostrukog otklanjanja smetnji povratnih signala na radarskom sistemu zbog lišća i talasa; u priobalnoj ulozi, Spexer 1500 može da otkrije cilj veličine manjeg broda sa radarskim presekom, to jest refleksnom površinom od 1,5 m2 na 16 km. Procesor radara Spexer 2000 Coastal je modifikovan u smislu otklanjanja smetnji po principu signal–buka (pre nego signal–smetnja) da bi se poboljšao učinak u priobalju. Navodno se radar tipa Spexer 2000 Coastal intenzivno isprobava i već je dokazao svoju sposobnost da prati manji brod i osobu koja skače preko palube i pliva ka obali.

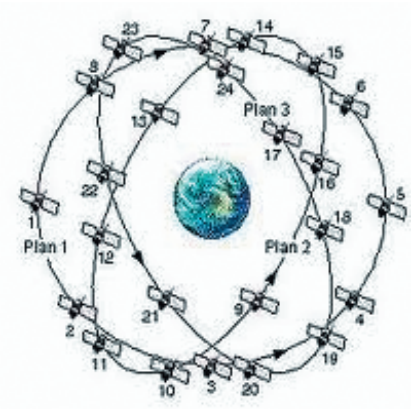


Nebojša Kljajić

[10] Izvor: Web sajtovi www.idr.janes.com i www.cassidan.com
[11] Kompanija „Cassidan“ je svetski lider u globalnim sigurnosnim rešenjima sistema; sa 28.000 zaposlenih u 2010.godini ostvarila je prihod od 5,9 milijardi evra.

Lansiranje ruskog satelita zaokružuje novi globalni navigacioni sistem[12]

Rusija je 3. oktobra 2011. lansirala svoj 24. globalni navigacioni satelit Glonass-M, obezbeđujući zemlju globalnim navigacionim i pozicionim satelitskim sistemom (GNPS); raketa „sojuz“ lansirana sa kosmodroma Pleseckaja uspešno je, 28. 11. 2011, uvela novi satelit „Glonass-M“ u odgovarajuću orbitu. Sistem će pokriti celokupnu rusku teritoriju (100%) i 99,5% planete, a prema federalnoj operativnoj agenciji zaduženoj za sisteme Glonass13, signal sa lansiranog satelita bio je na raspolaganju početkom novembra. Glonass-M je druga generacija ruskih GNPS satelitskih sistema i projektovan je kako za vojnu tako i za civilnu upotrebu. Svaki satelit može da bude operativan skoro sedam godina. Masa sistema je 1415 kg, dok je tačnost pozicioniranja oko 5 m horizontalno i 3,3 m vertikalno. Prema proizvođaču, kompaniji Information satelites Systems (Informacioni Satelitski Sistemi), do kraja 2011. godine Ruske svemirske snage trebalo je da lansiraju još tri satelita iz sistema tipa Glonass-M. U trogodišnjem periodu kompanija planira da proizvede čitav niz sistema tipa Glonass-K: treće generacije ruskih navigacionih satelita. Ovi sateliti imaće masu 800–900 kg svaki, biće operativni 10–12 godina, a tačnost pozicioniranja iznosiće 1 m. Prvi satelit tog tipa, Glonass-K1, lansiran je sa kosmodroma Pleseckaja 26. februara 2011. godine. Očekuje se da će drugi satelit tipa Glonass-K, poznat kao Glonass-K2, biti lansiran 2013–2014. godine. Istorijat sovjetskih/ruskih GNPS sistema datira iz osamdesetih godina 20. veka: Moskva je svoj prvi Glonass satelit poslala u orbitu u novembru 1982. godine. Godine 2001 broj ruskih satelita sistema Glonass smanjen je na šest, uglavnom zbog nedostatka finansijskih sredstava. Rusija je takođe izgubila tri satelita sistema Glonass u decembru 2010. godine, kada je raketa koja ih je lansirala skrenula sa svog kursa i izgorela.



Nebojša Kljajić

[12] Izvor: Jane's, DEFENCE WEEKLY izdanje 41, 12.10.2011 i web sajt www.glonass-center.ru
[13] Kompletne informacije o sistemu Glonass (vremeplov, koji se svakodnevno ažurira, o svim aspektima sistema Glonass) prezentovan je na javnim–zvaničnim i profesionalnim web sajtovoma:
a) zvanični–javni sajtovi: www.glonass-center.ru i www.glonass-iac.ru
b) profesionalni (autorizovani) web sajtovi: www.glonass-iac.ru i www.stat.gpsglonass-iac.ru

Usavršavanje helikoptera „Chinook“[14]

Američki „Boeing“ planira da poboljša sistem za ublažavanje udara kod helikoptera za prevoz teških tereta CH-47 Chinook u okviru širih napora za njegovu nadogradnju čiji je cilj nastavak njegovog korišćenja i do četrdesetih godina 21. veka. Detalji vezani za nadogradnju „Chinooka“, koje „Boeing“ planira da preduzme dvadesetih godina 21. veka, objavljeni su u magazinu Jane neposredno pre nego što je Chinook oboren tokom operacija blizu avganistanske granice sa Pakistanom 6. avgusta, kada je poginulo 30 američkih vojnika i osam Avganistanaca. Nadogradnja sistema za ublažavanje udara omogućiće da stajni trap helikoptera bolje absorbuje šok udara. Nadogradnju helikoptera „Chinook“ nadgledaće Projektni biro za modernizaciju novog vojnog helikoptera CH-47, čije je otvaranje bilo planirano za 30. avgust na lokaciji Redstone Arsenal u Alabami. Produžetak životnog veka helikoptera „Chinook“ postao je glavni prioritet američke kopnene vojske. Ne očekuje se da će potencijalna zamena ovog tipa helikoptera – varijanta novog helikoptera za prevoz teških tereta Joint Multirole (JMR) – biti u širokoj upotrebi još najmanje dve decenije. JMR je još uvek u ranim fazama planiranja. Međutim, generalni koncept jeste da se izgradi nova generacija varijanti helikoptera – laki, srednji, teški i ultra – koji se svi oslanjaju na naizmenična pogonska kola, lopatice rotora i ostale ključne delove da bi se smanjili lančani troškovi nabavke i snabdevanja. Osnovna letelica mogla bi da bude platforma napad/korisnost koja je podesiva u rasponu od varijante izviđačkog do varijante teretnog helikoptera. Ne očekuje se da će „teška varijanta“ JMR helikoptera biti spremna za implementaciju do 2035. godine, što znači da „Boeing“ treba da zadrži „Chinook“ sve dok novi helikopter ne bude u širokoj upotrebi do četrdesetih godina 21. veka. Pored poboljšanja sistema za ublažavanje udara kod helikoptera „Chinook“, kompanija „Boeing“ takođe planira nadogradnje da bi se poboljšala visina dizanja helikoptera i pojačala sposobnost njegovog opstajanja. Jedna od nadogradnji koja je već u fazi projektovanja dovešće do ugradnje novih lopatica rotora, što će omogućiti dizanje dodatnih 970,184 kg (2000 funti) tereta. Novi dizajn lopatica ima zašiljen vrh – a ne ravne ivice kao sadašnji – a takođe ima i zavoj u delu oštrice. Sledeća planirana nadogradnja koja se odnosi na sposobnost opstajanja helikoptera „Chinook“ bila bi ugradnja novih senzora i displeja u pilotskoj kabini kako bi se pilotima olakšala navigacija u uslovima slabe vidljivosti. Piloti helikoptera „Chinook“ koji su se vratili iz Avganistana i Iraka u više navrata su se obraćali kompaniji „Boeing“ u vezi sa opasnošću „degradiranog vizuelnog okruženja“, kao što su oblaci prašine koji dovode do ograničenja vidljivosti tokom sletanja.

Nebojša Kljajić

[14] Izvor: Jane’s Defene weekly, volume 48, issue 33, 17 august 2011

Nanotehnologija smanjuje težinu oklopnih vozila kompanije Deisenroth[15]

Objavljeni su novi detalji u vezi sa nanomaterijalima16 koje koristi kompanija IBD17 Deisenroth Engineering za izradu sklopova pasivnih oklopa koje trenutno isporučuje za serije oklopnih borbenih vozila (AFV) i aplikacije za ta vozila. Prema izvorima kompanije IBD na međunarodnoj konferenciji o oklopnim vozilima u Londonu u februaru 2011. godine, kompanija je uspela da udvostruči mehaničke osobine svojih čeličnih, keramičkih i kompozitnih oklopnih materijala korišćenjem poboljšanih mikrostruktura koje sadrže „najfinije čestice“, što omogućava konstruisanje tanjih ploča sa većom rastegljivošću i tvrdoćom i pruža „neuporedive višestruke mogućnosti“. Kao primer naveden je aluminijum-oksid (Al2O3), koji u svom standardnom obliku visokih performansi ima veličinu zrna od 2–10 μm; Vikers vrednost tvrdoće 1750 (HV 10), snagu savijanja 385 MPa i elastični modul 410 GPa. Poređenja radi, prioritetne nanokristalne verzije Al2O3 i silicijum-karbida (SiC/Al2O3), koje imaju veličinu zrna 50 odnosno 20 μm, pružaju vrednost tvrdoće veću od 3000, sa snagom savijanja 760/840 MPa i elastičnim modulima 680/900 GPa. Upotreba nanotehnologije takođe smanjuje težinu oklopa, jer je masa dodatnih ploča koje su potrebne radi povećanja zaštite osnovne strukture oklopa po STANAG-u18 4569/AEP 55 nivo 3 (protiv napada korišćenjem municije za probijanje oklopa AP 7,62x51 mm i artiljerijskih fragmenata 155 mm) tipično je 17 procenata niža korišćenjem nanometričkog čelika (površinska gustina 50 kg/m2) ili 47 procenata niža korišćenjem nanokeramike (površinska gustina 32 kg/m2). Kompanija IBD Daizenrot je već izumela sklopove oklopa za 22 armije i oni su postavljeni na 4500 vozila u Avganistanu. Jedan od najnovijih sklopova za aplikacije je za VAB oklopni transporter sa točkovima francuske vojske, koji pruža balističku zaštitu, kao i zaštitu od improvizovanih eksplozivnih sredstava po STANAG-u 4569 nivo 3 za dodatnu masu od 810 kg ili nivo 4 za dodatnu masu od 1,27 tona. Ovo predstavlja uštedu od 490 kg ili 770 kg preko standardne tehnologije, prema „Daizenrotu“, koji je zapazio da bi opredeljenost za proizvodnju težih oklopa predstavljala „varljivu ekonomiju“. Mada je to rešenje možda jeftinije, on ukazuje da bi ono moglo imati negativne efekte na celokupne troškove tokom veka trajanja proizvoda zbog povećanog habanja guma i sistema vešanja vozila, kao i zahteva za rezervnim delovima. Korišćenjem kombinacija nanočelika, nanokeramike i nanokompozitnih materijala, kompanija je dostigla slične nivoe zaštite i uštede na oklopnom vozilu Iveco Super AV 8x8. Za balističku zaštitu oprema koju je izradila kompanija za kabinu kamiona „astra“ koristi nanokeramičke dodatne panele sa integrisanim slojem, dopunjenim nanokompozitnim materijalima za zaštitu od mina i improvizovanih

[15] Izvor: Jane's Defence Weekly,Volume 48,Issue 41, 12october 2011
[16] Više informacija o NANOTEHNOLOGIJAMA, posebno o primeni nanotehnologija u vojnoj industriji prezentovano je na web sajtovima:
www.nicolaos1946.files.wordpress.com/.../nano-vojna-tehnologija-sa-slika
www.sr.wikipedia./org/sr/нанотехнологија
[17] www.ibd-deisenroth-engineering.de/concepts
[18] www.oklop.net23.net/kurjak/brdm2-kurjak.htm

eksplozivnih sredstava (masa opreme za nivo 3 iznosi 920 kg, a za nivo 4 iznosi 1,14 tona). Ostala laka i srednja oklopna vozila koja kompanija IBD Deisenroth navodi kao primere upotrebe nanotehnologije uključuju borbeno vozilo pešadije Patna AMV 8x8 za Švedsku, „iveko" vozilo srednje zaštite 4x4, „iveko" lako oklopno vozilo LMV 4x4 i gusenično borbeno vozilo pešadije CV90 BAE sistema za Norvešku i Švedsku. Na kraju su teška oklopna vozila, gde je takođe korišćena tehnologija ove kompanije na primeru demonstratora tenka Leopard 2A4 Evolution, demonstratora tenka Rheinmetall Leopard 2 Revolution, Leoparda 2 Evolution za Singapur i MBT 122B Evolution (Leopard 2A5/A6) za Švedsku. Kod poslednjeg od navedenih, kompanija IBD Deisenroth procenjuje da bi dodatni nivoi zaštite koje korisnik zahteva doveli do porasta bruto težine vozila za 5 tona korišćenjem standardne tehnologije, dok bi nanotehnologija omogućila da taj porast bude samo 350 kg.

Nebojša Kljajić

Japan uskoro započinje proizvodnju ATD-X vazduhoplova[19]

Ministarstvo odbrane Japana i kompanija Teške industrije Micubišija (*Mitsubishi Heavy Industries*) uskoro će otpočeti proizvodnju borbene letelice Demonstrator napredne tehnologije – X [*Advanced Technology Demonstrator – X*, (*ATD-X*)], izjavio je menadžer programa za časopis *Jane's*, 4. novembra 2011. godine.

Prema rečima general potpukovnika Hidejukija Jošioke (*Hideyuki Yoshioka*), direktora razvoja vazduhoplovnih sistema u Istitutu za tehnološka istraživanja i razvoj pri Ministarstvu odbrane, „Japan nema problema u razvoju stelt karakteristika vazduhoplova. Napravićemo dobar avion". Do kraja 2011. godine Ministarstvo odbrane i „Micubiši" potpisaće ugovor kojim će otpočeti proizvodnja. U projekat je uloženo 505 miliona dolara za period od 2009. do 2016. godine, a prvi probni let planiran je za 2016. budžetsku godinu.

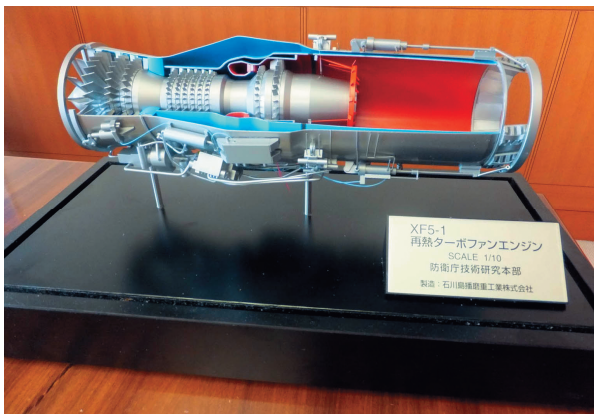
„Prvi let 2016. godine je apsolutno neophodan ... i od vitalnog je značaja za naše nacionalno vazduhoplovstvo", kaže general Jošioka. „U bliskoj budućnosti Kina će se naoružati svojim avionima *Chengdu J-20*, a Rusija svojim *Suhoj PAK FA T-50*. Znamo da je naših 28 radarskih položaja efikasno u detekciji aviona treće i četvrte generacije na velikim daljinama, ali nismo sigurni kako će funkcionisati kada se pojave avioni pete generacije."

ATD-X, ili *Shinshin* („srce boga"), projektovan je kao stelt lovac velike pokretljivosti i superiornosti u vazduhu. Na njemu će se ispitivati napredne tehnologije i integracija sistema, nakon čega se planira proizvodnja lovca šeste generacije sa *i3* karakteristikama (*informed, intelligent, instantaneous* – i3; informisan, inteligentan, trenutan) koji će biti efikasan u borbi sa stelt letelicama.

[19] *Jane's Defence Weekly*, Volume 48, Issue 46, 16 November 2011

Taj budući lovac bio bi naslednik sadašnjeg lovca japanskih vazduhoplovnih snaga samoodbrane *Mitsubishi F-2*, koji je razvijen u saradnji sa SAD na bazi aviona *Lockheed Martin F-16 Agile Falcon*. Nameri Japana da samostalno razvije „F-3“ iz ATD-X mogle bi da se usprotive SAD, koje su već jednom ranije blokirale pokušaj Japana da razvije domaćeg lovca, a lobiranje za slični ishod u vezi platforme šeste generacije već je počelo.

Najbolja ilustracija da je ovaj projekat postao osetljivo političko pitanje na relaciji Japan–SAD jeste odbijanje zvaničnika Ministarstva odbrane Japana da publikuju podatke o koristi domaćeg razvoja i proizvodnje F-3 – otvaranje oko 240.000 novih radnih mesta, jer bi 95 procenata domaća proizvodnja tog aviona uposlila oko 1.000 kooperanata.



Za pogonsku grupu prototipa kompanija Teške industrije Išikavadžima-Harime (*Ishikawajima-Harima Heavy Industries – IHI*) dobila je porudžbinu za proizvodnju dva turbofen motora sa naknadnim sagorevanjem, svaki od po 5 tona potiska, i oni su ključni za visoku pokretljivost, jer su projektovani da zadovolje zahtev objedinjenog upravljanja letom i potiskom.

Milan Babić

DARPA planira da uveća ofanzivne sajber sposobnosti SAD[20]

Američka Agencija za napredne istraživačke projekte iz domena odbrane (*Defense Advanced Research Projects Agenci – DARPA*) planira da poveća ulaganja u razvoj tehnologije sajber bezbednosti sa specifičnim naglaskom na ofanzivne sposobnosti, izjavio je jedan od visokih zvaničnika agencije.

„Potrebna su nam nam nova i bolja rešenja. Naše procene pokazuju da smo ograničeni u pogledu sposobnosti, kako ofanzivnih tako i defazivnih, i to treba da popravimo," rekla je direktorka *DARP*-e Regina Dugan (*Regina Dugan*) 7. novembra tokom diskusije o sajber bezbednosti pod pokroviteljstvom Agencije.

Ona je naglasila narastajuću pretnju sajber napada na virtuelno vlasništvo i fizičke elemente, uključujući i vojne sisteme, i rekla da će se zbog toga DARPA „usredsrediti na uvećanje svog udela u sajber istraživanja ofanzivnih sposobnosti koja se odnose na specifično vojne potrebe".

Budžet DARPA za sajber istraživanja u fiskalnoj 2012. godinu iznosi 208 miliona dolara, što predstavlja uvećanje za 88 miliona dolara u odnosu na prethodnu godinu. Ukupna ulaganja u sajber istraživanja, kako se najavljuje, u narednih pet godina biće uvećana sa 8 na 12 procenata njenog budžeta.

Gospođa Dugan je naglasila da će kreatori politike morati da odluče kako će se zaista angažovati sajber sposobnosti, ali je naglasila da DARPA „ima posebnu odgovornost" da ispita moguće sposobnosti i upotrebu vojnih sajber alata. U julu 2011. godine odnos ofanzivnih i defanzivnih sposobnosti Pentagona bio je 10 prema 90 odsto. Inače, Mreža Agencije za napredne odbrambene istraživačke projekte, koja je kreirana 60-ih godina prošlog veka, smatra se pretečom interneta.

Ona je naglasila da odbrambeni pristup sajber bezbednosti, kao što je bezbednosni softver, sve više postaje disproporcionalno skuplji u odnosu na neke zlonamerne viruse i mreže koje često napadaju državne sisteme.

Milan Babić

SQ-4 nano bespilotna letelica dejstvuje u Avganistanu[21]

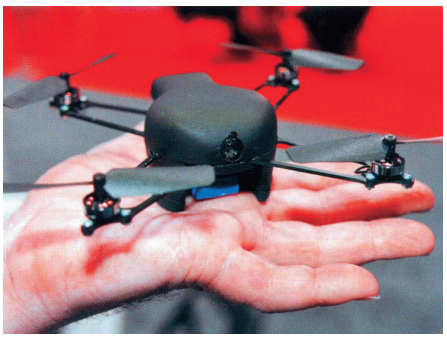
Izvestan broj nano bespilotnih avionskih sistema (*unmanned aircraft systems – UASs*) razmešten je u Avganistanu u sastavu Kraljevskih marinaca Ujedinjenog Kraljevstva (*UK Royal Marines*), saopšteno je na sipozijumu koji je organizovalo Udruženje vojske Sjedinjenih Država (*Association of the United States Army – AUSA*) u oktobru u Vašingtonu.

Proizvođač ovog sistema je BCB International i oko 100 kompleta dopremljeno je u Avganistan sredinom avgusta 2011. godine. Masa pojedinačnog kompleta je

[20] *Jane's Defence Weekly*, Volume 48, Issue 46, 16 November 2011
[21] *Jane's International Defence Review*, Volume 44, December 2011

1,7 kg, a u njemu se nalaze dve male letelice, rezervni delovi, upravljačka jedinica i video-vizir (naočare) operatera na kojem se projektuje pogled kroz kameru smeštenu na prednjem delu letelice; svi ti elementi smešteni su u jedan ranac.

Masa ove male osmatračke letelice iznosi svega 55 g, što je u skladu sa stavom vazduhoplovnih autoriteta da sve što je lakše od 60 g ne izaziva ozbiljne posledice za motor nekog aviona ukoliko on to u sebe uvuče. To znači da SQ-4 može da dejstvuje u oblasti vazduhoplovnih baza i drugih osetljivih područja stvarajući ne veću brigu od one koju izazivaju ptice.



Međutim, osnovna namena ove letilice jeste da sadejstvuje sastavu u kojem se nalazi, a to su izviđačke jedinice i specijalne snage, koje ovu letelicu mogu da koriste za izviđanje iz vazduha ili za operacije tipa „popni se i osmatraj“, tokom kojih može da se spusti na povoljno mesto za osmatranje zone interesa.

Domet ove letelice iznosi 1 km, a ona u sebi ima GPS prijemnik i interni sistem za navigaciju koji joj omogućava da se samostalno vrati u bazu ili da izračuna i upozori kada ima minimum energije za bezbedan povratak. Pokreće je litijumska polimerna baterija koja joj obezbeđuje dolet do zone i da se „popne i osmatra“ u trajanju od 2,5 sata ili neprekidni let u trajanju 1 sat vremena.

Tokom novembra u letelicu će biti ugrađena nova, litijum sulfidna, baterija koja će joj udvostručiti performanse. Proizvođač razmatra mogućnost sistema indukcionog punjenja koji bi omogućio jednom paru letelica neprekidno osmatranje za vreme kojeg bi se uzajamno smenjivale samostalo se vraćajući u stanicu za napajanje kada je to potrebo. On bi se mogao napajati iz obične mreže ili pomoću solarnih panela u oskudnim uslovima.

Četvoroelisna konstrukcija obezbeđuje visok odnos potisak–težina, što omogućava funkcionisanje pri brzini vetra do 9 m/s. Višak potiska u povoljnim uslovima omogućava dodatni teret u vidu kamere za zemaljsko osmatranje ili eksplozivnog paketa koji bi se samoubilački dopremali do personalnih ciljeva ukoliko je to potrebno. Međutim, odluka je na korisniku, iako do sada nije bilo zahteva za smrtonosnim sposobnostima ovog sistema. Sistem zaista ima potencijalnu mogućnost podrške smrtonosnim operacijama, korišćenjem GPS paketa za utvrđivanje koordinata lokacije za koju se zahteva vatrena podrška.

Cena punog kompleta ranca u kojem se transportuje ovaj sistem iznosi između 14.000 i 15.000 funti, odnosno 22.000 do 23.000 američkih dolara.

Milan Babić

Uspešno spajanje u svemiru otvara Kini put ka vojnim misijama[22]

Kina je 1. novembra 2011. godine lansirala svemirski brod *Shenzhou-8* bez ljudske posada, a 3. novembra on se spojio sa svemirskim eksperimentalnim modulom *Tiangong-1* na visini od 340 km iznad Zemlje.

Spajanja dve letelice u orbiti direktno je prenosila nacionalna televizija, a u Svemirskom kontrolnom centru u Pekingu tom događaju prisustvovali su članovi Politbiroa Komunističke partije Kine i rukovodstvo Narodnooslobodilačke armije Kine. Međutim, malo pažnje se tom prilikom obratilo na vojni značaj te misije.

Raketa nosač „Dugi marš 2F“, kojom je *Shenzhou-8* prenesen u orbitu, koristila je iterativne računare i domaće navigacione sisteme da bi se postiglo postavljanje u orbiti sa preciznošću od 12 m, izjavio je jedan kineski ekspert za *South China Morning Post* jedan kineski ekspert. „Ovaj put smo pokazali drugim zemljama da smo u stanju da dopremimo korisni teret na bilo koju lokaciju, što znači da možemo, takođe, i precizno spustiti bilo koji objekat“.

[22] *Jane's Defence Weekly*, Volume 48, Issue 45, 9 November 2011

Prethodne *Shenzhou* misije, sa posadom ili bez nje, kao i eksperimentalni modul *Tiangong-1* imaju dvojnu namenu.

Shenzhou-1 bio je opremljen elektronskim obaveštajno-sakupljačkim sistemom (*ELINT*); *Shenzhou-3* je testirao novi sistem za radarsko snimanje, dok je *Shenzhou-5* nosio dve velike kamere za optičko snimanje kao dodatak prvom kineskom astronautu koji je tom letelicom upućen u svemir. U septembru 2008. godine *Shenzhou-7* u svemir nosi tri astronauta, izvršen je prvi kratki boravak jednog kineskog astronauta van svemirskog modula u otvorenom svemirskom prostoru, ali, takođe, izveden je i bliski prolaz pored Međunarodne svemirske stanice na udaljenosti od 45 km, odmah nakon što je sa modula lansiran mikrosatelit mase 40 kg, čime je demonstrirana sposobnost koorbitalnog presretanja. *Tiangong-1* je opremljen i sa dva cilindra između dela u kojem boravi posada i servisnog dela, u kojima se mogu postaviti kamere visoke rezolucije ili lanseri za nanosatelite. Od 3. novembra sa njega će se izvoditi eksperimentalna osmatranje Zemlje.

Kineski izvori takođe izveštavaju da će se *Tiangong-2*, koji će biti lansiran 2015. godine, fokusirati na zemaljske i svemirske osmatračke misije.

Milan Babić

Probno lansiran balistički projektil Agni 4[23]

Indijska Organizacija za istraživanje i razvoj za potrebe odbrane (*Defence Research and Development Organisation – DRDO*) uspešno je probno lansirala 15. novembra 2011. godine balistički projektil srednjeg dometa *Agni 4*, projektovan da nosi nuklearnu bojevu glavu, na udaljenost od 3.000 km.

Prema rečima zvaničnika *DRDO*, dvostepeni, 20 m dugačak balistički projektil ispaljen je sa pokretnog lansera na ostrvu *Wheelers*, istočnoindijska država *Odisha*, dostigao je visinu od 900 km i pogodio svoj cilj 20 minuta kasnije u Bengalskom zalivu. Iako je projektovan za bojevu glavu od 1.000 kg, ovaj projektil nosio je bojevo punjenje od 800 kg.

[23] *Jane's Defence Weekly*, Volume 48, Issue 47, 23 November 2011

Šef *DRDO* V K Sarasvat (*Saraswat*) izjavio je da je *Agni 4* – prethodno projektovan pod imenom *Agni 2 Prime*, koji je neuspešno lansiran u decembru 2010. – prethodnik *Anija 5*, trostepenog balističkog projektila sa dometom od 5.500 km čije je testiranje planirano u periodu od decembra 2011 do februara 2012. godine.

Sarasvat kaže da je na *Agniju 4* ugrađena čitava paleta domaće razvijenih tehnologija, uključujući fiber-ojačanu plastiku za drugi stepen lansirnog vozila, prstenasti laserski žiroskop za inercijalni sistem navigacije radi poboljšanja pouzdanosti. Takođe, u njega su ugrađeni računar naprednih performansi, višekanalni komunikacioni sistem i superiorna avionika.

Milan Babić

Ruska mornarica podmlađuje Crnomorsku flotu[24]

Prema planu Ruske mornarice, Crnomorsku flotu bi do perioda 2025–2030 činilo od 35 do 40 novih plovila.

Kako je iz viših vojnih izvora saopšteno novini *Nezavisimoe Voennoe Obozrenie* krajem oktobra prošle godine, Crnomorska flota će uglavnom po obimu ostati iste brojnosti koja je sada prisutna u Crnom moru, ali će postojeće platforme skoro u celosti biti što pre zamenjene.

Zahtev Ruske mornarice jeste da se u Crno more dopremi šest fregata klase Admiral Gorškov, uključujući tri do 2014. godine (iako se trenutno grade svega njih dve). Njima će se pridružiti u predstojećim godinama dve fregate klase Neustrašivi – Neustrašivi i Jaroslav Mudri, koje trenutno baziraju u Baltiku.

Prema tom planu, Crno more će takođe udomiti i pet do šest podmornica na dizel- pogon, uključujući i „Sevastopolj“, podmornicu klase Projekat 677. Tu je i oko dvanaest plovnih objekata naoružanih topovima i projektilima, uključujući i topovnjače klase Buyan-M (pet je do sada naručeno).

Nije poznata sudbina preostala dva broda sposobna da plove otvorenim morima, krstarice „Moskva“ klase Slava i protivpodmornička krstarica „Kerč“ klase Kara. Ostaje da se vidi koji će brodovi tog tipa da ih zamene. U doba SSSR-a Moskva je u Crnom moru bazirala 10 borbrnih brodova sposobnih da plove otvorenim morima.

Ruska mornarica je izričito naglasila da u tom regionu neće bazirati brodovi sa nuklearnim naoružanjem.

Milan Babić

[24] *Jane's Defence Weekly*, Volume 48, Issue 45, 9 November 2011

POZIV I UPUTSTVO AUTORIMA O NAČINU PRIPREME ČLANKA

Uputstvo autorima o načinu pripreme članka za objavljivanje u *Vojnotehničkom glasniku* urađeno je na osnovu Akta o uređivanju naučnih časopisa, Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, evidencioni broj 110-00-17/2009-01, od 09. 07. 2009. godine. Primena ovog Akta prvenstveno služi unapređenju kvaliteta domaćih časopisa i njihovog potpunijeg uključivanja u međunarodni sistem razmene naučnih informacija. Zasnovano je na međunarodnim standardima ISO 4, ISO 8, ISO 18, ISO 215, ISO 214, ISO 18, ISO 690, ISO 690-2, ISO 999 i ISO 5122, odnosno odgovarajućim domaćim standardima.

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – štampano izdanje, ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) jeste multidisciplinarni naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje naučne i stručne članke, kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama. Časopis prati jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke sistemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava naoružanja i vojne opreme, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije, saglasno odluci iz člana 27. stav 1. tačka 4), a po pribavljenom mišljenju iz člana 25. stav 1. tačka 5) Zakona o naučnoistraživačkoj delatnosti („Službeni glasnik RS“, br. 110/05, 50/06-ispr. i 18/10), utvrdilo je kategorizaciju Vojnotehničkog glasnika, za 2011. godinu:

za oblast **osnovna istraživanja:**

– na listi časopisa za matematiku, računarske nauke i mehaniku: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M_{52}),

– na listi časopisa za geonauke i astronomiju: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M_{52}),

za oblast **tehnološki razvoj**:

– na listi časopisa za elektroniku i telekomunikacije: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M_{52}),

– na listi časopisa za mašinstvo: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M_{52}),

– na listi časopisa za materijale i hemijske tehnologije: kategorija naučni časopis nacionalnog značaja (M_{52}),

– na listi časopisa za industrijski softver i informatiku: kategorija naučni časopis (M_{53}).

Usvojene liste domaćih časopisa za 2011. godinu mogu se videti na adresi: http://147.91.185.80/predlog_sajta/index.php?option=com_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23&Itemid=109.

Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti i na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku):

http://nainfo.nb.rs/kobson.82.html ili http://nainfo.nb.rs/kategorizacija.

Pristup ovoj stranici dopušten je samo ovlašćenim korisnicima Akademske mreže Srbije (AMRES).

Kategorizacija časopisa izvršena je prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, koji je propisao Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (Službeni glasnik RS, broj 38/2008). Detaljnije informacije mogu se pronaći na sajtu Ministarstva za nauku: http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37.

U skladu sa ovim pravilnikom i tabelom o vrsti i kvantifikaciji individualnih naučnoistraživačkih rezultata (u sastavu Pravilnika), objavljeni rad u *Vojnotehničkom glasniku* vrednuje se sa 1,5 bod (kategorija M_{52}) i 1 bod (kategorija M_{53}).

Časopis se prati u kontekstu Srpskog citatnog indeksa – SCindeks (baza podataka domaćih naučnih časopisa – detalji dostupni na sajtu http://scindeks.nb.rs) i podvrgnut je stalnom vrednovanju (monitoringu) u zavisnosti od uticajnosti (impakta) u samoj bazi i, dopunski, u međunarodnim (Thompson-ISI) citatnim indeksima.

Radovi se predaju putem onlajn sistema e-Ur: Elektronsko uređivanje, koji je razvio Centar za evaluaciju u obrazovanju i nauci (CEON).

Pristup i registracija za servis vrše se na sajtu Vojnotehničkog glasnika www.vtg.mod.gov.rs, preko stranice SCIndeks, opcija e-Ur (scindeks-eur.ceon.rs/index.php/vtg).

Detaljno uputstvo o registraciji i prijavi za servis nalazi se na sajtu www.vtg.mod.gov.rs, stranica Uputstvo za e-Ur: Elektronsko uređivanje.

Vojnotehnički glasnik objavljuje članke na srpskom, engleskom, ruskom, nemačkom ili francuskom jeziku (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, prored exactly).

Članak treba da sadrži sažetak sa ključnim rečima, uvod, razradu, zaključak, literaturu i rezime sa ključnim rečima na engleskom jeziku (bez numeracije naslova i podnaslova). Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa proredom exactly).

Obrazac za pisanje članka u elektronskoj formi može se preuzeti na adresi http://www.vtg.mod.gov.rs, sa stranice OBRAZAC ZA PISANJE ČLANAKA.

Naslov

Naslov treba da odražava temu članka. U interesu je časopisa i autora da se koriste reči prikladne za indeksiranje i pretraživanje. Ako takvih reči nema u naslovu, poželjno je da se pridoda i podnaslov. Naslov treba da bude preveden i na engleski jezik.

Ovi naslovi ispisuju se ispred sažetka na odgovarajućem jeziku.

Tekući naslov

Tekući naslov se ispisuje u zaglavlju svake stranice članka radi lakše identifikacije, posebno kopija članaka u elektronskom obliku. Sadrži prezime i inicijal imena autora (ako autora ima više, preostali se označavaju sa „et al.“ ili „i dr.“), naslove rada i časopisa i kolaciju (godina, volumen, sveska, početna i završna stranica). Naslovi časopisa i članka mogu se dati u skraćenom obliku.

Ime autora

Navodi se puno prezime i ime (svih) autora. Veoma je poželjno da se navedu i srednja slova autora. Prezimena i imena domaćih autora uvek se ispisuju u originalnom obliku (sa srpskim dijakritičkim znakovima), nezavisno od jezika na kojem je napisan rad.

Naziv ustanove autora (afilijacija)

Navodi se pun (zvanični) naziv i sedište ustanove u kojoj je autor zaposlen, a eventualno i naziv ustanove u kojoj je autor obavio istraživanje. U složenim organizacijama navodi se ukupna hijerarhija (na primer, Vojna akademija, Katedra vojnih elektronskih sistema, Beograd). Bar jedna organizacija u hijerarhiji mora biti pravno lice. Ako autora ima više, a neki potiču iz iste ustanove, mora se, posebnim oznakama ili na drugi način, naznačiti iz koje od navedenih ustanova potiče svaki od navedenih autora. Afilijacija se ispisuje neposredno nakon imena autora. Funkcija i zvanje autora se ne navode.

Kontakt podaci

Adresa ili e-adresa autora daje se u napomeni pri dnu prve stranice članka. Ako autora ima više, daje se samo adresa jednog, obično prvog autora.

Kategorija (tip) članka

Kategorizacija članaka obaveza je uredništva i od posebne je važnosti. Kategoriju članka mogu predlagati recenzenti i članovi uredništva, odnosno urednici rubrika, ali odgovornost za kategorizaciju snosi isključivo glavni urednik.

Članci u časopisima se razvrstavaju u sledeće kategorije:

Naučni članci:

1. originalan naučni rad (rad u kojem se iznose prethodno neobjavljivani rezultati sopstvenih istraživanja naučnim metodom);

2. pregledni rad (rad koji sadrži originalan, detaljan i kritički prikaz istraživačkog problema ili područja u kojem je autor ostvario određeni doprinos, vidljiv na osnovu autocitata);

3. kratko ili prethodno saopštenje (originalni naučni rad punog formata, ali manjeg obima ili preliminarnog karaktera);

4. naučna kritika, odnosno polemika (rasprava na određenu naučnu temu, zasnovana isključivo na naučnoj argumentaciji) i osvrti.

Izuzetno, u nekim oblastima, naučni rad u časopisu može imati oblik monografske studije, kao i kritičkog izdanja naučne građe (istorijsko-arhivske, leksikografske, bibliografske, pregleda podataka i sl.) – dotad nepoznate ili nedovoljno pristupačne za naučna istraživanja.

Radovi klasifikovani kao naučni moraju imati bar dve pozitivne recenzije.

Spisak recenzenata Vojnotehničkog glasnika može se videti na adresi http://www.vtg.mod.gov.rs, na stranici SPISAK RECENZENATA.

Ako se u časopisu objavljuju i prilozi vannaučnog karaktera, naučni članci treba da budu grupisani i jasno izdvojeni u prvom delu sveske.

Stručni članci:

1. stručni rad (prilog u kojem se nude iskustva korisna za unapređenje profesionalne prakse, ali koja nisu nužno zasnovana na naučnom metodu);

2. informativni prilog (uvodnik, komentar i sl.);

3. prikaz (knjige, računarskog programa, slučaja, naučnog događaja, i sl.).

Jezik rada

Jezik rada može biti srpski, engleski ili drugi jezik koji se koristi u međunarodnoj komunikaciji u određenoj naučnoj oblasti (ruski, nemački ili francuski).

Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez skraćenica (osim standardnih). Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označava se rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama.

Sažetak (apstrakt) i rezime

Sažetak (apstrakt) jeste kratak informativan prikaz sadržaja članka koji čitaocu omogućava da brzo i tačno oceni njegovu relevantnost. U interesu je uredništava i autora da sažetak sadrži termine koji se često koriste za indeksiranje i pretragu članaka. Sastavni delovi sažetka su cilj istraživanja, metodi, rezultati i zaključak. Sažetak treba da ima od 100 do 250 reči i treba da se nalazi između zaglavlja (naslov, imena autora i dr.) i ključnih reči, nakon kojih sledi tekst članka. Ako je rad napisan na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom) jeziku poželjno je da se, pored sažetka na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom), daje i sažetak u proširenom obliku na engleskom jeziku – kao tzv. rezime (summary). Ovakav rezime treba da bude na kraju članka, nakon odeljka Literatura. Važno je da rezime bude u strukturiranom obliku, a njegova dužina može biti do 1/10 dužine članka (opširniji je od sažetka sa početka članka). Početak ovog rezimea može biti prevedeni sažetak (sa početka članka), a zatim treba da slede prevedeni glavni naslovi, podnaslovi i osnove zaključka članka (literatura se ne prevodi). Potrebno je da se u strukturiranom rezimeu prevede i deo teksta ispod naslova i podnaslova, vodeći računa da on bude proporcionalan njihovoj veličini, a da odražava suštinu. Nakon rezimea na engleskom jeziku (proširenog sažetka) dodaje se njegov prevod na srpskom (ruskom, nemačkom ili francuskom), da bi redakcija izvršila proveru i lekturu.

Ključne reči

Ključne reči su termini ili fraze koje adekvatno predstavljaju sadržaj članka za potrebe indeksiranja i pretraživanja. Treba ih dodeljivati oslanjajući se na neki međunarodni izvor (popis, rečnik ili tezaurus) koji je najšire prihvaćen ili unutar date naučne oblasti. Za npr. nauku uopšte, to je lista ključnih reči Web of Science. Broj ključnih reči ne može biti veći od 10, a u interesu je uredništva i autora da učestalost njihove upotrebe bude što veća. Ključne reči daju se na jeziku na kojem je napisan članak (sažetak) i na engleskom jeziku. U članku se pišu neposredno nakon sažetka, odnosno nakon rezimea.

Datum prihvatanja članka

Datum kada je uredništvo primilo članak, datum kada je uredništvo konačno prihvatilo članak za objavljivanje, kao i datumi kada su u međuvremenu dostavljene eventualne ispravke rukopisa navode se hronološkim redosledom, na stalnom mestu, po pravilu na kraju članka.

Zahvalnica

Naziv i broj projekta, odnosno naziv programa u okviru kojeg je članak nastao, kao i naziv institucije koja je finansirala projekat ili program, navodi se u posebnoj napomeni na stalnom mestu, po pravilu pri dnu prve strane članka.

Prethodne verzije rada

Ako je članak u prethodnoj verziji bio izložen na skupu u vidu usmenog saopštenja (pod istim ili sličnim naslovom), podatak o tome treba da bude naveden u posebnoj napomeni, po pravilu pri dnu prve strane članka. Rad koji je već objavljen u nekom časopisu ne može se objaviti u *Vojnotehničkom glasniku* (preštampati*),* ni pod sličnim naslovom i izmenjenom obliku.

Tabelarni i grafički prikazi

Poželjno je da naslovi svih prikaza, a po mogućstvu i tekstualni sadržaj, budu dati dvojezično, na jeziku rada i na engleskom jeziku.

Tabele se pišu na isti način kao i tekst, a označavaju se rednim brojevima sa gornje strane. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u programu word ili corel. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu.

Navođenje (citiranje) u tekstu

Način pozivanja na izvore u okviru članka mora biti jednoobrazan. U samom tekstu, u uglastim zagradama, obavezno napisati redni broj iz odeljka Literatura sa kraja članka, na mestu na kojem se vrši pozivanje, odnosno citiranje.

Napomene (fusnote)

Napomene se daju pri dnu strane na kojoj se nalazi tekst na koji se odnose. Mogu sadržati manje važne detalje, dopunska objašnjenja, naznake o korišćenim izvorima (na primer, naučnoj građi, priručnicima), ali ne mogu biti zamena za citiranu literaturu.

Lista referenci (literatura)

Citirana literatura obuhvata, po pravilu, bibliografske izvore (članke, monografije i sl.) i daje se isključivo u zasebnom odeljku članka, u vidu liste referenci. Reference se nabrajaju redosledom kojim se navode u tekstu. Reference se ne prevode na jezik rada i navode se u uglastim zagradama. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knige, naziv izdavača, mesto i godinu izdanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdanja, kao i broj stranice. Naslovi citiranih domaćih časopisa daju se u originalnom, punom ili skraćenom, ali nikako u prevedenom obliku. Pri navođenju internet sajta kao literature navodi se i datum korišćenja. Obavezno je pozivanje na literaturu u samom tekstu članka (takođe se navodi brojevima u uglastim zagradama). Brojevi treba da odgovaraju spisku literature koji je dat u zasebnom odeljku, pri kraju članka.

Veoma je preporučljiva upotreba punih formata referenci koje podržavaju vodeće međunarodne baze namenjene vrednovanju, kao i Srpski citatni indeks, a propisani su uputstvima:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research Papers i
7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Publishers.

Takođe, prihvaćeni su i formati dati u uputstvima:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide i
2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

Nestandardno, nepotpuno ili nedosledno navođenje literature u sistemima vrednovanja časopisa smatra se dovoljnim razlogom za osporavanje naučnog statusa časopisa.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U propratnom pismu navode se i podaci autora: ime, srednje slovo, prezime, čin, zvanje, e-mail, adresa poslodavca (VP), kućna adresa, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Ako je više autora članka, u propratnom pismu se navodi pojedinačni procentualni udeo radi obračuna honorara.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije honorišu se prema važećim propisima.

Adresa redakcije: Vojnotehnički glasnik, 11000 Beograd, Braće Jugovića 19.

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

Odgovorni urednik
Nebojša *Gaćeša*
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
tel.: 011/3349-497,
064/8080-118

CALL FOR PAPERS AND ARTICLE FORMATTING INSTRUCTIONS

The instructions to authors about the article preparation for publication in the *Military Technical Courier* are based on the Act on scientific journal editing of the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia, No 110-00-17/2009-01 of 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 (www.vtg.mod.gov.rs, ISSN 0042-8469 – print issue, ISSN 2217-4753 – online, UDC 623+355/359) is a multidisciplinary scientific journal of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia. It publishes scientific and professional papers as well as technical data about contemporary weapon systems and modern military technologies. Offering a logistic system support, the *Courier* is a part of a unique technical support to the Army services in the field of fundamental, applied and development research. It also deals with production and use of weapons and military equipment as well as with theoretical and practical achievements leading to professional development of the personnel of the Ministry of Defence and the Army of the Republic of Serbia.

Pursuant to the decision given in Article 27, paragraph 1, point 4, and in accordance with the acquired opinion given in Article 25, paragraph 1, point 5 of the Act on Scientific and Research Activities (*Official Gazette of the Republic of Serbia*, No 110/05, 50/06-cor and 18/10), the Ministry of Education and Science of the Republic of Serbia classified the *Military Technological Courier* for the year 2011

in the field **fundamental research:**

– on the list of periodicals for mathematics, computer sciences and mechanics: category: scientific periodical of national interest (M_{52}),

– on the list of periodicals for earth sciences and astronomy: category: scientific periodical of national interest (M_{52}),

in the field **technological development**

– on the list of periodicals for electronics and telecommunications, category: scientific periodical of national interest (M_{52}),

– on the list of periodicals for mechanical engineering, category: scientific periodical of national interest (M_{52}),

– on the list of periodicals for materials and chemical technology, category: scientific periodical of national interest (M_{52}),

– on the list of periodicals for industrial software and IT, category: scientific periodical (M_{53}).

The approved lists of national periodicals for the year 2010 can be viewed at:
http://147.91.185.80/predlog_sajta/index.php?option=com_content&view=article&id=1336%3Ausvojene-liste-domacih-naucnih-casopisa-za-2011-godinu&catid=23&Itemid=109.

The information on the categorization can be also found on the website of KOBSON (Consortium of Libraries of Serbia for Unified Acquisition), http://nainfo.nb.rs/kobson.82.html or http://nainfo.nb.rs/kategorizacija. The access to this web page is possible only from computers linked to the Internet via the Academic computer network.

The periodical is categorized in compliance with the Regulations on the procedure and method of evaluation and quantitative formulation of scientific and research results of researchers, stipulated by the National Council for Scientific and Technological Development (*Official Gazette of RS*, No 38/2008). More detailed information can be found on the website of the Ministry of Science:
http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37.

In accordance with the Regulations and the table about types and quantification of individual scientific and research results (as a part of the Regulations), a paper published in the *Military Technical Courier* scores 1,5 (one and a half) point (category M_{52}) and 1 (one) point (category M_{53}).

The journal is in the Serbian Citation Index – SC index (data base of national scientific journals – details available at http://scindeks.nb.rs) and is constantly monitored depending on the impact within the base itself and on the international (Thompson-ISI) citation indexes.

Manuscripts are submitted online, through the e-Ur (Electronic editing) system, developed by the Center for Evaluation in Education and Science – CEON.

The access and the registration are through the Military Technical Courier site http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html, on the page SCIndex, option e-Ur (scindeks-eur.ceon.rs/index.php/vtg).

The detailed instructions about the registration for the service are on the website http://www.vtg.mod.gov.rs/index-e.html, on the page Instructions for e-Ur: Electronic Editing.

The Military Technical Courier publishes articles in Serbian, English, Russian, German or French, using Arial and a font size of 11pt with Exact Spacing.

The article should contain the abstract with keywords, introduction, body, conclusion, references and the summary in English language (without heading and subheading enumeration). The article length should not exceed 16 pages of A4 paper format.

The article should be formatted following the instructions in the Article Form which can be downloaded from:

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

Title

The title should be informative. It is in both Journal's and author's best interest to use terms suitable for indexing and word search. If there are no such terms in the title, the author is strongly advised to add a subtitle. The title should be given in English as well.

The titles precede the abstract and the summary in an appropriate language.

Letterhead title

The letterhead title is given at a top of each page for easier identification of article copies in an electronic form in particular. It contains the author's surname and first name initial (for multiple authors add "et al"), article title, journal title and collation (year, volume, issue, first and last page). The journal and article titles can be given in a shortened form.

Author's name

Full name(s) of author(s) should be used. It is advisable to give the middle initial. Names are given in their original form (with diacritic signs if in Serbian).

Author's affiliation

The full official name and seat of the author's affiliation is given, possibly with the name of the institution where the research was carried out. For organizations with complex structures, give the whole hierarchy (for example, Military Academy, Department for Military Electronic Systems, Belgrade). At least one organization in the hierarchy must be a legal entity. When some of multiple authors have the same affiliation, it must be clearly stated, by special signs or in other way, which department exactly they are affiliated with. The affiliation follows the author's name. The function and title are not given.

Contact details

The postal address or the e-mail address of the author (usually of the first one if there are more authors) is given in the footnote at the bottom of the first page.

Type of articles

Classification of articles is a duty of the editorial staff and is of special importance. Referees and the members of the editorial staff, or section editors, can propose a category, but the editor-in-chief has the sole responsibility for their classification.

Journal articles are classified as follows:

Scientific articles:

1. Original scientific paper (giving the previously unpublished results of the author's own research based on scientific methods);

2. Survey paper (giving an original, detailed and critical view of a research problem or an area to which the author has made a contribution visible through his self-citation);

3. Short or preliminary communication (original scientific paper of full format but of a smaller extent or of a preliminary character);

4. Scientific critique or forum (discussion on a particular scientific topic, based exclusively on scientific argumentation) and commentaries.

Exceptionally, in particular areas, a scientific paper in the Journal can be in a form of a monograph or a critical edition of scientific data (historical, archival, lexicographic, bibliographic, data survey, etc.) which were unknown or hardly accessible for scientific research.

Papers classified as scientific must have at least two positive reviews.

The list of referees of the Military Technical Courier can be viewed at:

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

If the journal contains non-scientific contributions as well, the section with scientific papers should be clearly denoted in the first part of the Journal.

Professional articles:

1. Professional paper (contribution offering experience useful for improvement of professional practice but not necessarily based on scientific methods);

2. Informative contribution (editorial, commentary, etc.);

3. Review (of a book, software, case study, scientific event, etc.).

Language

The article can be in Serbian, English or other language used in international communication in a particular scientific field (Russian, German or French).

The grammar and style of the article should be of good quality. The systematized text should be without abbreviations (except standard ones). All measurements must be in SI units. The sequence of formulae is denoted in Arabic numerals in parentheses on the right-hand side.

Abstract and summary

An abstract is a concise informative presentation of the article content for fast and accurate evaluation of its relevance. It is both in the Editorial Office's and the author's best interest for an abstract to contain terms often used for indexing and article search. The abstract describes the purpose of the study and the methods, outlines the findings and state the conclusions. A 100- to 250- word abstract should be placed between the title and the keywords with the body text to follow. Besides an abstract in Serbian (Russian, German or French), articles in Serbian (Russian, German or French) are advised to have a summary in English, at the end of the article, after the Reference list. The summary should be structured and long up to 1/10 of the article length (it is more extensive than the abstract). It can start with the translated Serbian (Russian, German or French) abstract from the beginning of the article with translated main headings, subheadings and major conclusions to follow (Reference list is not translated). The structured summary should also contain the proportional informative parts of the text below the headings and subheadings. The summary in English is followed by its Serbian (Russian, German or French) version for the Editorial Office to perform checking and proofreading.

Keywords

Keywords are terms or phrases showing adequately the article content for indexing and search purposes. They should be allocated heaving in mind widely accepted international sources (index, dictionary or thesaurus), such as the Web of Science keyword list for science in general. The higher their usage frequency is, the better. Up to 10 keywords immediately follow the abstract and the summary, in respective languages.

Article acceptance date

The date of the reception of the article, the dates of submitted corrections in the manuscript (optional) and the date when the Editorial Board accepted the article for publication are all given in a chronological order at the end of the article.

Acknowledgements

The name and the number of the project or programme within which the article was realised is given in a separate note at the bottom of the first page together with the name of the institution which financially supported the project or programme.

Article preliminary version

If an article preliminary version has appeared previously at a meeting in a form of an oral presentation (under the same or similar title), this should be stated in a separate note at the bottom of the first page. An article published previously cannot be published in the *Military Technical Courier* even under a similar title or in a changed form.

Tables and illustrations

All the captions should be in the original language as well as in English, together with the texts in illustrations if possible. Tables are typed in the same style as the text and are denoted by Arabic numerals at the top. Photographs and drawings, placed appropriately in the text, should be clear, precise and suitable for reproduction. Drawings should be created in Word or Corel.

Citation in the text

Citation in the text must be uniform. When citing references in the text, use the reference number set in square brackets from the Reference list at the end of the article.

Footnotes

Footnotes are given at the bottom of the page with the text they refer to. They can contain less relevant details, additional explanations or used sources (e.g. scientific material, manuals). They cannot replace the cited literature.

Reference list (Literature)

The cited literature encompasses bibliographic sources such as articles and monographs and is given in a separate section in a form of a reference list. References, quoted in square brackets, are not translated to the language of the article. A bibliographic entry for a book contains the author's surname and first name initial, book title, publisher, place and year of publication. A bibliographic entry for an article contains the author's surname and first name, article title, journal title, issue number, year of publication and page numbers. Titles of cited national journals are given in their full or shortened original form, but never translated. Web references are given with the retrieval date. Citations in the body of the text are necessary. Numbers in square brackets must correspond to the numbers in the Reference list at the end of the article. It is highly advisable to use full format references supported by leading international evaluation bases as well as the Serbian Citation Index. Here are the recommended style guides:

1. APA – Publication Manual of the American Psychological Association,
2. CBE – Council of Biology Editors Manual, Scientific Style and Format,
3. Chicago – The Chicago Manual of Style,
4. Harvard – Harvard Style Manual,
5. Harvard-BS – Harvard Style Manual – British Standard,
6. MLA – Modern Language Association Handbook for Writers of Research Papers and
7. NLM – The National Library of Medicine Style Guide for Authors, Editors, and Publishers.

The formatting given in the following instructions is also acceptable:

1. American Chemical Society (ACS) Style Guide and

2. American Institute of Physics (AIP) Style Manual.

In journal evaluation systems, non-standard, insufficient or inconsequent citation is considered to be a sufficient cause for denying the scientific status to a journal.

The article should be accompanied with a cover letter with the information about the author(s): surname, middle initial, first name, citizen personal number, rank, title, e-mail address, affiliation address, home address including municipality, phone number in the office and at home (or a mobile phone number), bank account and the name of the bank.

If there are more authors, their share in the article should be given in percents for honorarium calculation purposes.

The cover letter should state the type of the article and tell which illustrations are original and which are not.

All articles are peer reviewed. All authors and reviewers are paid an honorarium on publication of the article.

Address of the Editorial Office:
Vojnotehnički glasnik, 11000 Beograd,
Braće Jugovića 19.
E-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs.
Managing Editor
Nebojša *Gaćeša*
nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
tel.: +381 11 3349 497, +381 64 80 80 118

SPISAK RECENZENATA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Pukovnik prof. dr Marko D. Andrejić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik Katedre logistike	Logistika odbrane	markodandrejic@hotmail.com
Doc. dr Miloš Ž. Arsić	Pukovnik u penziji	Menadžment saobraćajnom podrškom	misaarsa@yahoo.com
Vanr. prof. dr Vojislav J. Batinić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra vojnomašinskog inženjerstva	Opšte mašinske konstrukcije	beregvojo@yahoo.com vojislav.batinic@va.mod.gov.rs
Vanr. prof. dr Stevan M. Berber	Univerzitet u Oklendu, Departman elektrotehnike i računarskog inženjeringa, Oklend, Novi Zeland	Elektronika i telekomunikacije	s.berber@auckland.ac.nz
Doc. dr Radivoje M. Biljić	Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, docent na Katedri za telekomunikacije	Telekomunikacije, Napadno navigacijski sistemi vazduhoplova, Mikrotalasna tehnika, Elektromagnetika, Satelitski sistemi	biljic@etf.rs
Prof. dr Branislav A. Borovac	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, redovni profesor na Katedri za mehatroniku, robotiku i automatizaciju	Robotika	borovac@uns.ac.rs
Vanr. prof. dr Uglješa S. Bugarić	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, vanredni profesor na Katedri za industrijsko inženjerstvo	Operaciona istraživanja, Terotehnologija-održavanje, Transportni i skladišni sistemi	ubugaric@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Ilija Ćosić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, dekan fakulteta	Industrijsko inženjerstvo i inženjerski menadžment	ftndean@uns.ac.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Pukovnik vanr. prof. dr Goran D. Dikić	Ministarstvo odbrane, Univerzitet odbrane, Prorektor za međuuniverzitetsku i međunarodnu saradnju	Sistemi automatskog upravljanja, Praćenje ciljeva, Sistemi vođenja i upravljanja raketa	goran.dikic@mod.gov.rs
Pukovnik doc. dr Nenad P. Dimitrijević	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, rukovodilac poslediplomskih studija	Bezbednost u saobraćaju, Zaštita resursa u saobraćaju i transportu	neshadim@nadlanu.com
Pukovnik doc. dr Radenko S. Dimitrijević	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik katedre vojnohemijskog inženjerstva	Municija, Eksplozivne materije	radenkod@beotelnet.rs
Pukovnik vanr. prof. dr Boban D. Đorović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, prodekan	Procesi i metode u saobraćaju i transportu, Transportne mreže, Organizacija transporta	lukema@ptt.rs
Prof. dr Vlado P. Đurković	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet Odbrane, Vojna akademija, Katedra vojnomašinskog inženjerstva, načelnik odseka zajedničkih predmeta mašinstva	Primenjena mehanika krutog i deformabilnog tela	vlado.djurkovic@va.mod.gov.rs djurkovic.vlado@gmail.com
Doc. dr Predrag M. Elek	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, docent na Katedri za sisteme naoružanja	Balistika na cilju, Konstrukcija projektila, Fizika eksplozije	pelek@mas.bg.ac.rs
Doc. dr Miljko M. Erić	Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, docent na Katedri za telekomunikacije	Telekomunikacije, Digitalna obrada signala, Elektronsko izviđanje, radio-goniometrija, antenski nizovi, mikrofonski nizovi, array processing	meric@open.telekom.rs miljko.eric@etf.rs
Dr Miloš R. Filipović	Naučni savetnik u penziji	Energetski materijali (eksplozivi, pirotehnika, baruti i raketna goriva, sagorevanje, detonacija, eksplozija)	milosf321@gmail.com

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Doc. dr Zoran Lj. Filipović	Institut Goša, naučni saradnik	Elektronika i telekomunikacije (avionika, metrologija, telekomunikacije)	filipovicz@open.telekom.rs
Doc. dr Vasko G. Fotev	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, docent na Katedri za vazduhoplovstvo	Pogon letelica (avionski i raketni motori)	vfotev@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Katarina D. Gerić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, redovni profesor na Katedri za materijale i spajanje materijala	Nauka o materijalima, Inženjerstvo materijala, Ispitivanje materijala	gerick@uns.ac.rs
Potpukovnik doc. dr Ljubomir J. Gigović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra prirodno-matematičkih nauka, rukovodilac grupe nastavnika za vojnu geografiju i topografiju	Geonauke, Geodetsko inženjerstvo	ljgigovic@yahoo.com
Vanr. prof. dr Miro J. Govedarica	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za računarstvo i automatiku, vanredni profesor na Katedri za sisteme, signale i upravljanje	Geoinformatika	miro@uns.ac.rs
Prof. dr Janko J. Hodolič	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, prodekan fakulteta	Metrologija, Kvalitet, Pribori i ekološko-inženjerski aspekti	hodolic@uns.ac.rs
Pukovnik doc. dr Slobodan S. Ilić	Generalštab, Uprava za planiranje i razvoj (J-5), Tehnički opitni centar,Direktor	Sistemi održavanja, Naoružanje	slobodan.ilic@va.mod.gov.rs
Pukovnik vanr. prof. dr Branislav V. Jakić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Vojna kontrola kvaliteta, direktor	Logistika, Kvalitet, Standardizacija, Metrologija, Nomenklatura, Kodifikacija, Tehnološki menadžment	bjakic@yahoo.com
Prof. dr Slobodan S. Jaramaz	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, šef Katedre za sisteme naoružanja	Unutrašnja balistika, Konstrukcija projektila, Fizika eksplozije, Balistika na cilju, Sagorevanje baruta	sjaramaz@mas.bg.ac.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Prof. dr Radun B. Jeremić	Pukovnik u penziji	Municija, Eksplozivne materije	radun@mail.com
General major doc. dr Danko M. Jovanović	Generalštab Vojske Srbije, Uprava za logistiku (J-4), načelnik uprave	Upravljanje proizvodnjom, Logistika, Održavanje tehničkih sistema, Kvalitet, Rizici, Standardizacija	danko.jovanovic@mod.gov.rs
Doc. dr Vukica M. Jovanović	Trajn Univerzitet, Fakultet za nženjerstvo i tehnologiju, Departman za konstrukcije i dizajn, Engola, Indijana, SAD	Mašinstvo	jovanovic@trine.edu
Major doc. dr Radovan M. Karkalić	Generalštab, Uprava za planiranje i razvoj (J-5), Tehnički opitni centar, Pomoćnik direktora za NIR	Hemijska tehnologija (nuklearno-hemijsko-biološka zaštita, detekcija, identifikacija i dekontaminacija)	rkarkalic@yahoo.com
Prof. dr Vladimir A. Katić	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, prodekan fakulteta	Energetska elektronika, Električne mašine, Elektromotorni pogoni, Kvalitet električne energije, Obnovljivi izvori električne energije	katav@uns.ac.rs
Prof. dr Srđan R. Kolaković	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, prodekan	Građevinarstvo – hidrotehnika	kolak@uns.ac.rs
Pukovnik.dr Zbyšek Korecki	Univerzitet odbrane Republike Češke, Fakultet za ekonomiku i menadžment, načelnik Katedre logistike	Logistika odbrane, Multinacionalna logistika	zbysek.korecki@unob.cz
Docent dr Mirko S. Kozić, viši naučni saradnik	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut	Mehanika fluida, Numerička dinamika fluida, Aerodinamička opterećenja	mkozic@open.telekom.rs
Pukovnik doc. dr Nikola L. Lekić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Načelnik katedre telekomunikacija i informatike	Radarski ciljevi, Radarske antene, Merenje radarskih ciljeva i antena, Radarska tehnika i sistemi	lekicn@ptt.rs
Prof. dr Rado M. Maksimović	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, šef Katedre za proizvodne sisteme, organizaciju i menadžment	Proizvodni sistemi, Organizacija preduzeća, Razvojni procesi u preduzeću	rado@uns.ac.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Naučni savetnik dr Stevan M. Maksimović	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut, načelnik odeljenja čvrstoće	Čvrstoća konstrukcija, Mehanika loma, Zamor, Numeričke metode	s.maksimovic@open.telekom.rs
Dr Vasilije M. Manović	Institut CanmetENERGY, Ministarstvo za prirodne resurse, Otava, Kanada	Zaštita životne sredine, Hemijsko inženjerstvo	vmanovic@gmail.com
Prof. dr Dejan M. Micković	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za sisteme naoružanja	Konstrukcija klasičnog naoružanja, Automatska oružja, Unutrašnja balistika	dmickovic@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Momčilo P. Milinović	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, redovni profesor na Katedri vojnog mašinstva	Raketni sistemi, Lanseri, Sistemi upravljanja vatrom	mmilinovic@mas.bg.ac.rs
Prof. dr Zoran Đ. Miljković	Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, redovni profesor na Katedri za proizvodno mašinstvo	Tehnologija mašinske obrade, Robotika, Veštačka inteligencija, Autonomni sistemi i mašinsko učenje, Veštačke neuronske mreže, Inteligentni tehnološki sistemi, Metode odlučivanja	zmiljkovic@mas.bg.ac.rs
Major doc. dr Srđan T. Mitrović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra vojnoelektronskog inženjerstva, načelnik odseka za elektrotehniku i elektroniku	Mobilni roboti, Upravljanje u realnom vremenu, Fazi logika, Fazi upravljanje, Mikroprocesorski sistemi, Upravljanje sistemima (Automatika), Algoritmi navigacije vozila, Brodski borbeni i navigacioni sistemi	srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs
Major doc. dr Slavko R. Muždeka	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,Katedra vojnomašinskog inženjerstva, šef odseka za borbena vozila	Motorna vozila, Borbena vozila	mslavko@beotel.rs
Prof. dr Mladen D. Pantić	Pukovnik u penziji	Borbena vozila	emily983@sbb.rs

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Pukovnik Zoran S. Patić	Generalštab Vojske Srbije, Uprava za logistiku (J-4), načelnik 3. odeljenja	Logistika, Održavanje, Snabdevanje, Projektovanje organizacije logističkih sistema	zpatic@yahoo.co.uk
Potpukovnik doc. dr Sreten R. Perić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, načelnik katedre vojnomašinskog inženjerstva	Tehnologija održavanja motornih vozila	sretenperic@yahoo.com
Prof. dr Slavko J. Pokorni	Visoka škola strukovnih studija za informacione tehnologije u Beogradu, pomoćnik direktora, pukovnik u penziji	Pouzdanost, raspoloživost i održavanje sistema (hardver, softver, čovek), Primena infracrvenog zračenja, Informacione i komunikacione tehnologije	slavko.pokorni@its.edu.rs
Prof. dr Miroslav V. Popović	Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka, redovni profesor na Katedri za računarsku tehniku	Računarska tehnika i komunikacije (inženjering sistema zasnovanih na računarima)	miroslav.popovic@rt-rk.com
Pukovnik vanr. prof. dr Jugoslav R. Radulović	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, direktor TRZ Kragujevac	Municija, Menadžment, Kvalitet	yugoslav@ptt.rs
Naučni savetnik prof. dr Dušan S. Rajić	Pukovnik u penziji	Protivhemijska zaštita, Oružje za masovno uništavanje (NHB borbena sredstva), Teorija rešavanja inovativnih zadataka	rajic.dusan1@gmail.com
Pukovnik doc. dr Zoran M. Rajić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, direktor Vojnotehničkog instituta	Aerodinamika	rajic_zoran@yahoo.com
Pukovnik vanr. prof. dr Miodrag D. Regodić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik Katedre prirodno-matematičkih nauka	Geonauke, Geodetsko inženjerstvo	mregodic62@gmail.com

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Dr Milorad D. Savković	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut	Raketni motori, Raketna i bestrzajna sredstva za PO borbu	savkovic.milorad@gmail.com
Vanr. prof. dr Dragoljub J. Sekulović	Pukovnik u penziji	Geonauke, Geodetsko inženjerstvo	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Dr Srećko S. Stopić	Tehnički univerzitet u Ahenu, SR Nemačka, Institut za procesnu metalurgiju i recikliranje metala, naučni savetnik, vođa grupe za hidrometalurgiju i nanotehnologiju	Hidrometalurgija, Nanotehnologija, Hemijske sinteze, Recikliranje, Zaštita životne sredine	stopic2003@yahoo.de
Doc. dr Tomislav B. Šekara	Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, docent na Katedri za signale i sisteme	Upravljanje procesima sa koncentrisanim i raspoređenim parametrima, Optimalni industrijski regulatori, Frakcioni zakoni upravljanja sa primenom u industriji, Karakterizacija procesa, Adekvatna diskretizacija i obrada signala, Senzori i aktuatori, Kompenzacija i ušteda električne energije u distributivnim elektroenergetskim sistemima	tomi@etf.rs
Prof. dr Dragan D. Šešlija	Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, redovni profesor na Katedri za mehatroniku, robotiku i automatizaciju	Mehatronika, Robotika, Automatizacija	seslija@uns.ac.rs
Potpukovnik doc. dr Goran P. Šimić	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, načelnik Centra za simulacije i učenje na daljinu	Informatika i računarstvo	gshimic@gmail.com

Zvanje, ime, srednje slovo i prezime	Ustanova i radno mesto	Oblast kompetencije (naučnog interesovanja)	e-mail
Prof. dr Vladimir S. Škiljaica	Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za saobraćaj, redovni profesor na Katedri za tehnologije transportnih sistema	Tehnologija vodnog saobraćaja, Brodovi, Bezbednost plovidbe	vlaski@uns.ac.rs
Prof. dr Ljubiša K. Tančić	Pukovnik u penziji	Unutrašnja balistika, Naoružanje	ljtancic@gmail.com
Pukovnik prof. dr Branko M. Tešanović	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, Katedra logistike, načelnik odseka za opštu logistiku i finansije	Opšta logistika	brate@verat.net
Major doc. dr Ivan A. Tot	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, Vojna akademija, rukovodilac grupe za infomacione sisteme na Katedri telekomunikacija i informatike sistema	Baze podataka, Informacioni sistemi, Zaštita informacionih sistema	ivanceid@yahoo.com
Naučni savetnik prof. dr Dragoljub A. Vujić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, Vojnotehnički institut	Primenjena mehanika, Dijagnostika, Sofisticirani sistemi održavanja tehničkih sistema	vujicd@eunet.rs
Brigadni general vanr. prof. dr Mladen M. Vuruna	Ministarstvo odbrane, Sektor za ljudske resurse, Univerzitet odbrane, načelnik Vojne akademija	Vojno-hemijsko inženjerstvo (pogonska sredstva, toksikološka sredstva, zaštita od NHB oružja, zaštita životne sredine)	mladenvuruna@yahoo.com
Brigadni general prof. dr Bojan M. Zrnić	Ministarstvo odbrane, Sektor za materijalne resurse, Uprava za odbrambene tehnologije, načelnik uprave	Senzorski sistemi, Strategijsko planiranje	bojan.zrnic@vs.rs

LIST OF REFEREES OF THE MILITARY TECHNICAL COURIER

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Professor Colonel Marko D. Andrejić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Logistics Department	Military logistics	markodandrejic@hotmail.com
Assistant Professor Miloš Ž. Arsić, PhD	Retired Colonel	Transportation support management	misaarsa@yahoo.com
Associate Professor Vojislav J. Batinić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering	General mechanical engineering constructions	beregvojo@yahoo.com
Associate Professor Stevan M. Berber, PhD	The University of Auckland, Department of Electrical and Computer Engineering, Auckland, New Zealand, Senior Lecturer	Electronics and telecommunications	s.berber@auckland.ac.nz
Assistant Professor Radivoje M. Biljić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Assistant Professor at 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, Full Professor at Chair for Mechatronics, Robotics and Automation	Robotics	borovac@uns.ac.rs
Associate Professor Uglješa S. Bugarić, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Associate Professor at Department for Industrial Engineering	Operational research, terotechnology – 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

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Associate Professor Colonel Goran D. Dikić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Vice Dean for Interuniversity and International Cooperation	Automatic control systems, target tracking, missile guidance and control systems	goran.dikic@mod.gov.rs
Assistant Professor Colonel Nenad P. Dimitrijević, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Director of Postgraduate Studies	Traffic safety, protection of resources in traffic and transportation	neshadim@nadlanu.com
Assistant Professor Colonel Radenko S. Dimitrijević, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Department of Military Chemical Engineering	Ammunition, ordnance	radenkod@beotelnet.rs
Associate Professor Colonel Boban D. Đorović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Vice Dean	Processes and methods in traffic and transportation, transportation networks, transport organization	lukema@ptt.rs
Professor Vlado P. Đurković, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, 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
Assistant Professor Predrag M. Elek, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Assistant Professor at Department of Weapon Systems	Terminal ballistic, Projectile construction, Physics of explosion	pelek@mas.bg.ac.rs
Assistant Professor Miljko M. Erić, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Assistant Professor at Department of Telecommunications	Telecommunications, digital signal processing, electronic reconnaissance, radio direction finding, anntena arrays, microphone arrays, array processing	meric@open.telekom.rs miljko.eric@etf.rs
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
Assistant Professor Zoran Lj. Filipović, PhD	Goša Institute Research Fellow	Electronics and telecommunications (avionics, metrology, telecommunications)	filipovicz@open.telecom.rs
Assistant Professor Vasko G. Fotev, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Assistant Professor at 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, Full Professor at Chair of Materials and Technology of Connection	Materials science, materials engineering, materials testing	gerick@uns.ac.rs
Assistant Professor LtColonel Ljubomir J. Gigović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Natural and Mathematical Sciences, Head of Faculty Staff Teaching Military Geography and Topography	Geosciences, geodetic engineering	ljgigovic@yahoo.com
Associate Professor Miro J. Govedarica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Computing and Automatics, Associate Professor at Chair of Systems, Signals and Control	Geoinformatics	miro@uns.ac.rs
Professor Janko J. Hodolič, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	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@va.mod.gov.rs
Associate Professor Colonel Branislav V. Jakić, PhD	Ministry of Defence, Material Resources Sector, Military Quality Control, Director	Logistics, quality, standardisation, metrology, nomenclature, codification, technology management	bjakic@yahoo.com

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
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	radun@mail.com
Assistant Professor Major General Danko M. Jovanović, PhD	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Director of Logistics Directorate (J-4)	Production management, logistics, maintenance of technical systems, quality, risks, standardisation	danko.jovanovic@mod.gov.rs
Assistant Professor Vukica M. Jovanović, Phd	Trine University, Allen School of Eggineering and Technology, Department of Engineering echnology, Angola, Indiana, USA	Mechanical engineering	jovanovic@trine.edu
Assistant Professor Major Radovan M. Karkalić, PhD	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Planning and Development Directorate (J-5), Technical Test Cetre, Assistant Director for R&D	Chemical technology (nuclear-biological-chemical protection, detection, identification and decontamination)	rkarkalic@yahoo.com
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
Professor Srđan R. Kolaković, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Vice Dean	Civil engineering, hydrotechnology	kolak@uns.ac.rs
Colonel Zbyšek Korecki, PhD	University of Defence of the Czech Republic, Faculty of Economics and Management, Head of Department of Logistics	Logistics of defence, multinational logistics	zbysek.korecki@unob.cz
Assistant Professor Mirko S. Kozić, PhD, senior scientific associate	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Mechanics of fluids, computational fluid dynamics, aerodynamic load	mkozic@open.telekom.rs

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Colonel Nikola L. Lekić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Department of Telecommunications and Information Science	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 Chair of Production Systems, Organization and Management	Production systems, organization of industrial systems, development processes in industrial systems	rado@uns.ac.rs
Scientific Advisor Stevan M. Maksimović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute, Head of Laboratory for Strength	Structural strength, fracture mechanics, fatigue, numerical methods	s.maksimovic@open.telekom.rs
Senior Research Scientist Vasilije M. Manović, PhD	Canmet ENERGY, Natural Resources Canada, Ottawa, Canada	Environmental protection, Chemical engineering	vmanovic@gmail.com
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, Full Professor at Department of Military Mechanical Engineering	Rocket systems, launchers, fire control systems	mmilinovic@mas.bg.ac.rs
Professor Zoran Đ. Miljković, PhD	Belgrade University, Faculty of Mechanical Engineering, Full Professor at 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

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Major Srdjan T. Mitrović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, 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
Assistant Professor Major Slavko R. Muždeka, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Military Mechanical Engineering, Head of Section for Combat Vehicles	Motor vehicles, combat vehicles	mslavko@beotel.rs
Professor Mladen D. Pantić, PhD	Retired Colonel	Combat vehicles	emily983@sbb.rs
Colonel Zoran S. Patić	General Staff of the Armed Forces of Serbia, Logistics Directorate (J-4), Head of 3rd Section	Logistics, maintenance, supply, design of logistic system organisation	zpatic@yahoo.co.uk
Assistant Professor LtColonel Sreten R. Perić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, 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
Professor Miroslav V. Popović, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Full Professor at Chair of Computer Technology	Computer technology and communications (computer-based system engineering)	miroslav.popovic@rt-rk.com
Associate Professor Colonel Jugoslav R. Radulović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Director of TRZ (Technical Overhauling Institution), Kragujevac	Ammunition, management, quality	yugoslav@ptt.rs
Scientific Advisor Professor Colonel Dušan S. Rajić, PhD	Retired Colonel	Chemical protection, veapons of mass destruction (NBC weapons), theory of inventive problem solving	rajic.dusan1@gmail.com

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor Colonel Zoran M. Rajić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Director of Military Technical Institute	Aerodynamics	rajic_zoran@yahoo.com
Assistant Professor Colonel Miodrag D. Regodić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Department of Natural and Mathematics Sciences	Geosciences, geodetic engineering	mregodic62@gmail.com
Milorad D. Savković, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Rocket motors, rocket and recoilless AT weapons	savkovic.milorad@gmail.com
Associate Professor Dragoljub J. Sekulović, PhD	Retired Colonel	Geosciences, geodetic engineering	sekulovicdr@yahoo.co.uk
Scientific advisor Srećko S. Stopić, PhD	RWTH Aachen University, Germany, Faculty for Georesources and Materials Engineering, IME Process Metallurgy and Metal Recycling, Group leader for hydrometallurgy and nanotechnology	Hydrometallurgy, nanotechnology, recycling, environmental science	stopic2003@yahoo.de
Assistant Professor Tomislav B. Šekara, PhD	Belgrade University, Faculty of Electrical Engineering, Assistant Professor at 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
Professor Dragan D. Šešlija, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Industrial Engineering and Management, Full Professor at Chair of Mechatronics, Robotics and Automation	Mechatronics, Robotics and Automation	seslija@uns.ac.rs

Title, name. middle initial and surname	Affiliation and position	Competence area (scientific research)	e-mail
Assistant Professor LtColonel Goran P. Šimić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Center for Simulations and Distance Learning	Information technology and computing	gshimic@gmail.com
Professor Vladimir S. Škiljaica, PhD	University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Traffic Engineering, Full Professor at Chair of Technology of Transportation Systems	Technology of water transportation, ships, navigation safety	vlaski@uns.ac.rs
Professor Ljubiša K. Tančić, PhD	Retired Colonel	Internal ballistics, armament	ljtancic@gmail.com
Professor Colonel Branko M. Tešanović, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Department of Logistics, Head of Section for General Logistics and Finance	General logistics	brate@verat.net
Assistant Professor Major Ivan A. Tot, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Military Academy, Head of Group for Information Systems at Department of Telecommunications and Information Science	Data bases, information systems, information systems protection	ivanceid@yahoo.com
Scientific Advisor Professor Dragoljub A. Vujić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Military Technical Institute	Applied mechanics, diagnostics, sofisticated systems for technical system maintenance	vujicd@eunet.rs
Associate Professor Brigadier General Mladen M. Vuruna, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, University of Defence, Head of Military Academy	Military chemical engineering (propellants, toxicology, NBC protection, environmental protection)	mladenvuruna@yahoo.com
Professor Brigadier General Bojan M. Zrnić, PhD	Ministry of Defence, Human Resources Sector, Department for Defence Technologies, Head of Department	Sensor systems, strategic planning	bojan.zrnic@vs.rs

IZJAVA VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA O ETIČKOM POSTUPANJU

Objavljivanje članaka nakon stručne recenzije osnovna je delatnost naučnog časopisa *Vojnotehnički glasnik*. Neophodno je postići saglasnost o etičkim načelima u postupcima svih učesnika prilikom objavljivanja članaka, od autora, Redakcije časopisa i stručnih recenzenata do izdavača.

Obaveze Redakcije *Vojnotehničkog glasnika*

Redakcija *Vojnotehničkog glasnika* odgovorna je za donošenje odluke koji će od prispelih članaka biti odabran za objavljivanje.

Redakcija treba da postupa u skladu s politikom Uređivačkog odbora *Vojnotehničkog glasnika* kao i u skladu sa zakonskim propisima koji se odnose na klevetu, kršenje autorskih prava i plagijate. Redakcija može da se konsultuje sa članovima Uređivačkog odbora ili recenzentima pri donošenju odluke.

Redakcija procenjuje sadržaj rukopisa nezavisno od rase, pola, polne orijentacije, religijskih uverenja, etničkog porekla, političkih uverenja i državne pripadnosti autora.

U svom radu, prema preporuci Centra za evaluaciju u obrazovanju i nauci (CEON), Redakcija koristi elektronski sistem uređivanja (e-Ur), koji omogućava transparentnost i javnost rada, podrazumevajući punu odgovornost za prihvatanje i objavljivanje članka.

Pre slanja na recenziju Redakcija proverava sadržaj rukopisa na plagijarizam, korišćenjem servisa iThenticate (CrossRef i CrossCheck).

Niko iz uređivačke kuće ne sme da otkrije nijednu informaciju o pristiglom rukopisu ikome, osim autoru, recenzentima, potencijalnim recenzentima, drugim savetnicima uređivačke kuće i izdavaču, prema potrebi.

Neobjavljen materijal iz pristiglih rukopisa ne sme da se koristi za istraživački rad uređivača, osim sa izričitim pismenim odobrenjem autora.

Obaveze recenzenata

Stručni recenzent pomaže Redakciji u donošenju odluke, a posredstvom kontakata sa autorima preko Redakcije može da pomaže i autorima na poboljšavanju teksta rada.

Ukoliko izabrani recenzent smatra da nije dovoljno kvalifikovana da izvrši recenziju istraživanja u rukopisu ili je pak sprečen da završi i dostavi recenziju u dogovorenom roku, o tome treba blagovremeno da obavesti Redakciju.

Svaki rukopis prihvaćen na recenziju mora da se tretirati kao poverljiv dokument. Ne sme se pokazivati trećim licima niti diskutovati sa njima, osim kada to odobri Redakcija.

Recenzija treba da bude objektivna. Neprihvatljiva je lična kritika autora. Recenzenti treba jasno da obrazlože svoje stavove i potkrepe ih argumentima.

Recenzenti treba da identifikuju relevantne postojeće radove koje autor nije citirao. Svaka prethodno javno saopštena tvrdnja ili argument treba da budu propraćeni odgovarajućim citatom. Dužnost recenzenta je da skrene pažnju uredniku na značajna poklapanja ili sličnost rukopisa sa već objavljenim radom, ukoliko o tome ima lična saznanja.

Informacije i ideje do kojih se došlo stručnom recenzijom poverljivog su karaktera i ne smeju se koristiti za sopstvene potrebe. Recenzenti ne bi trebalo da primaju rukopise koji ih dovode u sukob interesa na osnovu konkurencije, zajedničkog rada ili drugih odnosa s bilo kojim autorom, kompanijom ili institucijom povezanim s radom.

Obaveze autora

Kada autori pišu o originalnom istraživanju treba precizno da prikažu obavljeni rad i da objektivno izlože njegov značaj. Podaci treba da budu precizno navedeni. Članak treba da sadrži dovoljno detalja i referenci da bi mogao da se reprodukuje. Lažne ili namerno netačne tvrdnje predstavljaju neetičko postupanje i neprihvatljive su.

Autori treba da obezbede neobrađene podatke u vezi sa člankom i pruže ih na uvid Redakciji, kao i javni pristup tim podacima, ako je to moguće, i da, u svakom slučaju, budu spremni da sačuvaju te podatke u razumnom roku posle objavljivanja.

Autori treba da napišu potpuno originalne radove, a ako su koristili radove i/ili formulacije drugih, onda to treba da navedu na odgovarajući način.

U principu, autori bi trebalo da objave rukopis koji se suštinski bavi istim istraživanjem samo u jednom časopisu ili primarnoj publikaciji. Slanje istog rukopisa u više redakcija časopisa u isto vreme predstavlja neetičko ponašanje i neprihvatljivo je.

Obavezno je da autor navede radove koje je koristio u pisanju rukopisa, kao i da citira publikacije koje su uticale na njegov rad.

Autorstvo treba da bude ograničeno na one koji su značajno doprineli ideji, njenom oblikovanju, izvođenju ili interpretaciji u datom istraživanju. Svi koji su značajno doprineli radu treba da budu navedeni kao koautori. Ako su pojedinci bili bitni u pojedinim aspektima istraživačkog projekta, treba im u zahvalnici odati priznanje za doprinos.

Autor treba da se postara da svi koautori budu navedeni kao takvi, kao i da među navedenim nema onih koji to ne zaslužuju. Autorova dužnost je da svi koautori vide i odobre finalnu verziju rada, kao i da odobre njegovo objavljivanje.

Ako se u istraživanju pojavljuju hemijska jedinjenja, postupci ili oprema koji su opasni po zdravlje ljudi ili životinja, autor to mora jasno da naznači u rukopisu.

Svaki autor treba da navede u rukopisu sve vrste finansijskih i ostalih značajnih konflikata interesa koji bi mogli da utiču na rezultate ili interpretaciju njegovog rada. Svi izvori finansijske podrške treba da budu takođe navedeni.

Kada autor otkrije materijalnu grešku ili netačnost u svom objavljenom radu, njegova je dužnost da odmah obavesti Redakciju časopisa ili izdavača i da sarađuje sa Redakcijom pri povlačenju ili korigovanju rada.

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

The editor of the Military Tecnical Courier is responsible for deciding which of the articles submitted to the journal should be published.

The editor should be guided by the policies of the journal's editorial board and constrained by such legal requirements as shall then be in force regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The editor may confer with the members of the editorial board or reviewers in making this decision.

The editor should evaluate manuscripts for their intellectual content without regard to race, gender, sexual orientation, religious belief, ethnic origin, citizenship, or political philosophy of the authors.

Following the recommendations of the CEON Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES), the editor applies the electronic editing system (e-Ur) 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).

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.

Duties of reviewers

A peer reviewer assists the editor in making editorial decisions and through the editorial communications with the author may also assist the author in improving the paper.

Any selected referee who feels unqualified to review the research reported in a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should notify the editor and excuse himself from the review process.

Any manuscripts received for review must be treated as confidential documents. They must not be shown to or discussed with others except as authorized by the editor.

Reviews should be conducted objectively. Personal criticism of the author is inappropriate. Referees should express their views clearly with supporting arguments.

Reviewers should identify relevant published work that has not been cited by the authors. Any statement that an observation, derivation, or argument had been previously reported should be accompanied by the relevant citation. A reviewer should also call to the editor's attention any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other published paper of which they have personal knowledge.

Unpublished materials disclosed in a submitted manuscript must not be used in a reviewer's own research without the express written consent of the author. Privileged information or ideas obtained through peer review must be kept confidential and not used for personal advantage. Reviewers should not consider manuscripts in which they have conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships or connections with any of the authors, companies, or institutions connected to the papers.

Duties of authors

Authors of reports of original research should present an accurate account of the work performed as well as an objective discussion of its significance. Underlying data should be represented accurately in the paper. A paper should contain sufficient detail and references to permit others to replicate the work. Fraudulent or knowingly inaccurate statements constitute unethical behavior and are unacceptable.

Authors may be asked to provide the raw data in connection with a paper for editorial review, and should be prepared to provide public access to such data if practicable, and should in any event be prepared to retain such data for a reasonable time after publication.

The authors should ensure that they have written entirely original works, and if the authors have used the work and/or words of others, that this has been appropriately cited or quoted.

An author should not in general publish manuscripts describing essentially the same research in more than one journal or primary publication. Submitting the same manuscript to more than one journal concurrently constitutes unethical publishing behavior and is unacceptable.

Proper acknowledgment of the work of others must always be given. Authors should cite publications that have been influential in determining the nature of the reported work.

Authorship should be limited to those who have made a significant contribution to the conception, design, execution, or interpretation of the reported study. All those who have made significant contributions should be listed as co-authors. Where there are others who have participated in certain substantive aspects of the research project, they should be acknowledged or listed as contributors.

The corresponding author should ensure that all appropriate co-authors and no inappropriate co-authors are included on the paper, and that all co-authors have seen and approved the final version of the paper and have agreed to its submission for publication.

If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the author must clearly identify these in the manuscript.

All authors should disclose in their manuscript any financial or other substantive conflict of interest that might be construed to influence the results or interpretation of their manuscript. All sources of financial support for the project should be disclosed.

When an author discovers a significant error or inaccuracy in his/her own published work, it is the author's obligation to promptly notify the journal editor or publisher and cooperate with the editor to retract or correct the paper.

MEDIJA CENTAR „ODBRANA“

• Braće Jugovića 19, 11000 Beograd •
• Telefoni: (011) 3201-995 i 23-995 •
• Telefaks: (011) 3241-009 •
• Tekući račun: 840-312849-56 • PIB: 102116082 •
• Broj potvrde o evidentiranju za PDV: 135328814 •

POZIV NA PRETPLATU ZA 2012. GODINU

Pretplaćujemo se na časopis:

br. primeraka

1. „Vojnotehnički glasnik“
Godišnja pretplata 1.200,00 dinara
Prilikom uplate pozvati se na broj: 54 .....

2. „Novi glasnik“
Godišnja pretplata 1.800,00 dinara
Prilikom uplate pozvati se na broj: 53 .....

3. „Vojno delo“
Godišnja pretplata 1.400,00 dinara
Prilikom uplate pozvati se na broj: 51 .....

Pretplatne cene važe do 31. 12. 2012. godine.

Broj primeraka izdanja koja se naručuju upisati u narudžbenicu, a primerak narudžbenice sa dokazom o izvršenoj uplati na gore navedeni tekući račun poslati na gore navedenu adresu.

Kupac ..... tel.: .....…….

Mesto .....

Ulica ..... br. ……...

Potpis naručioca

M. P. .....

Redakcija časopisa Vojnotehnički glasnik
svim svojim čitaocima i saradnicima

Čestita novu 2012. godinu

Likovno-grafički urednik
mr *Nebojša* Kujundžić
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor
Ruža Veličković, profesor
e-mail: ruza.velickovic@mod.gov.rs

korektor
Slađana Grba
e-mail: sladjana.grba@mod.gov.rs

Prevod na engleski
Jasna Višnjić, profesor
e-mail: visnjicjasna@yahoo.com

Prevod na ruski
Olivera Hajduković, profesor
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

Prevod na nemački
Gordana Bogdanović, profesor
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

Prevod na francuski
Dragan Vučković
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs

CIP – 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

Cena: 350,00 dinara
Tiraž: 850 primeraka

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije,
broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 9. 2001. godine,
časopis „Vojnotehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

UDC: Narodna biblioteka Srbije, Beograd

Graphic design editor
Nebojša Kujundžić MA
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Copy editing
Zvezda Jovanović

Proofreaders
Ruža Veličković, BA
e-mail: ruza.velickovic@mod.gov.rs
Slađana Grba
e-mail: sladjana.grba@mod.gov.rs

English translation and polishing
Jasna Višnjić BA
e-mail: visnjicjasna@yahoo.com

Russian translation and polishing
Olivera Hajduković BA
e-mail: oliverahajdukovic@lukoil.rs

German translation and polishing
Gordana Bogdanović BA
e-mail: gordana.bogdanovic@yahoo.com

French translation and polishing
Dragan Vučković
e-mail: draganvuckovic@kbcnet.rs

CIP – Catalogisation in the publication
National Library of Serbia, Belgrade

623+355 / 359
355 / 359

ВОЈНОТЕХНИЧКИ гласник : научни часопис Министарства одбране Републике Србије = Military technical courier : scientific periodical of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia / одговорни уредник Небојша Гаћеша. - Год. 1, бр. 1 (1953) - - Београд (Браће Југовића 19) : Министарство одбране Републике Србије, 1953- (Београд : Војна штампарија). - 24 cm

Доступно и на:
http://www.vtg.mod.gov.rs
Тромесечно. - Друго издање на другом медијуму: Vojnotehnički glasnik (Online) = ISSN 2217-4753
ISSN 0042-8469 = Војнотехнички гласник
COBISS.SR-ID 4423938

Price: 350.00 RSD
Printed in 850 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 Technological Courier* is a publication of special interest for science.

UDC National Library of Serbia